

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ARQUITETURA

Camila Silva Ribeiro

**USO DA TERMOGRAFIA PARA O DIAGNÓSTICO DE PATOLOGIAS EM
ALVENARIA – ESTUDO DE CASO**

Belo Horizonte

2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ARQUITETURA

Camila Silva Ribeiro

**USO DA TERMOGRAFIA PARA O DIAGNÓSTICO DE PATOLOGIAS EM
ALVENARIA – ESTUDO DE CASO**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Sistemas Tecnológicos e Sustentabilidade Aplicados ao Ambiente Construído da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial a obtenção do título de Especialista em Sistemas Tecnológicos e Sustentabilidade Aplicados ao Ambiente Construído.

Orientador: Eduardo Cabaleiro Cortizzo.

Belo Horizonte

2017



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ARQUITETURA - EAUFMG
Rua Paraíba, 697 – Funcionários
30130-140 – Belo Horizonte – MG - Brasil

Telefone: (31) 3409-8823

FAX (31) 3409-8822

ATA DA REUNIÃO DA COMISSÃO EXAMINADORA DE TRABALHO DE MONOGRAFIA DA ALUNA CAMILA SILVA RIBEIRO, COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO CERTIFICADO DO CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM SUSTENTABILIDADE DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Às 17:00 horas do dia 31 de julho de 2017, reuniu-se na sala 124 da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, a Comissão Examinadora composta por, Prof. Eduarco Cabaleiro Cortizo Orientador-Presidente e Profª MSc. Grace Cristina Roel Gutierrez, designada pela Comissão Coordenadora do Curso de Especialização de Sistemas Tecnológicos e Sustentabilidade do Ambiente Construído para avaliação da monografia intitulada **“Uso da termografia para o diagnóstico de patologias em alvenaria – estudo de caso”**, de autoria da aluna **Camila Silva Ribeiro**, como requisito final para obtenção do Certificado de Especialista em Sustentabilidade do Ambiente Construído. A citada Comissão examinou o trabalho e, por unanimidade, concluiu que a monografia atende às exigências para a obtenção do Certificado de Conclusão do Curso e recomenda que sejam encaminhados 02 (dois) exemplares para a Biblioteca da Escola de Arquitetura.

Belo Horizonte, 31 de julho de 2017



Prof Eduardo Cabaleiro Cortizo
Orientador-Presidente



Profª Grace Cristina Roel Gutierrez

Nota 95,0 conceito A

RESUMO

As avaliações das condições de conservação e a detecção de patologias em edificações são de grande importância, uma vez que as patologias resultam na degradação de materiais, da estrutura das edificações, compromete a integridade da edificação e a segurança dos usuários. Muitas patologias em edifícios devem-se à presença da umidade, que compromete o seu desempenho no que se refere à durabilidade, resistência mecânica, estanqueidade e salubridade. A utilização de ensaios não destrutivos (END) para a detecção, caracterização e prevenção de manifestações patológicas apresenta resultados importantes. A Termografia de Infravermelhos é uma técnica utilizada para a inspeção e execução de ensaios não destrutivos em elementos das construções. Deste modo, este estudo objetivou avaliar a eficiência da termografia infravermelha para a identificação de manifestações patológicas em alvenaria. Foi avaliada uma das alvenarias da fachada uma edificação localizada em Belo Horizonte no Estado de Minas Gerais, de forma visual e com a utilização da termografia infravermelha para identificar às possíveis manifestações patológicas que pudessem estar presentes.

PALAVRAS-CHAVE: Termografia de infravermelhos, umidade, patologias.

ABSTRACT

The evaluations of the conditions of conservation and the detection of pathologies in buildings are of great importance, since the pathologies result in the degradation of materials, the structure of the buildings, compromises the integrity of the building and the safety of the users. Many pathologies in buildings are due to the presence of moisture, which compromises its performance with regard to durability, mechanical strength, tightness and healthiness. The use of non-destructive testing (NDT) for the detection, characterization and prevention of pathological manifestations has important results. Infrared Thermography is a technique used for the inspection and execution of non-destructive tests on building elements. Thus, this study aimed to evaluate the efficiency of infrared thermography for the identification of pathological manifestations in masonry. One of the masonry of the façade was evaluated, a building located in Belo Horizonte in the State of Minas Gerais, visually and with the use of infrared thermography to identify the possible pathological manifestations that might be present.

KEYWORDS: Infrared thermography, umidity, pathologies.

LISTA DE FIGURAS

1. Figura 01 Umidade por capilaridade	9
2. Figura 02 Umidade por eflorescência	10
3. Figura 03 Fissuras horizontais na	11
4. Figura 04 Destacamento da argamassa no topo do muro	12
5. Figura 05 Trinca horizontal na base da alvenaria	12
6. Figura 06 Técnica de termografia passiva	14
7. Figura 07 Espectro eletromagnético	15
8. Figura 08 Termograma e foto e de Igreja São Francisco de Assis	16
9. Figura 09 Propagação idealizada de um único pulso de calor em um material: (a) Um impulso de energia é aplicado à superfície; (b) O pulso de calor viaja dentro do material e encontra um defeito; (c) O defeito reflete parcialmente e transmite parcialmente o pulso.	17
10. Figura 10 Configuração básica do termômetro de radiação infravermelha	18
11. Figura 11 Mapa localização da edificação	20
12. Figura 12 Planta Hall entrada com destaque da alvenaria de estudo	21
13. Figura 13 Fachada de estudo, Face Interna.	22
14. Figura 14 Fachada de estudo, Face Externa.	22
15. Figura 15 Fachada de estudo. 9hs	23
16. Figura 16 Fachada de estudo. 14hs	23
17. Figura 17 Localização teste corpo negro, face interna.	24
18. Figura 18 Localização teste corpo negro, face externa.	24
19. Figura 19 Ensaio de determinação da emissividade da alvenaria	24
20. Figura 20 Termocâmera FLIR 450	25
21. Figura 21 Resultados dos Termogramas, alvenaria face interna	26
22. Figura 22 Resolução Termogramas	27
23. Figura 23 Identificação de anomalias	28
24. Figura 24 Identificação de anomalias	29
25. Figura 25 Identificação de anomalias	25
26. Figura 26 Identificação de anomalias	30
27. Figura 27 Identificação de anomalias	32

28. Figura 28 Termogramas	36
29. Figura 29 Termogramas	36
30. Figura 30 Termogramas	36
31. Figura 31 Termogramas	36
32. Figura 32 Termogramas	36
33. Figura 33 Termogramas	36
34. Figura 34 Termogramas	37
35. Figura 35 Termogramas	37
36. Figura 36 Termogramas	37
37. Figura 37 Termogramas	38
38. Figura 38 Termogramas	38
39. Figura 39 Termogramas	38
40. Figura 40 Termogramas	38
41. Figura 41 Termogramas	39
42. Figura 42 Termogramas	39
43. Figura 43 Termogramas	39
44. Figura 44 Termogramas	40
45. Figura 45 Termogramas	40
46. Figura 46 Termogramas	40
47. Figura 47 Termogramas	40
48. Figura 48 Termogramas	40
49. Figura 49 Termogramas	41
50. Figura 50 Termogramas	41
51. Figura 51 Termogramas	41
1. Tabela 01 Fatores climáticos	22
2. Tabela 02 Condições climáticas período do ensaio	25
3. Tabela 03 Características da câmera termográfica FLIR T420	25

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa

1.2 Objetivo

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.3 Ensaio para identificação de patologias e anomalias ocultas

2.3.1 Técnica não destrutiva de identificação de patologias

2.4 Termografia infravermelha

2.4.1 Infravermelho

2.4.2 Transferência de calor

2.4.3 A constituição dos equipamentos

2.4.4 A formação da imagem

2.4.5 Fatores que influenciam o ensaio de Termografia

3. METODOLOGIA

3.1 Caracterização do objeto de estudo

3.2 Variáveis Ambientais

3.3 Determinação da Emissividade da Alvenaria

3.4 Desenvolvimento do trabalho de campo

3.4.1 Descrição do equipamento

4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

6. CONCLUSÃO

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

APÊNDICE A – TERMOGRAMAS - RESULTADOS

1. INTRODUÇÃO

Reconhecer a importância da pesquisa científica e suas aplicações para a determinação do estado de conservação de edificações é de grande importância para a manutenção, preservação e conservação dos edifícios. Uma das ferramentas mais eficazes para a prevenção e diagnóstico preventivo é a Inspeção Técnica. Segundo Cortizo, (2007) a patologia acontece antes de sua manifestação visual, assim quando sua identificação ocorre somente após estas se tornarem visíveis, as possibilidades de correção e de redução do problema ficam menores. Sabendo que algumas patologias estão presentes, de forma latente, desde a etapa de projeto e, por vezes, decorre do próprio processo construtivo, percebe-se a grande importância de utilizar um método eficaz para prevenção de patologias. A pesquisa de métodos de diagnóstico acompanha o estudo das patologias, e assim, foram desenvolvidos duas classes de ensaios: os destrutivos e não destrutivos. O ensaio destrutivo de identificação de anomalias e patologias é um processo de intervenção física que, em geral, deixam algum marca na peça ou corpo de prova submetido ao ensaio. O ensaio não destrutivo, por sua vez, é um método utilizado na inspeção técnica sem causar dano ao corpo de prova. A Termografia Infravermelha, pode ser definida como um Ensaio Não Destrutivo (END), sem contato, por identificação visual do gradiente de radiação térmica superficial de um corpo, em condições ambientais.

As técnicas de termografia infravermelha possibilitam a percepção da temperatura superficial de um corpo, dado que, todo corpo com temperatura acima do Zero Absoluto emite radiação térmica. Através do mecanismo de transferência de calor, por radiação, haverá uma diferença de temperatura entre o corpo e o meio, e assim, ocorrerá uma diferenciação térmica perceptível que pode ser medida.

Neste trabalho utiliza-se a termografia infravermelha para o diagnóstico de patologias em alvenaria. Para tanto, foi desenvolvido um trabalho de campo que utilizou a técnica de Termografia Passiva para identificação de patologia em uma alvenaria de uma edificação localizada em Belo Horizonte no Estado de Minas Gerais.

1.1 Justificativa

O tema deste trabalho está vinculado à ocorrência de patologias em edificações. Estas patologias podem ser decorrentes de falhas de projeto, da própria construção e manutenção, resultando num desempenho aquém das expectativas dos usuários/proprietários. Dentro deste contexto se faz necessário à utilização de técnicas que detectem as patologias de modo eficaz, para evitar maiores problemas. A termografia de infravermelhos é uma técnica não destrutiva que possibilita a avaliação das condições de conservação e a detecção de patologias e anomalias que resultam na degradação de materiais e até mesmo da estrutura das edificações, comprometendo a integridade da edificação e a segurança dos usuários.

Este estudo se faz necessário para verificar o uso da termografia infravermelha, como ferramenta prática, para a detecção de manifestações patológicas e anomalias ocultas em alvenaria.

1.2 Objetivo

O objetivo principal deste trabalho é investigar as potencialidades da termografia infravermelha como técnica para identificação de possíveis manifestações patológicas e detecção de anomalias ocultas em alvenaria.

Tem-se como objetivos específicos para este trabalho:

- Identificação de áreas patológicas; por meio da análise dos termogramas produzidos no trabalho de campo;
- Diagnóstico de manifestações patológicas do objeto em análise;

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo apresenta a revisão dos marcos teóricos necessário ao desenvolvimento do trabalho. São discutidas: umidade e patologias em edificações, técnicas de identificação; termografia infravermelha e sua aplicação.

2.1 Umidade em edificações

Conhecer as formas de manifestação da umidade em edificações é de grande importância, pois permite identificar as prováveis causas das patologias presentes e assim definir soluções para a sua apropriada correção.

Freitas (2002) sistematiza os tipos de umidade que atingem as edificações. Cada patologia apresenta um conjunto de sintomas que podem ser detectados por observação visual, através de ensaios, cálculos baseados nas características dos materiais ou através da localização da manifestação. Estas formas de manifestação da umidade podem ser divididas em seis categorias descritas a seguir:

a) Umidade de construção

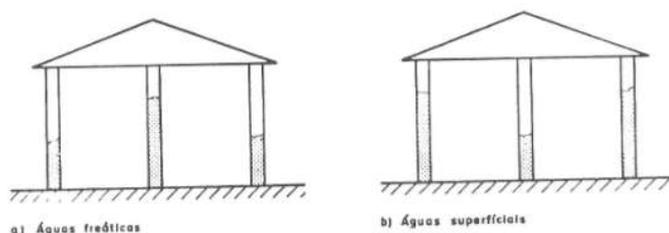
A umidade de construção pode gerar patologias localizadas ou generalizadas, devida à forma de evaporação da água existente nos materiais, pelo simples fato destes apresentarem um teor de água acima do normal. Podem ocorrer devido à diminuição da temperatura superficial ou por condensações. De forma geral, este tipo de manifestação cessa ao fim de um período, que pode ser curto ou longo, em função das características e do tipo da edificação, além da região climática no qual está inserido.

b) Umidade de terreno

As fundações e alvenarias podem ser afetadas pelas águas do solo por meio de capilaridade e esta umidade pode fluir através dos elementos da construção vertical e horizontalmente. Esse fato tem como causa a falta ou deficiência da impermeabilização dos elementos. A ascensão da água na alvenaria pode chegar a alturas significativas, comprometendo a integridade da alvenaria.

Quando a umidade é devida a presença de águas superficiais, há variações de nível ao longo do ano, e a altura das áreas úmidas variam de acordo com a localização da alvenaria, em geral as alvenarias externas apresentam um volume de umidade maior que as alvenarias internas. O oposto é observado para a umidade de terreno, quando as alvenarias externas apresentam um menor volume de umidade, enquanto nas alvenarias internas o volume de umidade é mais intenso, como visto na Figura 01.

Figura 01 – Umidade por capilaridade



Fonte: Freitas, 2002.

c) Umidade por precipitação

A chuva por si só não é causa de dano para a edificação, desde que o fator vento não seja adicionado. Entretanto, na grande maioria das vezes, chuva e vento estão associados, o que confere a chuva uma trajetória mais horizontal. A presença de água nas fachadas se torna um problema quando os elementos de revestimento não resistem à penetração da água. A deficiência na concepção dos elementos de vedação, a existência de fissuração e outros fatores, acabam por permitir a passagem da água e assim, o aparecimento de patologias nas fachadas.

d) Umidade por condensação

O ar é formado pela mistura de gases e vapor d'água. O limite máximo de vapor d'água que o ar pode conter é determinado pelo limite de saturação, varia de acordo com a temperatura, logo um aumento ou diminuição na temperatura do ar, reflete em aumento ou diminuição da umidade do ar. Dá-se o nome de umidade relativa (UR%) ao quociente da quantidade de vapor de água que o ar contém (umidade absoluta, W) pela quantidade máxima que poderia ter em determinada temperatura (limite de saturação, Ws), como na expressão:

$$UR = \frac{W \times 100}{W_s} (\%)$$

O resfriamento de uma massa de ar pode provocar condensações de vapor de água, sempre que atingido o limite de saturação correspondente à dada temperatura. Esse resfriamento ocorre de forma localizada junto às alvenarias externas, considerando que a temperatura superficial destas alvenarias na face interna é menor que a temperatura do ar ambiente, o que permite o aumento da umidade relativa da camada de ar entre, ocasionando condensação.

e) Umidade devido a fenômenos de higroscopicidade.

Um grande número de materiais da construção civil possui em sua constituição a presença de sais solúveis, também presente em solos ricos de matéria orgânica. A presença destes sais em contato com a água nas alvenarias faz com que estes sejam conduzidos até a superfície onde se cristalizam sob a forma de eflorescências. Alguns sais são higroscópicos, isto é, absorvem a umidade do ar (UR acima de 65%), dissolvendo-se e voltando a cristalizar com um volume maior, provocando não só o umedecimento, mas dando origem a degradações, resultado dos ciclos de dissolução-cristalização, que após um período podem ocasionar patologias de grande importância, como apresentado na Figura 02.

Os sais solúveis que estão associados a manifestações patológicas são: os sulfatos, os carbonos, os cloretos, os nitritos e os nitratos, dos quais os dois primeiros não são higroscópicos. As anomalias causadas por higroscopicidade se caracterizam por manchas de umidade em local com intensa concentração dos sais, geralmente relacionadas à degradação do revestimento da alvenaria.

Figura 02 – Umidade por eflorescência



Fonte: Cortizo, notas de aula, 2000.

f) Umidade por causas fortuitas

Pode ter as mais variadas causas, este tipo de umidade caracteriza-se pela natureza pontual, decorrem de erros de construção, falha de equipamentos, falta de manutenção, entre outras. As mais frequentes são as rupturas de canalização, infiltrações provenientes da cobertura devidas a entupimento de calhas, tubos de queda, por exemplo.

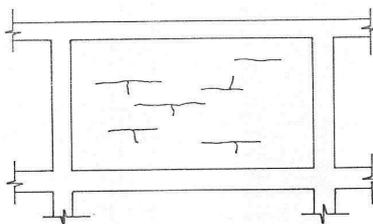
2.2 Patologia em edificações por processo de umidade

O aparecimento de patologias pode ocorrer em todos os tipos de edificações. Segundo Thomaz (1989), trincas e fissuras são sinais de alerta para problemas e pode ser um aviso de um eventual estado perigoso da estrutura, demonstrar o comprometimento do desempenho da edificação (estanqueidade, durabilidade, isolamento térmico e acústico etc), além de comprometer o conforto e segurança dos usuários da edificação.

De acordo com Thomaz (1989) as mudanças higroscópicas causam variações na dimensão dos materiais porosos que constituem os elementos e componentes da construção. As fissuras ou trincas podem variar em função das propriedades higrotérmicas dos materiais e das intensidades de variação da temperatura ou da umidade. A Figura 03 ilustra a formação das fissuras.

Segundo Thomaz (1989), os ciclos de umidificação e secagem de argamassa de revestimento onde a impermeabilização da superfície é deficiente, associados às movimentações térmicas naturais do revestimento, provocam, inicialmente, a formação de microfissuras na argamassa, e através destas a penetração de água será cada vez mais intensa, aumentando gradualmente as movimentações e a conseqüente fissuração do revestimento.

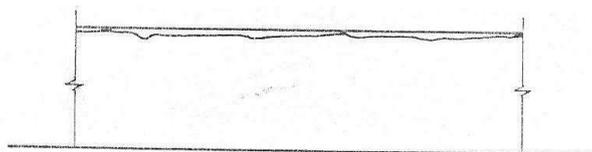
Figura 03 – Fissuras horizontais na alvenaria



Fonte: Thomaz. E, 1989.

As fissuras causadas por umidade no topo de muros (FIGURA 04), peitoris e platibandas que não estejam corretamente protegidos, onde a argamassa do topo da parede absorve a água de chuva e se movimenta diferentemente em relação ao restante do muro causando seu destacamento.

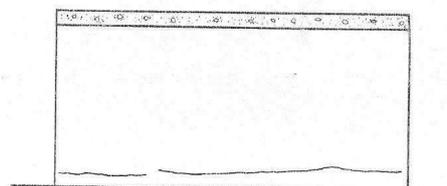
Figura 04 – Destacamento da argamassa no topo do muro



Fonte: Thomaz. E, 1989.

Trincas horizontais (FIGURA 05) podem surgir na base das paredes, onde a impermeabilização do alicerce é inexistente ou mal executada. Nesse caso, os componentes de alvenaria que estão em contato direto com o solo irão absorver sua umidade, apresentando movimentações diferenciadas em relação às fiadas superiores que estão sujeitas a insolação direta e à perda de água por evaporação, essas fissuras na maioria das vezes estão acompanhadas de eflorescências, o que facilita seu diagnóstico.

Figura 05 – Trinca horizontal na base da alvenaria



Fonte: Thomaz. E, 1989.

2.3 Ensaios para identificação de patologias e anomalias ocultas

Os ensaios destrutivos e não destrutivos, são executados sob condições definidas por norma, de modo que seus resultados possam ser comparados. Segundo Cortizo (2007), a Técnica Destrutiva é realizada por um processo de intervenção física, que em geral, deixa marca na peça ou corpo de prova submetido ao ensaio, mesmo que estes não fiquem inutilizados, podendo descaracterizar, danificar, alterar ou destruir características, detalhes ou mesmo a integralidade do bem imóvel. Os ensaios

destrutivos mais utilizados hoje são: tração, compressão, cisalhamento, dobramento, flexão, embutimento, torção, dureza, fluência, fadiga e impacto.

2.3.1 Técnica não destrutiva de identificação de patologias

O uso de Ensaio Não Destrutivo (END) é um método utilizado na inspeção de materiais sem causar dano ao mesmo. As principais técnicas de Ensaio Não Destrutivo são: correntes parasitas, emissão acústica, radiografia, radioscopia e gamagrafia, ensaio visual, estanqueidade, líquido penetrante, partículas magnéticas, ultrassom e a termografia. A Termografia pode ser definida como um método não destrutivo, sem contato, por identificação visual do gradiente de radiação térmica superficial de um corpo, em condições ambientais. As técnicas de termografia infravermelha possibilitam a percepção da temperatura superficial de um corpo, dado que, todo corpo com temperatura acima do Zero Absoluto emite radiação térmica, Cortizo (2007). Na construção civil, a termografia tem sido empregada para a detecção de vazamentos, inspeção térmica de entorno de novas obras e testes térmicos para conservação de edificações. Este trabalho lança olhar no estudo das possibilidades de utilização de termografia Infravermelha como técnica não destrutiva para detecção de patologia em alvenaria.

Em síntese, a técnica da termografia infravermelha permite a percepção do estado dos elementos, e de possíveis anomalias e patologias ocultas. Para Barreira (2004), a termografia tem como vantagem possibilitar a identificação de objetos, ou estados, não visíveis sem contato físico, sendo bastante útil para inspeção e prevenção.

2.4 Termografia infravermelha

Para entendimento da termografia infravermelha, são descritos alguns conceitos gerais e considerações relevantes sobre a radiação infravermelha, transferência de calor, e a aplicação da técnica.

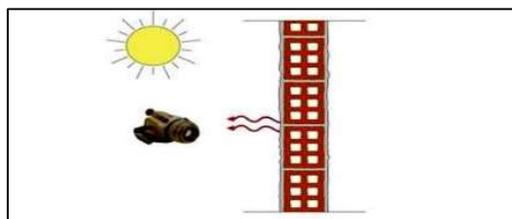
De acordo com Cortizo (2007), a técnica de termografia infravermelha possibilita a percepção da temperatura superficial de um corpo, dado que, todo corpo com temperatura acima do Zero Absoluto ($-273,15^{\circ}\text{C}$) emite radiação térmica. Através do mecanismo de transferência de calor, por radiação, haverá uma diferença de temperatura entre o corpo e o meio, e assim, ocorrerá uma diferenciação térmica perceptível que pode ser medida.

Segundo Maldague (2001, apud Cortizo, 2007), a termografia se divide duas técnicas distintas: Técnicas Passivas, onde os materiais apresentam armazenamento interno de energia térmica ou são estimulados por uma fonte natural de calor (energia solar), sendo necessário que exista uma diferença natural de temperatura entre o objeto de estudo e o meio onde ele está inserido; e as Técnicas Ativas: onde é necessário o aquecimento ou resfriamento dos materiais, por meio artificial, para gerar o fluxo de calor e o gradiente térmico necessários.

Segundo Cortizo (2007) a termografia passiva é definida pela ausência de um estímulo de energia “artificial”, onde o único estímulo ocorre através da carga solar ambiental atuante sobre o corpo, como visto na Figura 06.

Na termografia passiva, condições de contorno naturais são utilizadas na análise, uma vez que nenhuma estimulação térmica é utilizada. Neste caso, deve existir uma diferença natural de temperatura entre o objeto sob estudo e o meio onde ele está inserido. (MALDAGUE, 2001, p. 34, apud Cortizo, 2007)

Figura 06 – Técnica de termografia passiva



Fonte: Cortizo, 2007.

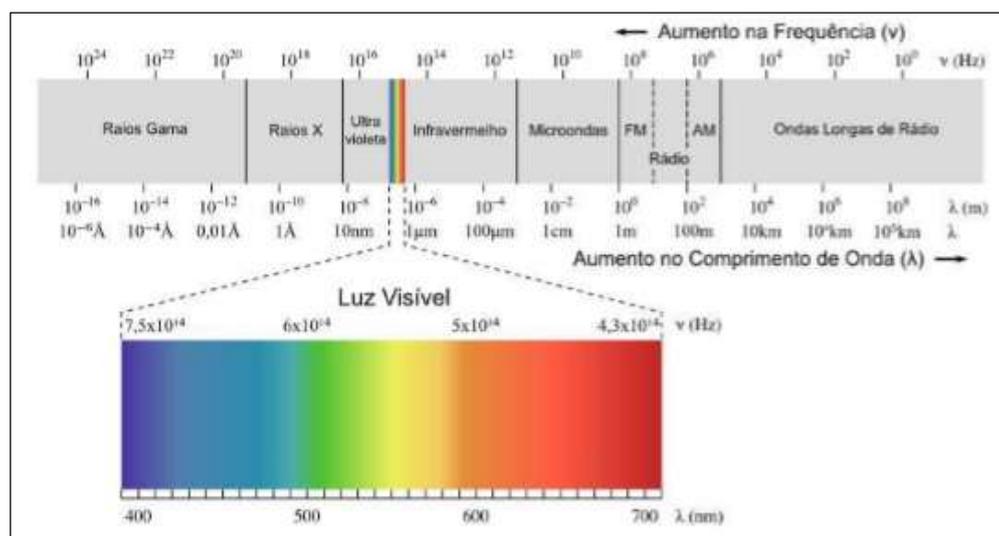
A termografia é realizada por câmaras que detectam de energia infravermelha nos materiais, converte-a em sinal eléctrico e produz imagens, efetuando cálculo de temperaturas, com base nas características da emissividade dos materiais em análise.

Segundo Barreira (2003), as técnicas de investigação da termografia infravermelha baseiam-se no princípio fundamental de que onde existam descontinuidades nos materiais, estes irão apresentar um fluxo de calor não uniforme. Estas diferenças no fluxo de calor, que a câmara de infravermelhos detecta, causam discrepâncias localizadas na temperatura superficial do material, o que se pode interpretar por anomalias ou patologias.

2.4.1 Infravermelho

O olho humano tem capacidade de enxergar os comprimentos de ondas que estão limitadas entre $0.4\mu\text{m}$ (violeta) para $0.7\mu\text{m}$ (vermelho). Dentro desse intervalo estão situadas todas as cores do espectro visível, o infravermelho não é visível ao olho humano, assim seu comprimento de onda estende-se por uma gama de valores que variam entre $0.75\mu\text{m}$ e $1000\mu\text{m}$, Barreira (2003). Na figura 07 está representado o espectro eletromagnético.

Figura 07 – Espectro eletromagnético

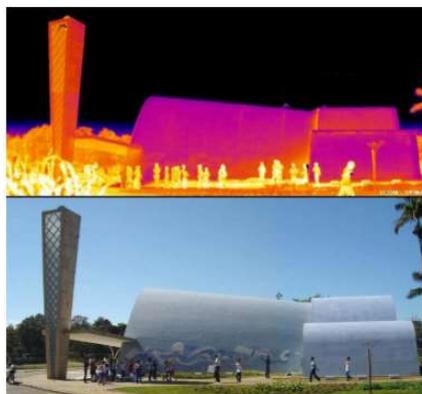


Fonte: Cunha, 2016.

A termografia infravermelha considera que a presença anomalias sob a superfície em um material afeta o fluxo de calor que atravessa aquele material. Pelo meio dessas

alterações de fluxo de calor, localizam-se diferenças na temperatura da superfície. Através da medição dessa temperatura em determinadas condições de fluxo de calor, é possível determinar a localização das anomalias. Termógrafos infravermelhos são utilizados para medir a intensidade de calor emitida por um material submetido a um pulso de calor. Uma área de distorção tem condutividade térmica diferente e se revela como uma área resfriada ou com manchas quentes. As diferenças no fluxo de calor são representadas em formas de termogramas e são gerados pelos termógrafos infravermelhos. A Figura 08 apresenta um termograma onde é possível perceber a diferença no fluxo de calor.

Figura 08 – Termograma e foto e de Igreja São Francisco de Assis



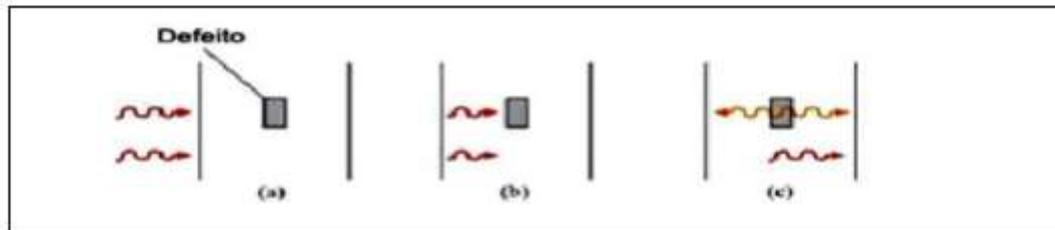
Fonte: Cortizo, 2007.

2.4.2 Transferência de calor

Segundo Barreira (2004), “todos os corpos emitem e absorvem permanentemente radiações eletromagnéticas, resultantes de agitações internas da matéria”. Todos os corpos são constituídos por átomos ou moléculas que oscilam ao redor das suas posições de equilíbrio e trocam cargas elétricas entre si. As vibrações e as rotações dos átomos carregados em torno do seu centro de gravidade produzem a emissão de ondas eletromagnéticas com diferentes comprimentos de onda.

A propagação do calor no interior do corpo é apresentada por Holst (2000, apud Cortizo, 2007) como demonstra a Figura 09:

Figura 09 – Propagação idealizada de um único pulso de calor em um material: (a) Um impulso de energia é aplicado à superfície; (b) O pulso de calor viaja dentro do material e encontra um defeito; (c) O defeito reflete parcialmente e transmite parcialmente o pulso.



Fonte: HOLST, 2000, p. 292 apud Cortizo, 2007.

Termógrafos infravermelhos são utilizados para medir a intensidade de calor emitida por um material submetido a um pulso de calor. Segundo Cortizo (2007), uma área de distorção tem condutividade térmica diferente e se revela como uma área resfriada ou com manchas quentes. As diferenças no fluxo de calor são representadas em formas de termogramas e são gerados pelos termógrafos infravermelhos.

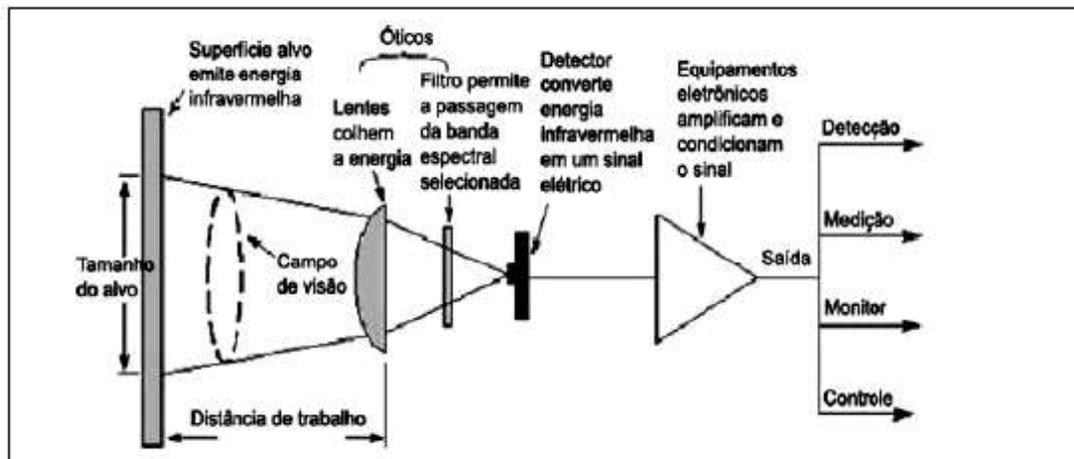
2.4.3 A constituição dos equipamentos

Existem diversos os equipamentos disponíveis para execução da termografia infravermelha digital. Cortizo (2007) apresenta as características básicas destes equipamentos:

- Óticas;
- Captação da imagem – mecanismo de varredura;
- Percepção de calor;
- Técnicas de resfriamento dos detectores;
- Imageamento – produção da imagem.

Maldague, (2001, apud Cortizo, 2007) apresenta uma ilustração (FIGURA 10) da configuração básica de um equipamento termosensor de radiação infravermelha.

Figura 10 – Configuração básica do termômetro de radiação infravermelha



Fonte: Maldague, 2001, p. 273 apud Cortizo, 2007.

Os equipamentos, dentre eles as termocâmeras, captam a energia infravermelha irradiada e a transformam em sinais elétricos proporcionais a temperatura da superfície do corpo. Esse equipamento utiliza: estruturas detectivas de temperatura, sistemas ópticos e tratamento de imagem (digitalização e produção), Cortizo (2007).

2.4.4 A formação da imagem

O termograma é a forma de representação térmica que permite a observação direta da distribuição de calor na superfície do corpo. Segundo Veratti (1992, apud Cortizo 2007) o equipamento infravermelho será capaz de distinguir um objeto contra um plano de fundo desde que exista entre eles contraste suficiente. Esta capacidade de distinção entre dois pontos na imagem é chamada de Resolução Geométrica ou Resolução Óptica do Sistema, Cortizo (2007). Portanto para a garantia de uma imagem de boa qualidade deve-se garantir é necessário que exista contraste térmico, sensibilidade do equipamento e boa resolução térmica.

2.4.5 Fatores que influenciam o ensaio de Termografia

Segundo Barreira (2004), a técnica de termografia infravermelha é um procedimento de fácil execução, mas não é simples, pois existem diversos fatores que influenciam na

interpretação dos resultados e sua interpretação incorreta levará a conclusões equivocadas. Ainda segundo o autor, na análise dos termogramas é alto o risco de interpretar defeitos do objeto como irregularidades na temperatura superficial devido a fatores externos, tais como:

a) Análise das condições térmicas do corpo e do ambiente em que se encontram; b) agentes externos (sombra, reflexão, superfícies com diferentes acabamentos, etc.); c) Verificação das condições de medição (emissividade adotada, temperatura do ar, umidade relativa, distância entre a câmera e o corpo, ângulo de observação, a rugosidade do corpo, etc.).

A emissividade (ϵ) é um dos mais importantes fatores de influência na medição. O valor da emissividade de uma superfície é dado pela razão entre a radiância dessa superfície e a radiância do corpo negro. É necessário fazer o cálculo da emissividade do corpo para calibração da termocâmara no momento do ensaio.

Um método para obter a emissividade do alvo, apresentado por Cortizo, (2007) consiste na comparação da temperatura de um corpo negro com a temperatura do corpo em estudo. Para tal são fixadas “fitas isolantes” de cor preta, que simularão o corpo negro, sobre o corpo e, após 01h:30min. de sua fixação (tempo médio estimado para atingir o equilíbrio térmico fita/ superfície), confere-se a medida da temperatura no ponto negro, que possui emissividade igual a 1,00 (temperatura determinada: 298,25 K ou 25,1° C) em seguida aponta-se a termocâmara para um ponto próximo, deve preencher o campo de visão do equipamento. Em seguida, mede-se a temperatura da área imediata ao corpo e realiza o ajuste da emissividade até obter a mesma temperatura. A temperatura da fita isolante é a mesma do corpo.

3. METODOLOGIA

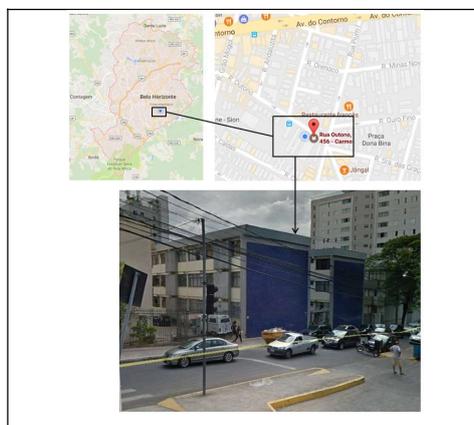
A pesquisa proposta para este trabalho consiste na investigação das potencialidades da termografia infravermelha como técnica para identificação de possíveis manifestações patológicas e detecção de anomalias ocultas em alvenaria de uma edificação em Belo Horizonte, Estado de Minas Gerais.

Para alcançar os objetivos foi realizado um trabalho de campo, onde empregou-se a técnica não destrutiva de identificação de anomalias através da termografia digital. A partir dos resultados obtidos foi realizada uma análise crítica sobre o uso da termografia infravermelha para detecção de patologias latentes e visíveis.

3.1 Caracterização do objeto de estudo

Para a realização do ensaio de campo, buscou-se uma edificação que apresentasse possibilidade de patologias visíveis e não visíveis. Assim, foi definido como objeto de estudo uma alvenaria do Condomínio engenheiro agrônomo João Viana, situado no bairro Carmo, em Belo Horizonte - Minas Gerais, Brasil, (FIGURA 11). O condomínio foi construído no final da década de 1960, apresenta sistema construtivo em alvenaria comum, sistema estrutural em pilar e viga com vedação em bloco cerâmico, acabamento em sistema de pintura acrílica e pastilha na fachada principal.

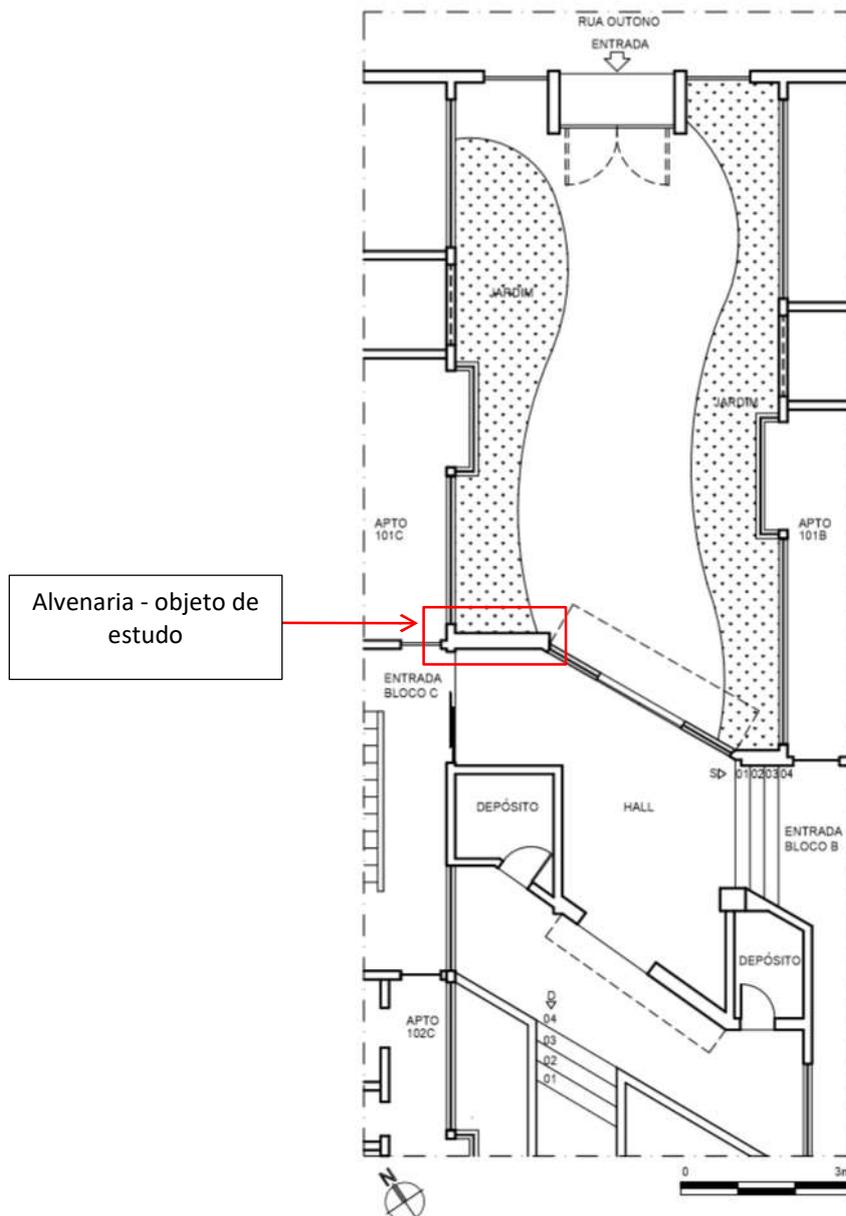
Figura 11 – Mapa localização da edificação



Fonte: Google Earth, 2017.

O condomínio é composto por três blocos, onde o bloco A tem acesso pela Rua Pium-í, os blocos B e C, tem entrada pela Rua Outono. Para a realização deste estudo, foi definida uma alvenaria do hall de entrada entre os blocos B e C, como é visto na Figura 12, abaixo:

Figura 12 – Planta Hall entrada com destaque da alvenaria de estudo



Fonte: Produzido pelo autor, 2017.

3.2 Variáveis Ambientais

As variáveis ambientais (TABELA 01) são importantes pois permitem caracterizar ambientalmente o local de inserção da edificação, além da influencias das condições climáticas para a realização dos termogramas.

Tabela 01 – Fatores climáticos

Fatores climáticos – Cidade de Belo Horizonte	
Dados – Normais Climatológicas do Brasil 1931-1960 - INMET	
Clima	Quente temperado
Temperatura média anual	20.5°C
Umidade relativa média anual	88.04%
Pluviosidade média anual	1430 mm
Precipitação	Inverno - chuvoso Verão - seco
Vento	Leste

Fonte: Produzido pelo autor, 2017.

O local no qual a alvenaria, objeto de estudo, está inserida pode ser denominado como interno e externo. A face interna da edificação encontra-se em ambiente fechado, protegida de intempéries, e apresenta boas condições de iluminação e ventilação natural. Na face externa, a edificação encontra-se exposta às intempéries, com iluminação e ventilação natural. O estudo será realizado nas duas faces da alvenaria, interna (Figura 13) e externa (Figura 14)



Fonte: Produzido pelo autor, 2017.

O sol incide diretamente na fachada de estudo no período da manhã (sentido nordeste), com leve sombreamento, Figura 15. No período da tarde, o sol não incide diretamente sobre a alvenaria, Figura 16.

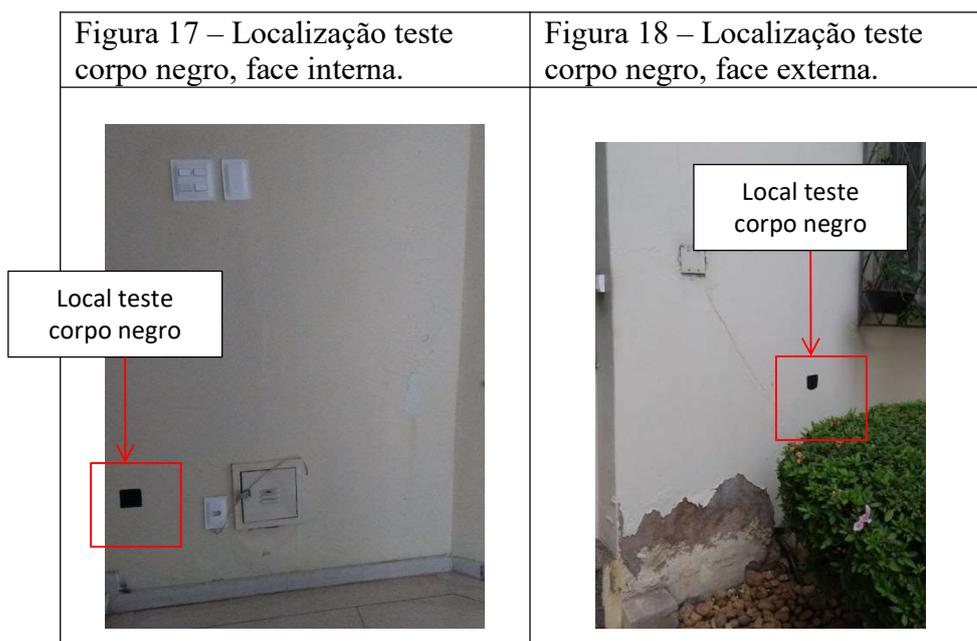


Fonte: Produzido pelo autor, 2017.

3.3 Determinação da Emissividade da Alvenaria

Ainda que existam tabelas com valor de emissividade para diferentes tipos de materiais, estes valores devem ser usados apenas como referência, sendo fundamental fazer o teste de emissividade no corpo a ser estudado. Assim, para obter a emissividade da alvenaria foi utilizado um ensaio por meio do método de corpo negro utilizando tinta PVA fosca e técnica passiva de aquecimento.

O procedimento para determinação da emissividade foi realizado no dia anterior ao ensaio de campo, e iniciou-se com a escolha um ponto que não apresentasse superfície úmida, nas duas faces da alvenaria. Uma vez definida área, foi pintado um quadrado de cor preta fosca, em cada face da alvenaria, que permitisse que todo o campo de visão do equipamento fosse preenchido, conforme Figuras 17 e 18, abaixo:



Fonte: Produzido pelo autor, 2017.

Aguardou-se o período de 24hs para estabilizar a temperatura entre a tinta e a alvenaria, e após este período configurou-se a câmera termográfica com valor de emissividade 1.00 e mediu-se a temperatura superficial na área da tinta (FIGURA 20). Em seguida, foi realizada a medição com a câmera apontada na área sem tinta. Alterou-se o valor de emissividade na câmera até obter o mesmo valor de temperatura da área com tinta, tendo como resultado uma emissividade em 0.77.

Figura 19 – Ensaio de determinação da emissividade da alvenaria



Fonte: Produzido pelo autor, 2017

Definido o valor de emissividade, onde a temperatura da alvenaria é a mesma da do corpo negro, esse valor foi utilizado para a realização do ensaio como parâmetro definido para aquele corpo, $E=0,77$.

3.4 Desenvolvimento do trabalho de campo

O ensaio de campo teve início no dia 21/06/2017, quarta-feira, às 14hs, sendo encerrado às 13hs, do dia 22/06/2017, quinta-feira, após um ciclo completo de 24hs.

As condições de tempo estavam estáveis, com sol sob algumas nuvens, sem chuva e com baixa amplitude térmica durante o dia. As medições de temperatura e umidade relativa do ar podem ser vistas na Tabela 02 abaixo:

Tabela 02 – Condições climáticas período do ensaio de campo

Condições climáticas período do ensaio de campo			
Data	Temp. Min.	Temp. Max.	U.R
21/06/2017	16,5°C	22,8°C	51%
22/06/2017	14,9°C	22,5°C	60%

Fonte: Produzido pelo autor, 2017.

3.4.1 Descrição do equipamento

O equipamento termográfico utilizado no ensaio de campo foi a Câmera termográfica FLIR T450 (FIGURA 20) cuja especificação está detalhada na tabela 03, abaixo.

Tabela 03 – Características da câmera termográfica FLIR T450

Características Câmera Termográfica FLIR T450	
Faixa de temperatura	-20°C 1200°C
Precisão	2 °C
Campo de visão/dist. min. foco	25°x19°/0,4m
Foco	Manual/automático
Faixa espectral	Inverno – chuvoso
Sensibilidade térmica	<0,05°C a 30°C
Tipo de detector	Matriz plano focal (FPA) microbolômetro sem resfriamento
Modo de imagem	Térmica/visual/fusão
Lentes	25°
Emissividade	Ajuste 0,1 a 1,0

Fonte: Manual Técnico FLIR, 2009.

Figura 20 – Termocâmera FLIR 450



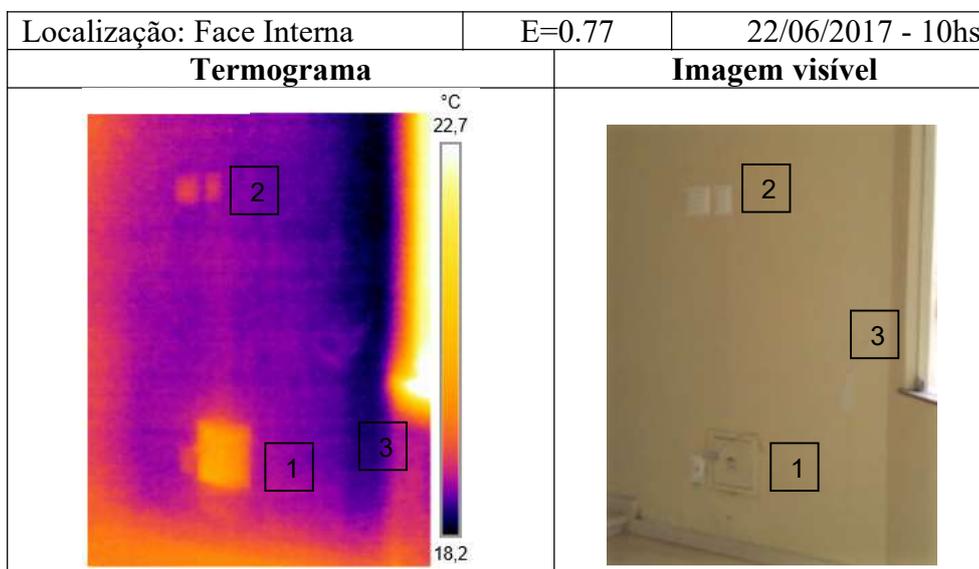
Fonte: Produzido pelo autor, 2017.

4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

A captura da distribuição das temperaturas superficiais do corpo é decodificada numericamente pela termocâmara que interpreta a radiação em forma de cor, e assim, para cada cor e seus matizes, são gerados um valor térmico de uma região isotérmica, que proporciona uma análise qualitativa e quantitativa.

Na Figura 21 é possível perceber a variação de temperatura pela variação nos tons no termograma. O termograma apresenta uma escala térmica do lado direito, onde é identificada a temperatura superficial da alvenaria, a amplitude térmica do termograma é de 4,5°C. É possível ao se comparar as duas imagens detectar alguns elementos, tais como a tampa metálica indicada pelo marcador de número 1, que aparece com temperatura elevada por se tratar de um elemento metálico (sua temperatura superficial é maior que a temperatura dos elementos a sua volta); interruptores indicados pelo marcador de número 2, além do quadro da esquadria, em material metálico, indicado pelo marcador de número 3.

Figura 21 – Resultados dos Termogramas, alvenaria face interna.



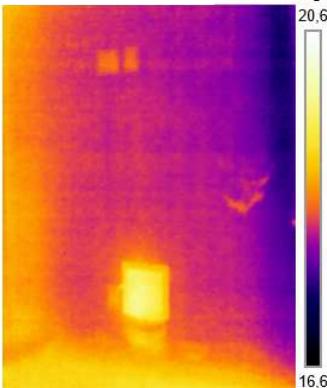
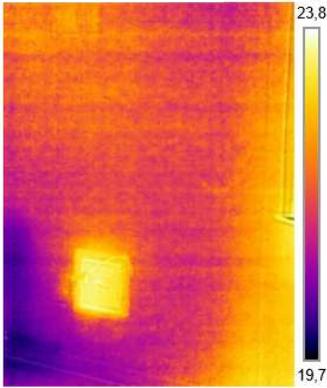
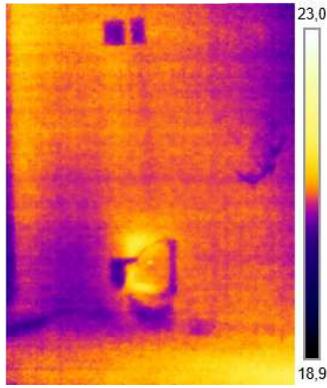
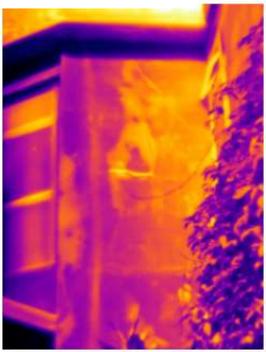
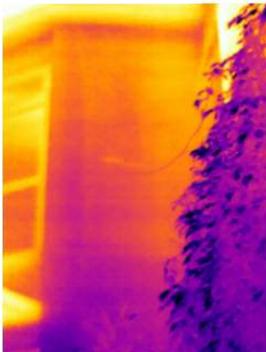
Fonte: Produzido pelo autor, 2017.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

As análises qualitativas dos termogramas são visuais e tem por base o termograma observado, já a análise quantitativa é dada pela a diferença de temperatura. As análises buscam identificar as áreas de possíveis patologias e perceber a presença de anomalia na alvenaria.

Percebe-se a alteração na resolução térmica ocorre nas duas linhas de tempo, onde a melhor resolução é tida quanto maior for o gradiente térmico, porque haverá maiores diferenças de temperatura na superfície. À medida que não há uma diferenciação no gradiente térmico a superfície apresentará uma homogeneização na sua temperatura superficial o que diminui a percepção do termograma para avaliação de anomalia e patologia. Ao compararmos os resultados na variável tempo (matutino, vespertino e noturno), verificou-se que as seguintes resoluções conforme Figura 22, abaixo:

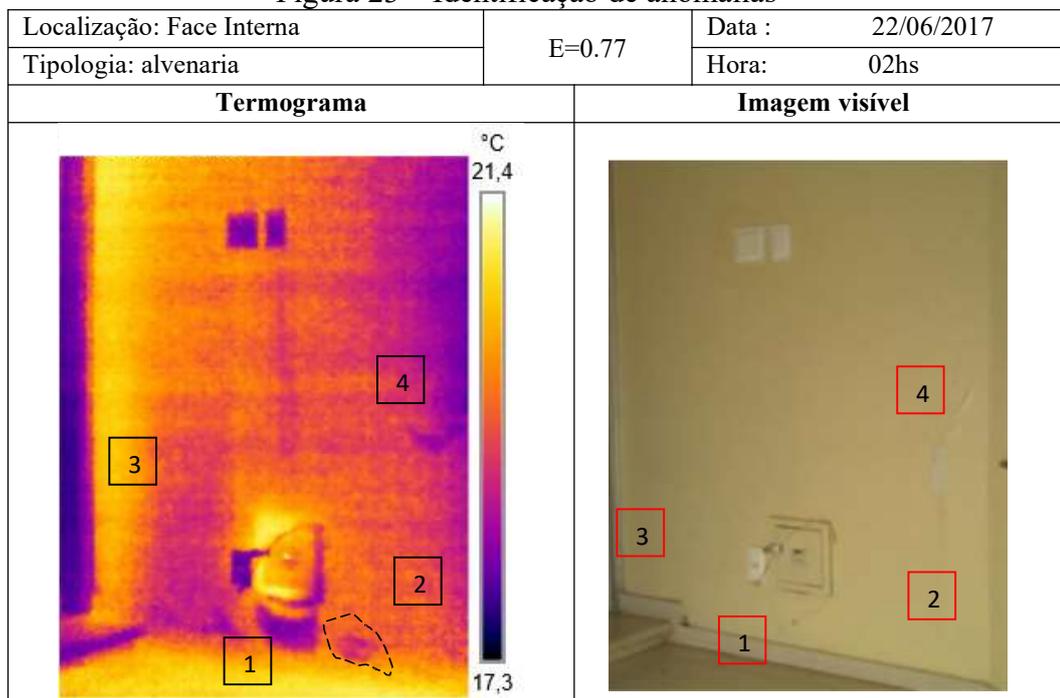
Figura 22 – Resolução Termogramas

Termograma - Localização: Face Interna		E=0.77
9hs - Há diferencial térmico superficial, boa definição	16hs - Há pouco diferencial térmico superficial	00hs - Há maior diferencial térmico superficial, maior definição térmica
		
Termograma - Localização: Face externa superior		E=0.77
9hs - Há diferencial térmico superficial, boa definição	16hs - Há pouco diferencial térmico superficial	00hs - Há maior diferencial térmico superficial, maior definição térmica
		

Fonte: Produzido pelo autor, 2017

Ao analisarmos o termograma do ponto de vista de identificação de anomalias da face interna da alvenaria temos o seguinte termograma na Figura 23:

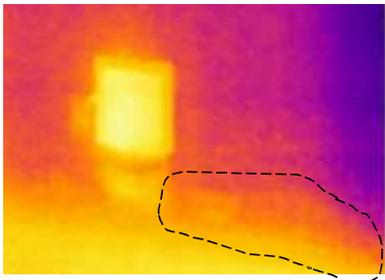
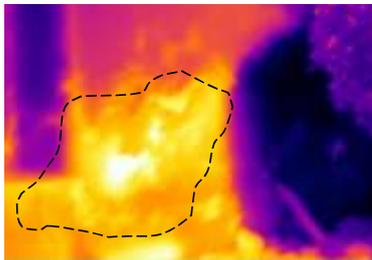
Figura 23 – Identificação de anomalias



Fonte: Produzido pelo autor, 2017

- Na face interna as 02hs no marcador de número 1, há uma grande área de umidade que caracteriza uma anomalia térmica. O marcador de número 2 apresenta um indicativo de saturação de água na alvenaria, essa mesma condição pode ser vista pelo lado externo da alvenaria, como mostra a Figura 24, onde temos a mesma presença de água em saturação, demonstrando que a água migrou do lado externo para o lado interno. O marcador de número 3 indica a presença de umidade na alvenaria, com diferentes intensidades, sendo mais concentrada próxima a base da alvenaria. As causas das três anomalias citadas acima podem estar associadas: a passagem de água externa por ascensão capilar, a umidade do jardim, entre outros fatores que necessitam de uma inspeção *in loco* para sua determinação.
- O marcador de número 4 indica uma perda do revestimento de pintura e aparece na imagem visível com um formato diferente do apresentado pelo termograma, a causa mais provável é por falha técnica de aplicação (parede não preparada adequadamente).

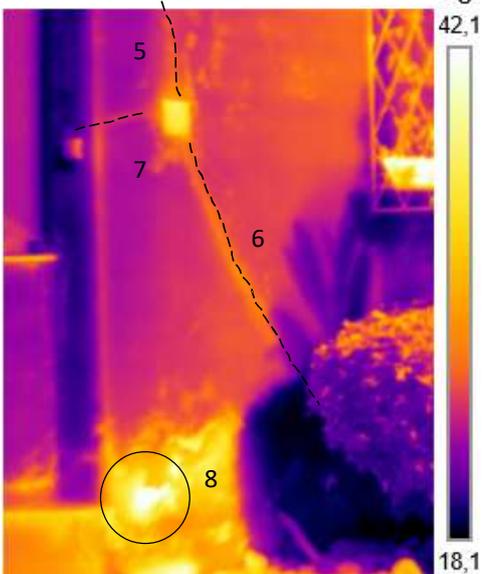
Figura 24 – Identificação de anomalias

Localização: Face Interna	22/06/2017 - 9hs	E=0.77
Visível – Face Interna	Termograma – Face Interna	
		
Visível – Face Externa	Termograma - Face Externa	
		

Fonte: Produzido pelo autor, 2017

Ao analisarmos os termogramas da face externa inferior da alvenaria para identificação de anomalias, temos o seguinte termograma na Figura 25:

Figura 25 - Identificação de anomalias

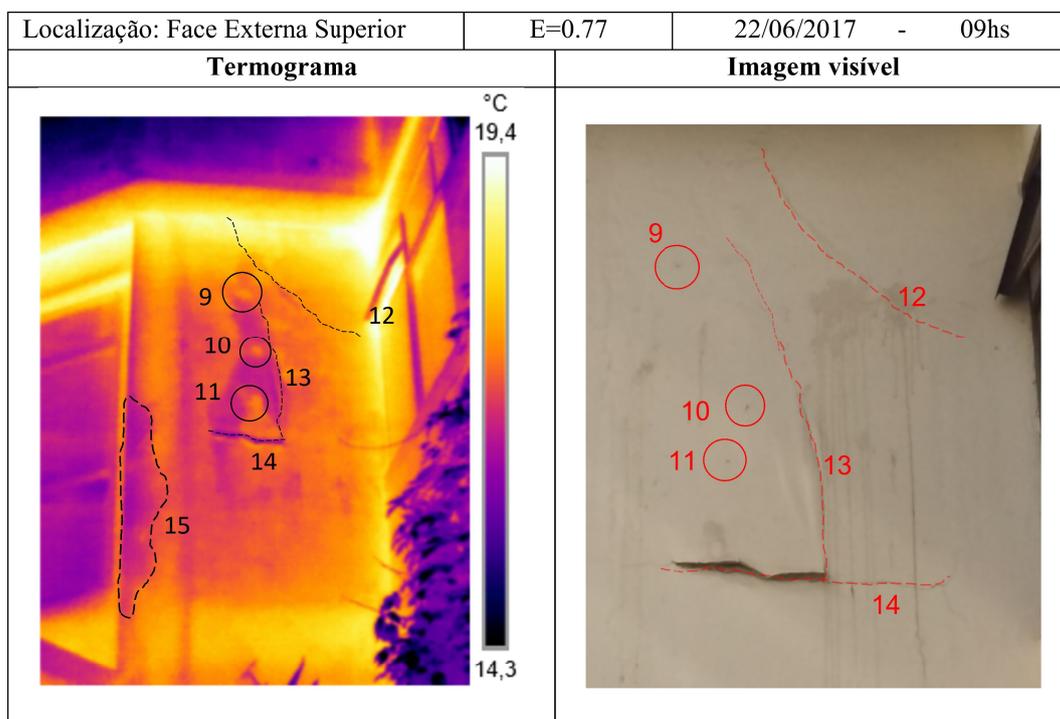
Localização: Face Externa inferior	E=0.77	22/06/2017 - 09hs
Termograma	Imagem visível	
		

Fonte: Produzido pelo autor, 2017

- Na face externa inferior as 09hs, é possível perceber uma fissura na argamassa ao longo da alvenaria indicada pelo marcador número 5, o local da fissura coincide com um recorte feito para instalação do condutor de tubulação elétrica, também é possível perceber a área de influencia desta fissura;
- O marcador de número 6 identifica a presença de trinca na imagem visível e a sua área de influencia pode ser percebida pelo termograma, tem como causa provável movimentação térmica;
- O marcador de número 7 mostra a presença do condutor de tubulação elétrica, presente no interior da alvenaria;
- O marcador de número 8 indica uma grande área com perda do revestimento de pintura da alvenaria, onde é há uma forte presença de água em saturação, as variações de temperatura em amarelo claro retratam vários pontos de maior saturação de água. Esta saturação tem como causas prováveis: a ascensão capilar, a água de irrigação do jardim.

Ao analisarmos os termogramas da face externa superior da alvenaria para identificação de anomalias, temos o seguinte termograma na Figura 26:

Figura 26 – Identificação de anomalias



Fonte: Produzido pelo autor, 2017

- Os marcadores de números 9, 10 e 11 indicam rompimentos no revestimento da alvenaria, por onde há penetração de água que contribui para a saturação vista no termograma. Pela conformação da saturação, há uma perspectiva de que a área em amarelo claro signifique a presença de água, enquanto o entorno em tom azul represente vapor de água.
- Na face externa superior no marcador de número 13, perceber-se uma trinca no revestimento, onde há uma percolação, a água esta migrando no sentido inferior saturando a parte superior o que é normal, pela entrada da água, há ainda uma faixa de influencia da trinca, o mesmo ocorre no marcador de número 14, mas com menor intensidade.
- Na face externa superior, o marcador de numero 15, perceber-se anomalia extensa e não visível, para determinar as possíveis causas seria necessário uma inspeção in loco para a sua identificação.

É possível perceber que as patologias visíveis (numeradas no termograma e na imagem visível) podem ser percebidas no termograma, bem como sua área de influencia. Ainda é possível perceber a estrutura, pilar e viga, em amarelo. No canto superior direito no termograma das 09hs acima, é possível identificar pela cor amarelo bem claro, que indica a presença de material metálico, provavelmente calhas, que descem junto à alvenaria lateral.

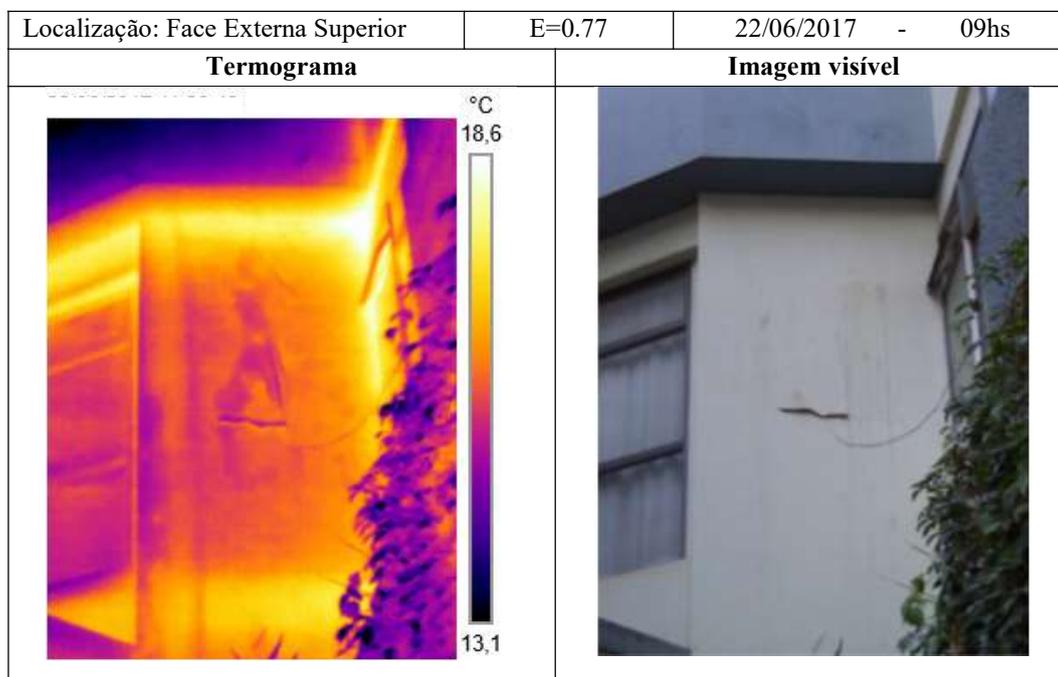
6. CONCLUSÃO

Pode-se concluir por intermédio da linha de tempo, por um período de observação de ciclo completo, aquecimento e resfriamento (24hs), que a técnica de termografia infravermelha passiva permite excelentes resultados.

Percebe-se que os resultados obtidos na escala de tempo demonstram que a melhor visualização do termograma ocorre no período matutino e noturno, quando ocorre um maior gradiente térmico. No período vespertino, quando a superfície apresenta baixo gradiente térmico, não permite uma análise conclusiva na face exposta, como visto na Figura 22, as 16hs.

Para fim de identificação de anomalias, pode-se perceber que além das patologias percebidas na imagem visível, Figura 27, a área de influência, a dimensão da área afetada, anomalias ocultas são percebidas no termograma, o que demonstra a eficácia da técnica passiva da termografia de infravermelhos para a percepção das condições da alvenaria e identificação de áreas patológicas.

Figura 27 - Identificação de anomalias



Fonte: Produzido pelo autor, 2017

Conclui-se que as variações nas temperaturas das superficiais apresentadas nos termogramas podem levar a conclusões sobre a presença de anomalias na alvenaria. Os termogramas traduzem o gradiente térmico nas faces das alvenarias, existindo clara variação na temperatura superficial que sugere a presença de anomalias na alvenaria. A técnica utilizada, termografia passiva, apresentou desempenho satisfatório na identificação de estruturas ocultas e anomalias, mesmo com períodos de baixa resolução térmica. Algumas anomalias identificadas necessitam de uma inspeção in loco para determinação da anomalia.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BARREIRA, E. S. B. M. Aplicação da termografia ao estudo do comportamento higrotérmico dos edifícios. 2004. 196 f. Dissertação (Mestrado em Construção de Edifícios) – Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto 2004.

CALLISTER, Jr., W.D. Materials Science and Engineering. 7 ° ed. New York: John Wiley & Sons, Inc, 2007. Pag. 220

CORTIZO, Eduardo Cabaleiro. Avaliação da técnica de termografia infravermelha para identificação de estruturas ocultas e diagnóstico de anomalias em edificações: ênfase em edificações do patrimônio histórico. Belo Horizonte: UFMG, 2007

FREITAS, Vasco P, et al – Humidade ascensional em construções históricas. Porto, FEUP, 2002

FREITAS, Vasco P, et al – Patologias associadas a condensações. Patorreb, Porto, FEUP, 2003

HENRIQUES, Fernando. Humidade em paredes. Lisboa, LNEC, 1994.

KREITH, Frank; BOHN, Mark S. Princípios de Transferência de Calor. Pioneira Thomson Learning, São Paulo, 2003

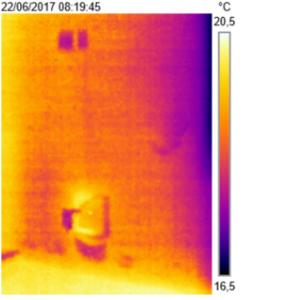
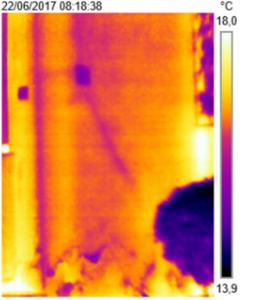
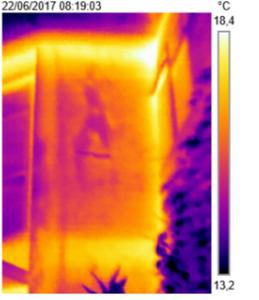
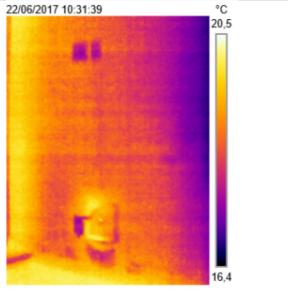
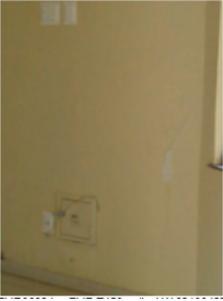
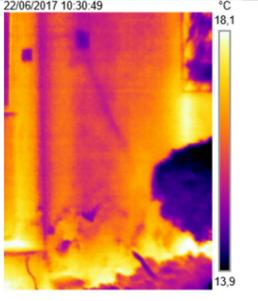
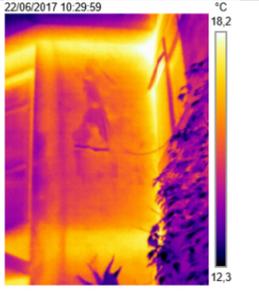
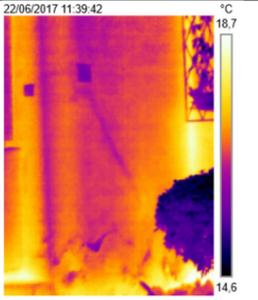
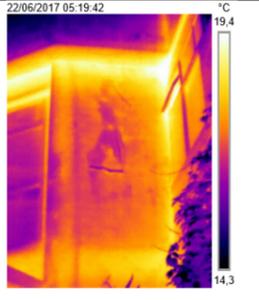
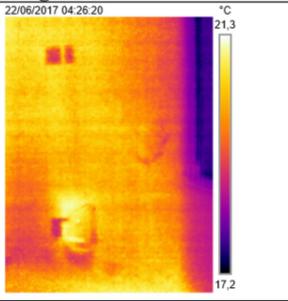
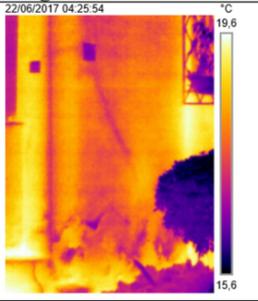
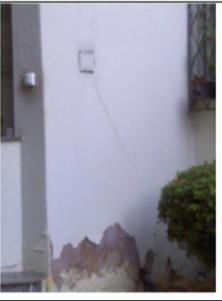
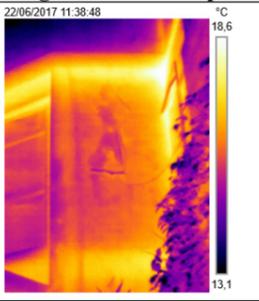
RIPPER, Thomaz. SOUZA, Vicente C. M. de. Patologia, Recuperação e Reforço de estruturas de concreto. PINI. 1998

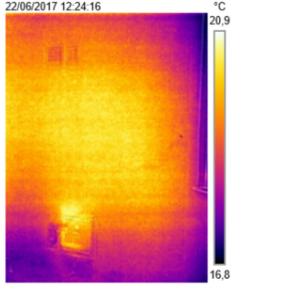
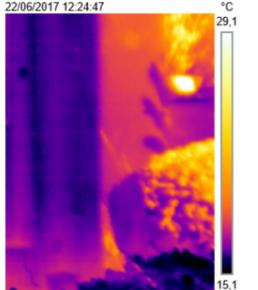
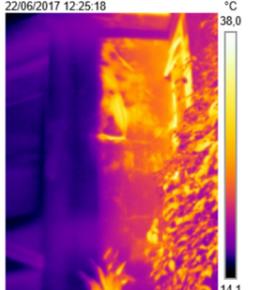
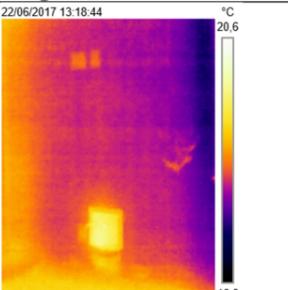
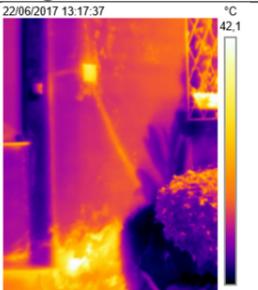
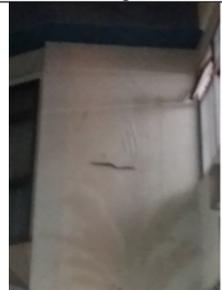
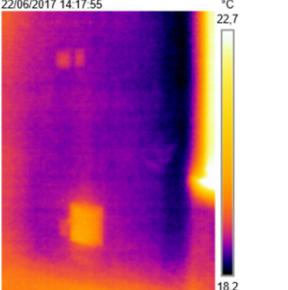
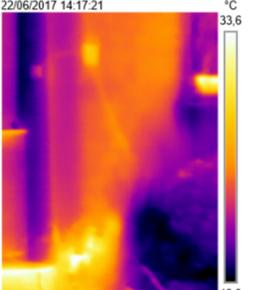
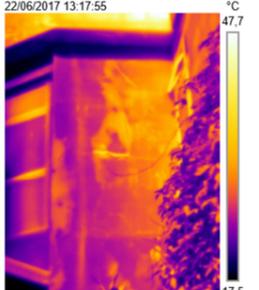
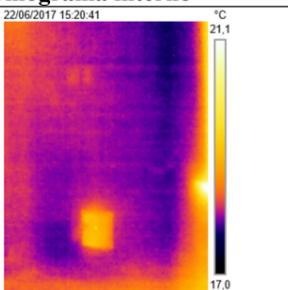
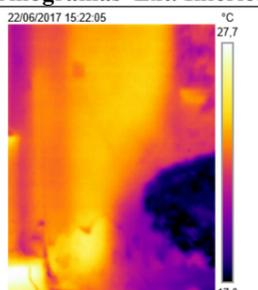
SCHIMITT, Heinrich. Tratado de contruccion. Editorial Gustavo Gili. Barcelona, 2002

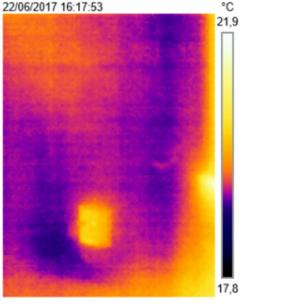
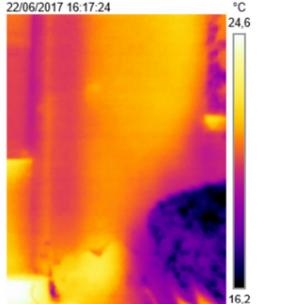
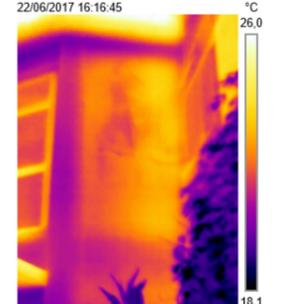
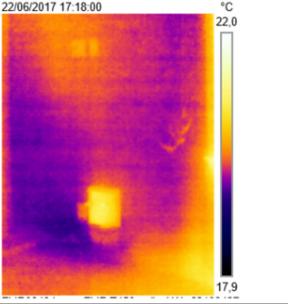
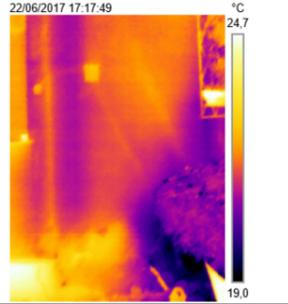
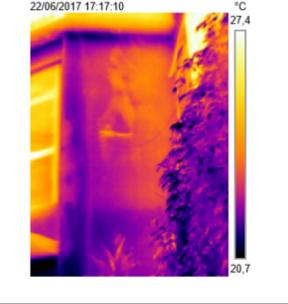
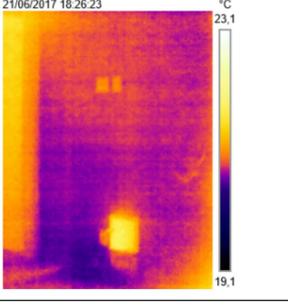
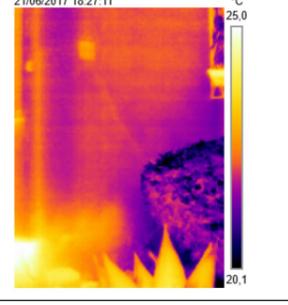
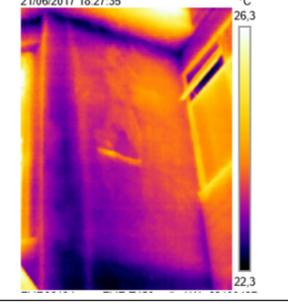
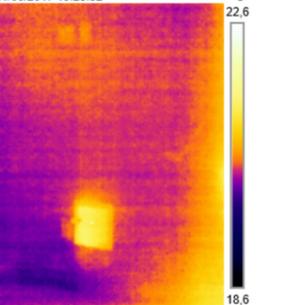
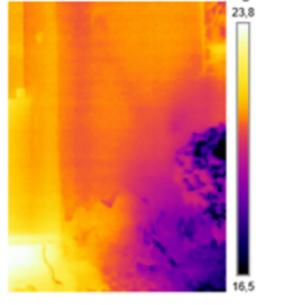
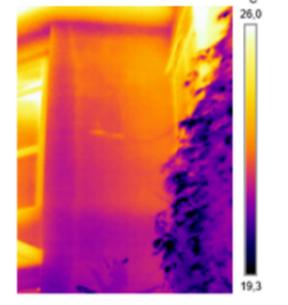
THOMAZ, Ercio. Trincas em edificações: causas e mecanismos de formação. In: TECNOLOGIA de edificações. São Paulo: PINI: IPT, 1988.

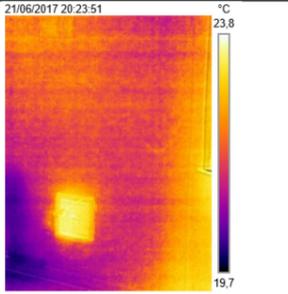
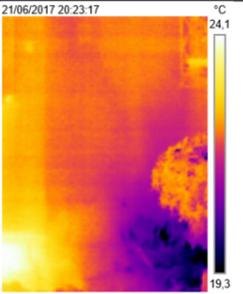
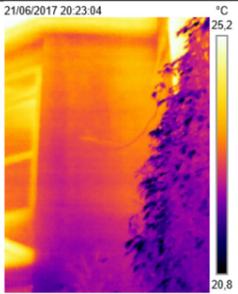
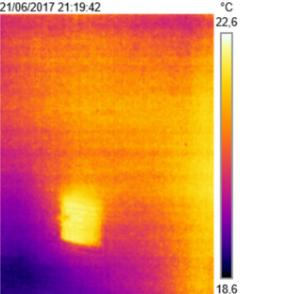
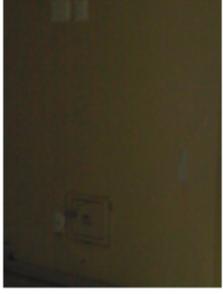
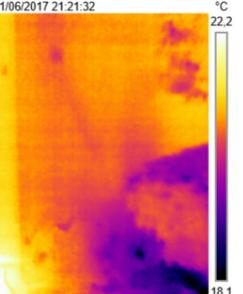
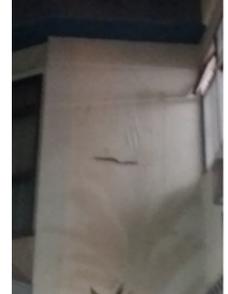
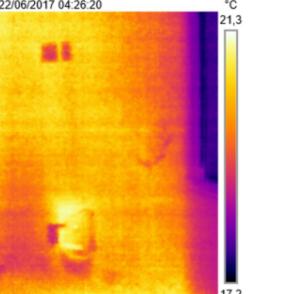
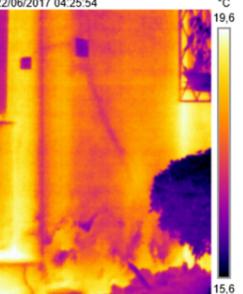
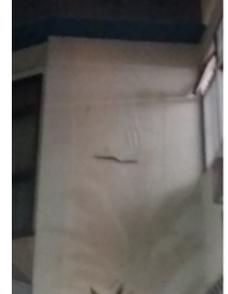
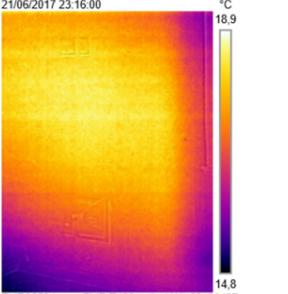
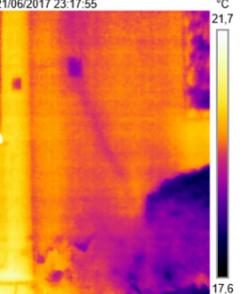
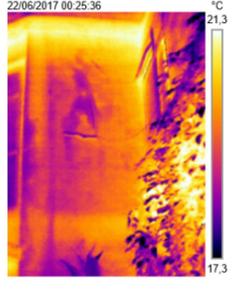
THOMAZ, Ercio. Trincas em edificios: causas, prevenção e recuperação. São Paulo: PINI, 1989

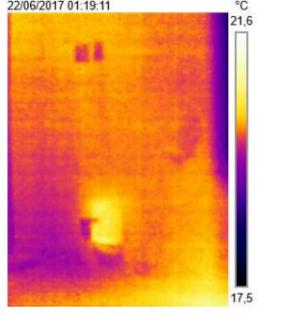
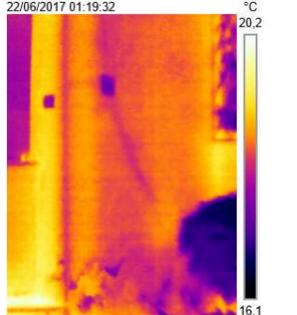
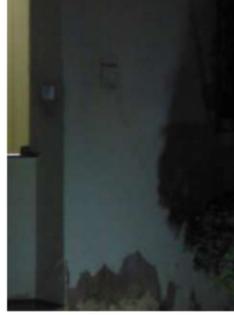
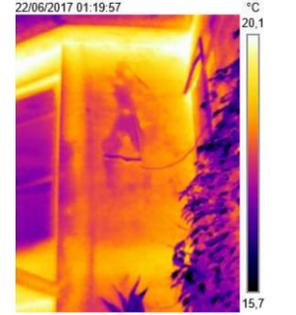
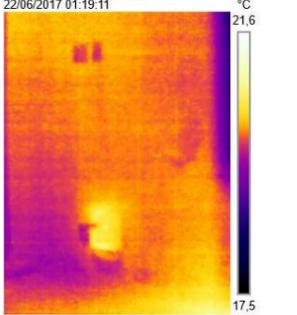
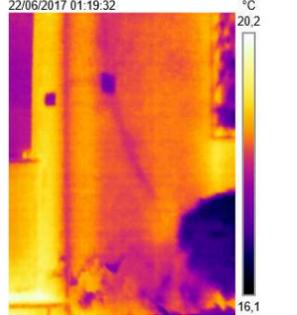
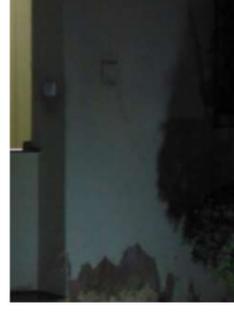
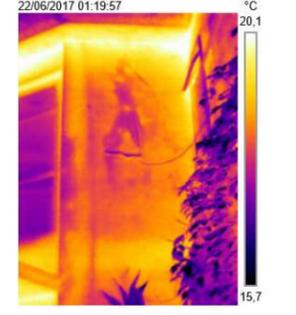
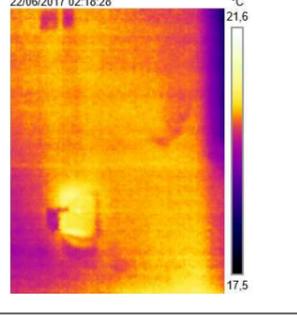
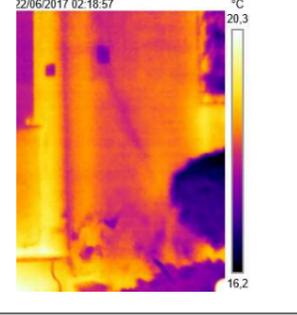
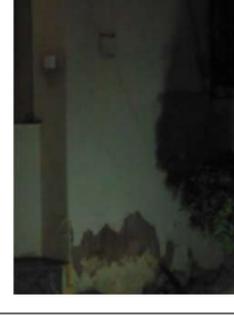
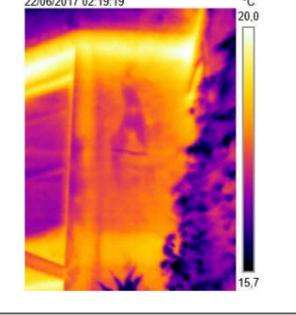
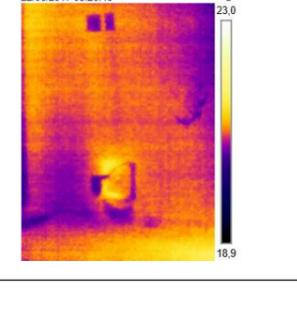
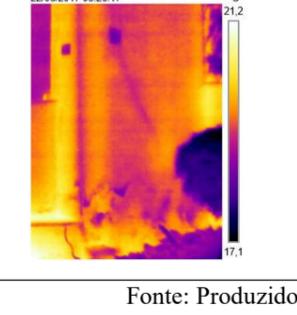
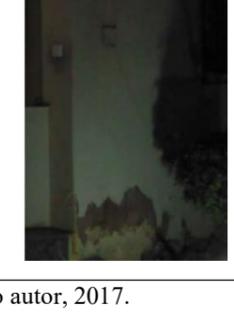
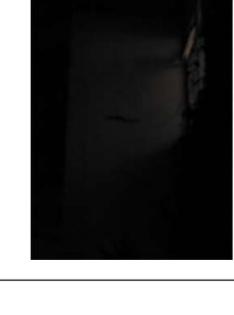
VERÇOZA, ÊNIO JOSÉ. Patologia das edificações. Porto Alegre: Sagra, 1991

					
Figura 33 – Termogramas					
		E=0.77		Data: 22/06/2017	
Termograma interno	Visível interno	Termogramas Ext. Inferior	Visível Ext. Inferior	Termogramas Ext. Superior	Visível Ext. Superior
					
Figura 34 – Termogramas					
		E=0.77		Data: 22/06/2017	
Termograma interno	Visível interno	Termogramas Ext. Inferior	Visível Ext. Inferior	Termogramas Ext. Superior	Visível Ext. Superior
					
Figura 35 – Termogramas					
		E=0.77		Data: 22/06/2017	
Termograma interno	Visível interno	Termogramas Ext. Inferior	Visível Ext. Inferior	Termogramas Ext. Superior	Visível Ext. Superior
					
Figura 36 – Termogramas					
		E=0.77		Data: 22/06/2017	
Termograma interno	Visível interno	Termogramas Ext. Inferior	Visível Ext. Inferior	Termogramas Ext. Superior	Visível Ext. Superior

					
Figura 37 – Termogramas					
		E=0.77		Data: 22/06/2017	
Termograma interno	Visível interno	Termogramas Ext. Inferior	Visível Ext. Inferior	Termogramas Ext. Superior	Visível Ext. Superior
					
Figura 38 – Termogramas					
		E=0.77		Data: 22/06/2017	
Termograma interno	Visível interno	Termogramas Ext. Inferior	Visível Ext. Inferior	Termogramas Ext. Superior	Visível Ext. Superior
					
Figura 39 – Termogramas					
		E=0.77		Data: 22/06/2017	
Termograma interno	Visível interno	Termogramas Ext. Inferior	Visível Ext. Inferior	Termogramas Ext. Superior	Visível Ext. Superior
					
Figura 40 – Termogramas					
		E=0.77		Data: 22/06/2017	
Termograma interno	Visível interno	Termogramas Ext. Inferior	Visível Ext. Inferior	Termogramas Ext. Superior	Visível Ext. Superior

					
Figura 41 – Termogramas					
Termograma interno	Visível interno	Termogramas Ext. Inferior	Visível Ext. Inferior	Termogramas Ext. Superior	Visível Ext. Superior
					
Figura 42 – Termogramas					
Termograma interno	Visível interno	Termogramas Ext. Inferior	Visível Ext. Inferior	Termogramas Ext. Superior	Visível Ext. Superior
					
Figura 43 – Termogramas					
Termograma interno	Visível interno	Termogramas Ext. Inferior	Visível Ext. Inferior	Termogramas Ext. Superior	Visível Ext. Superior
					
Figura 44 – Termogramas					
Termograma interno	Visível interno	Termogramas Ext. Inferior	Visível Ext. Inferior	Termogramas Ext. Superior	Visível Ext. Superior
E=0.77					
				Data: 22/06/2017	Hora: 13hs
				Data: 21/06/2017	Hora: 14hs
				Data: 21/06/2017	Hora: 15hs
				Data: 21/06/2017	Hora: 16hs

					
Figura 45 – Termogramas			E=0.77	Data: 21/06/2017	Hora: 17hs
Termograma interno	Visível interno	Termogramas Ext. Inferior	Visível Ext. Inferior	Termogramas Ext. Superior	Visível Ext. Superior
					
Figura 46 – Termogramas			E=0.77	Data: 21/06/2017	Hora: 18hs
Termograma interno	Visível interno	Termogramas Ext. Inferior	Visível Ext. Inferior	Termogramas Ext. Superior	Visível Ext. Superior
					
Figura 47 – Termogramas			E=0.77	Data: 21/06/2017	Hora: 19hs
Termograma interno	Visível interno	Termogramas Ext. Inferior	Visível Ext. Inferior	Termogramas Ext. Superior	Visível Ext. Superior
					
Figura 48 – Termogramas			E=0.77	Data: 21/06/2017	Hora: 20hs
Termograma interno	Visível interno	Termogramas Ext. Inferior	Visível Ext. Inferior	Termogramas Ext. Superior	Visível Ext. Superior

					
Figura 49 – Termogramas					
		E=0.77		Data: 21/06/2017	
Termograma interno	Visível interno	Termogramas Ext. Inferior	Visível Ext. Inferior	Termogramas Ext. Superior	Visível Ext. Superior
					
Figura 50 – Termogramas					
		E=0.77		Data: 21/06/2017	
Termograma interno	Visível interno	Termogramas Ext. Inferior	Visível Ext. Inferior	Termogramas Ext. Superior	Visível Ext. Superior
					
Figura 51 – Termogramas					
		E=0.77		Data: 21/06/2017	
Termograma interno	Visível interno	Termogramas Ext. Inferior	Visível Ext. Inferior	Termogramas Ext. Superior	Visível Ext. Superior
					

Fonte: Produzido pelo autor, 2017.