

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Mauro Mario

**USO DA TERMOGRAFIA COMO FERRAMENTA NÃO
DESTRUTIVA PARA AVALIAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES
PATOLÓGICAS OCULTAS**

Porto Alegre

julho 2011

MAURO MARIO

**USO DA TERMOGRAFIA COMO FERRAMENTA NÃO
DESTRUTIVA PARA AVALIAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES
PATOLÓGICAS OCULTAS**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientadora: Angela Borges Masuero

Porto Alegre
julho 2011

MAURO MARIO

**USO DA TERMOGRAFIA COMO FERRAMENTA NÃO
DESTRUTIVA PARA AVALIAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES
PATOLÓGICAS OCULTAS**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo/a Professor/a Orientador/a e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 18 de julho de 2011

Profa. Angela Borges Masuero
Dra. pela UFRGS
Orientadora

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Angela Borges Masuero (UFRGS)
Dra. pela UFRGS

Juliana Alves de Lima Senisse
MSc. pela UFRGS

Luciana de Nazaré Pinheiro Cordeiro
MSc. pela UFRGS

Dedico este trabalho a meus pais, Laurindo e Ana, e o meu irmão Lauro, que sempre me apoiaram e especialmente durante o período do meu Curso de Graduação estiveram ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Laurindo e Ana, que sempre me apoiaram, incentivaram e educaram para me tornar uma pessoa melhor. Meu irmão Lauro, meu grande amigo que sempre me ajudou e torceu por mim. Muito obrigado, amo vocês!

À orientadora professora Angela Borges Masuero. Obrigado pela orientação, conhecimento transmitido, apoio, amizade e paciência ao longo desses anos.

A grande família NORIE que ganhei nos últimos anos, Anderson, Marlon, Raquel, Patrícia, Camila, Priscila, Laís, Giovana, Letícia, Bruno, Santiago, Abrahão, Cristina, Josiane, Daniel, Carina, Azambuja, Lucília, Luciana, Juliana, Giselle, Paulo, Ana Paula, Franciele, Rafael, Andrea, Airton, Gilmar, Isatto, Bonin, Angela e Denise.

Ao professor Luis Carlos Bonin pelas idéias e discussões que ajudaram a clarear as idéias.

Ao Anderson Augusto Müller, amigo e colega, sempre se mostrou disponível para ajudar e discutir qualquer assunto.

À Luciana de Nazaré Pinheiro Cordeiro e a Juliana Alves de Lima Senisse que sempre se mostraram dispostas a ajudar e perderam tempo para contribuir com idéias e sugestões para aprimorar este trabalho.

Também à todos, mesmo que não citados, mas colaboraram de alguma forma.

,

A alegria está na luta, na tentativa, no sofrimento envolvido. Não na vitória propriamente dita.

Mahatma Gandhi

RESUMO

MARIO, M. **Uso da Termografia como Ferramenta não Destrutiva para Avaliação de Manifestações Patológicas Ocultas**. 2011. 60 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Diversos edifícios apresentam manifestações patológicas. Algumas delas são de fácil detecção visual, porém existem outras que, apesar de serem ocultas, também comprometem a segurança e a durabilidade das edificações. Com a intenção de identificar estas manifestações, este trabalho buscou verificar a eficiência do uso da termografia, ensaio não destrutivo que baseia-se na detecção da temperatura superficial através dos raios infravermelhos. O objeto de estudo deste trabalho foi a fachada Sul do prédio da Escola de Engenharia da UFRGS. Determinou-se o valor da emissividade do revestimento através do método da fita isolante, obtendo-se o valor de 0,95. Foi feito um levantamento geral da fachada utilizando a câmera termográfica e uma câmera digital. Observaram-se diversos pontos com alterações de temperatura sendo que alguns eram de revestimentos descolados e outros apresentavam sujidades. Para relacionar as imagens termográficas com as falhas nos revestimentos, determinou-se uma área da fachada onde executou-se um levantamento visual e o ensaio de percussão. Foram observados descolamentos e sujidade no revestimento. As imagens termográficas tiveram comportamentos diversos, sendo que em alguns casos não apresentou diferença entre o revestimento descolado e o não descolado. Sendo assim, a câmera termográfica é uma ferramenta que necessita um treinamento específico para sua correta utilização, principalmente para analisar os resultados. Ela deve ser utilizada como mais um instrumento para avaliar o estado de conservação da fachada dos prédios, não substituindo as técnicas atuais.

Palavras-chave: termografia; manifestações patológicas ocultas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: diagrama das etapas de pesquisa	17
Figura 2: percentual de incidência de manifestações patológicas	23
Figura 3: espectro eletromagnético	25
Figura 4: espectro visível e dos infravermelhos	26
Figura 5: propagação idealizada de um único pulso de calor em um material	27
Figura 6: emissividade de alguns não metais: água; terra; plástico	29
Figura 7: variação da emissividade em função do ângulo de observação para alguns não metais: madeira; papel; vidro	30
Figura 8: incidência não normal da radiação infravermelha	30
Figura 9: variação da emissividade total com a temperatura com alguns não metais: borracha; porcelana; cortiça; papel; argila refratária	31
Figura 10: fator de correção atmosférica em uma atmosfera padrão.....	33
Figura 11: mecanismos de transmissão de calor em edifícios	35
Figura 12: ponte térmica devido à transição entre diferentes materiais	36
Figura 13: ponte térmica devido à alteração de espessura	36
Figura 14: ponte térmica num cunhal	37
Figura 15: ponte térmica devido à ligação da laje com a fachada	37
Figura 16: vista geral do prédio “Novo” da Escola de Engenharia da UFRGS	39
Figura 17: vista superior do prédio da Escola de Engenharia da UFRGS	40
Figura 18: vista geral da fachada Leste	41
Figura 19: vista geral da fachada Noroeste	41
Figura 20: vista geral da fachada Sul	41
Figura 21: vista geral da fachada principal: orientação Norte	41
Figura 22: parte do revestimento da fachada da Escola de Engenharia da UFRGS evidenciando as diferentes camadas	42
Figura 23: câmara termográfica <i>FLIR</i> T400	43
Figura 24: vista geral do prédio do Observatório Astronômico da UFRGS	44
Figura 25: área da fachada Norte do Observatório Astronômico da UFRGS onde foi realizado o teste preliminar	45
Figura 26: imagem termográfica do Observatório Astronômico da UFRGS	45
Figura 27: zonas com oco da fachada do Observatório Astronômico da UFRGS	45
Figura 28: temperatura superficial do revestimento descolado	46
Figura 29: temperatura superficial do revestimento não descolado	46
Figura 30: região coberta com fita isolante para avaliação de temperatura	48

Figura 31: temperatura medida na região coberta com fita isolante	48
Figura 32: imagem termográfica de zona com revestimento: emissividade de 0,80	48
Figura 33: imagem termográfica de zona com revestimento: emissividade de 0,85	48
Figura 34: imagem termográfica de zona com revestimento: emissividade de 0,90	49
Figura 35: imagem termográfica de zona com revestimento: emissividade de 0,95	49
Figura 36: imagem termográfica onde fica evidenciado os elementos de concreto e alvenaria de vedação sob o revestimento de argamassa	49
Figura 37: pontos visualizados com diferencial de temperatura superficial	50
Figura 38: área da fachada com destacamentos do revestimento	50
Figura 39: imagem termográfica da área identificada na figura 38 com descolamento ...	50
Figura 40: vista geral do revestimento abaixo dos aparelhos de ar condicionado	51
Figura 41: imagem termográfica do revestimento abaixo dos aparelhos de ar condicionado	51
Figura 42: vista geral do revestimento	52
Figura 43: imagem termográfica da figura 42, onde se verificou a existência de duas áreas, com temperaturas diferentes, com materiais distintos ou problema de aderência	52
Figura 44: área onde foi executado o levantamento de manifestações patológicas através de ensaio de percussão	53
Figura 45: revestimento com descolamento, sujidade e possivelmente biodeterioração .	53
Figura 46: imagem termográfica do revestimento com sujeira e descolamento	53
Figura 47: região do revestimento com som cavo, descolado	54
Figura 48: imagem termográfica do revestimento descolado	54
Figura 49: região do revestimento com som cavo	54
Figura 50: imagem termográfica do revestimento descolado	54
Figura 51: influência do revestimento no transporte de calor	55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: distribuição de problemas encontrados em pesquisa realizada pelo IPT em 36 conjuntos habitacionais do estado de São Paulo	23
Quadro 2: incidência dos tipos de manifestações patológicas em função do tipo de edificação	24
Quadro 3: emissividade espectral do corpo negro, cinzento, real e espelho perfeito	27
Quadro 4: parâmetros na atmosfera padrão	33
Quadro 5: características da câmera termográfica FLIR T400	43

LISTA DE SÍMBOLOS

α = radiação absorvida

ρ = radiação refletida

τ = radiação transmitida

ε = emissividade

λ = condutibilidade dos materiais

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	15
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	15
2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO	15
2.2.1 Objetivo principal	15
2.2.2 Objetivo secundário	15
2.3 HIPÓTESE	16
2.4 DELIMITAÇÕES	16
2.5 LIMITAÇÕES	16
2.6 DELINEAMENTO	16
3 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	19
4 TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA	25
4.1 FATORES QUE INFLUENCIAM A MEDIÇÃO DA RADIAÇÃO INFRAVERMELHA	28
4.1.1 Emissividade dos materiais	28
4.1.1.1 Variação da emissividade com o comprimento de onda	28
4.1.1.2 Variação da emissividade com o ângulo de observação	29
4.1.1.3 Variação da emissividade com a temperatura	30
4.1.1.4 Métodos práticos para determinação da emissividade de um objeto	31
4.1.2 Atenuação atmosférica	32
4.1.3 Outros fatores que influenciam a medição em ensaios termográficos a edificações	33
4.2 TERMOGRAFIA APLICADA EM EDIFICAÇÕES	34
5 PONTES TÉRMICAS	35
6 MÉTODO DE PESQUISA	38
6.1 OBJETO DE ESTUDO	38
6.1.1 Descrição do prédio	39
6.1.2 Escolha da fachada	40
6.2 DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO	42
6.3 ESTUDO PRELIMINAR	43
7 PROGRAMA EXPERIMENTAL	47
7.1 DETERMINAÇÃO DA EMISSIVIDADE DO REVESTIMENTO EM ESTUDO .	47

7.2 IDENTIFICAÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS E ENSAIO DE TERMOGRAFIA	49
8 CONCLUSÕES	56
8.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
8.2 SÍNTESE CRÍTICA DOS RESULTADOS	57
REFERÊNCIAS	58

1 INTRODUÇÃO

As edificações, principais componentes do cenário urbano e locais para desenvolvimento de quase todas as atividades humanas, representam bens que devem ser preservados. Algumas vezes, é o único bem de alto valor que o indivíduo adquire durante toda a vida. Apesar disso, nota-se que muitas edificações, por diferentes causas, apresentam diversas manifestações patológicas, dentre elas pode-se citar (CIRNE *et al.*, 2006, p. 4):

- a) deslocamentos;
- b) fissuras;
- c) manchamentos;
- d) eflorescências.

Estas manifestações patológicas podem gerar desconforto e risco, tanto para as pessoas que utilizam diretamente a edificação quanto para aquelas que transitam no seu entorno. Além disso, a presença destas anomalias pode reduzir a vida útil do prédio (LIMA *et al.*, 1998, p. 1). Sendo assim, é importante tentar eliminar ou amenizar esses problemas.

Muitas manifestações patológicas são de fácil detecção, pois são visíveis, porém, existem diversas outras que são de difícil detecção como, por exemplo, descolamento do revestimento, pois estão ocultas (MAZER, 2011, p. 7). A detecção das manifestações patológicas é feita visualmente, ou seja, quando elas já afloraram nas superfícies da edificação. Quando há suspeita da presença de uma anomalia, executa-se um ensaio para comprovar a existência ou não desta como no caso de um revestimento que apresente suspeita de descolamento, por exemplo o ensaio de percussão.

O ensaio de percussão consiste em utilizar um martelo para percussão do revestimento: se este emitir um som cavo, estará solto. Para este ensaio é preciso acessar o local, sendo difícil para edifícios altos.

Para identificar a ocorrência destas manifestações patológicas seria interessante se houvesse um ensaio ágil, eficaz e remoto, de preferência não destrutivo. Uma ferramenta utilizada em outras áreas, para identificar defeitos em máquinas por exemplo, é a câmera termográfica.

Com esta câmera é possível medir a temperatura superficial através dos raios infravermelhos emitidos pelos objetos. Esta ferramenta é empregada para detectar alterações na superfície ou até mesmo uma perda de calor do alvo (NOVA MANUTENÇÃO Y QUALIDADE, [2010?], p. 1). Este instrumento ainda é pouco utilizado no setor de manutenção de edificações por ter um elevado custo e pelo pouco estudo deste na detecção de defeitos nos revestimentos da edificação.

Este trabalho se divide em oito capítulos. O capítulo dois apresenta as diretrizes adotadas. O capítulo três aborda as manifestações patológicas, tipos e frequência. O capítulo quatro apresenta o método da termografia infravermelha. No capítulo cinco se faz um resumo sobre pontes térmicas. O capítulo seis é sobre a metodologia de pesquisa, descrevendo o objeto de estudo e o ensaio preliminar executado. No capítulo sete se faz um levantamento na fachada do objeto de estudo, registrando por termografia e por fotos digitais. No capítulo oito faz-se as considerações finais e uma análise crítica dos resultados.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

Para o desenvolvimento deste trabalho, as seguintes diretrizes foram adotadas.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa deste trabalho é: quais são os limites da técnica de termografia para a avaliação de manifestações patológicas ocultas em edificações?

2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Os objetivos do trabalho estão classificados em principal e secundário e são apresentados nos próximos itens.

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal deste trabalho é a verificação da eficiência do uso da termografia na identificação de manifestações patológicas ocultas em edificações.

2.2.2 Objetivo secundário

O objetivo secundário deste trabalho é a avaliação da influência dos agentes externo no uso da termografia.

2.3 HIPÓTESE

A hipótese do trabalho é que o ensaio, através da câmera termográfica, é eficiente na identificação de manifestações patológicas ocultas para revestimentos de argamassa.

2.4 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se à técnica da termografia, utilizando o equipamento Flir T400 de acordo com as recomendações do seu fabricante, aplicada às edificações históricas do Campus Centro/UFRGS.

2.5 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

- a) o trabalho buscou avaliar a ocorrência de manifestações patológicas ocultas em revestimentos de argamassa;
- b) foram utilizados apenas os parâmetros de emissividade, distância e ângulo.

2.6 DELINEAMENTO

O delineamento deste trabalho abrange as etapas abaixo e está representado esquematicamente na figura 1:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) identificar os principais parâmetros que influenciam o uso da termografia;
- c) escolha da edificação para avaliar a presença de manifestações patológicas ocultas;
- d) estudo preliminar em uma fachada de fácil acesso para conhecimento e conferência dos parâmetros do equipamento;
- e) levantamento das imagens termográficas da fachada do objeto de estudo deste trabalho com uso da câmera termográfica e registro com imagens digitais;
- f) levantamento visual e por percussão das manifestações patológicas em uma parte da fachada;

- g) análise termográfica nos pontos com manifestações patológicas;
- h) análise e avaliação dos resultados obtidos;
- i) considerações finais.

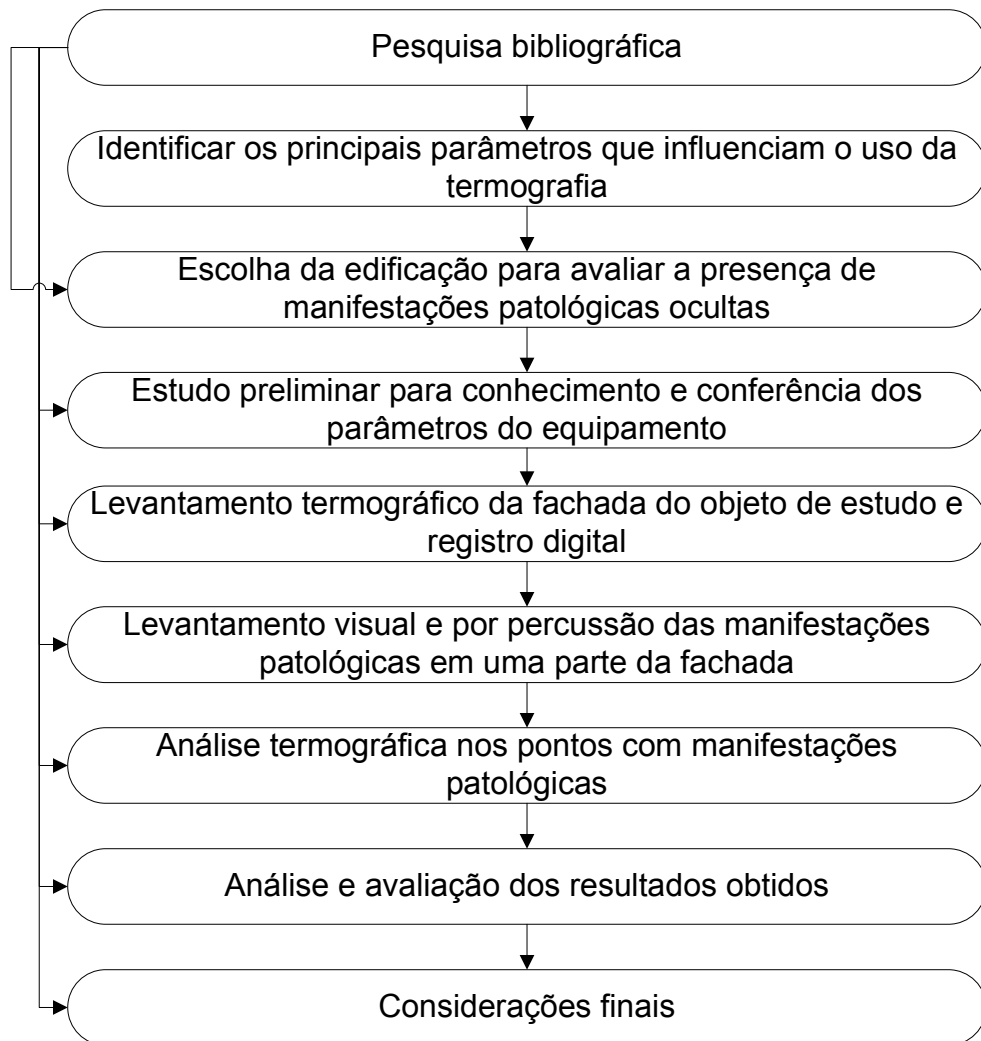


Figura 1: diagrama das etapas de pesquisa

Após a escolha do tema do trabalho, foram definidos a questão, os objetivos e a hipótese da pesquisa. Para realizar este trabalho, optou-se por fazer um estudo de caso em um prédio na cidade de Porto Alegre.

Através da **pesquisa bibliográfica** foram **identificados as principais aplicações e quais os principais parâmetros que influenciam no seu uso**. Em seguida **escolheu-se a edificação para estudo**, o prédio da Escola de Engenharia da UFRGS, por se tratar de um prédio com mais idade, pela localização e por apresentar deterioração na fachada. Antes do estudo

definitivo, optou-se em realizar um **estudo prévio na fachada Norte do Observatório Astronômico da UFRGS para conhecimento e conferência da definição de todos os parâmetros**. Após este treinamento, passou-se para o objeto de estudo deste trabalho.

Inicialmente fez-se um **levantamento da fachada através da câmera termográfica**. Os pontos com diferença de temperatura foram registrados com imagens termográfica e digital. Para verificar a eficiência desta ferramenta, determinou-se uma faixa da fachada, que tivesse fácil acesso, para fazer um **levantamento das manifestações patológicas através da análise visual e o ensaio de percussão**. **As anomalias foram verificadas termograficamente**. Com estes resultados foi possível **analisar e avaliar** a eficiência do uso da câmera termográfica na detecção de manifestações patológicas ocultas. Finalmente foram apresentadas as **observações e conclusões finais**.

3 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Patologia é o ramo da Medicina que estuda as doenças. Verçoza (1991, p. 7) refere que as edificações também podem apresentar doenças, manifestações patológicas, comparáveis a doenças nos seres humanos, tais como fissuras, manchas, descolamentos, deformações, rupturas, entre outros. Por isso, convencionou-se chamar de Patologia das Edificações ao estudo desses defeitos.

Segundo Ioshimoto (1988, p. 545), a ocorrência destas manifestações patológicas em edificações pode ter diversas origens, tanto na fase de produção, quanto na utilização das mesmas: de planejamento, de projeto, de materiais e componentes, de execução (montagem) e de uso (manutenção e operação). Além disso, Segat (2005, p. 25) explica que as edificações, em especial seus revestimentos, podem apresentar defeitos devido a uma grande variedade de ações resultantes de fenômenos de origem natural ou à própria utilização da construção.

A classificação das manifestações patológicas pode ser apresentada de diferentes formas, dependendo da análise pretendida, encontrando-se classificação segundo (SEGAT¹, 2005, p. 26):

- a) os sintomas apresentados, como manchas de umidade, fissuras, corrosão, descolamentos, eflorescências, deformações, desagregação, entre outros;
- b) as causas das manifestações patológicas, podendo compreender a presença de umidade, a atuação de sobrecargas e de deformações, a incidência de variações térmicas e retração, entre outras;
- c) os elementos construtivos atingidos, podendo incidir em estruturas de concreto armado, em paredes, em revestimentos, em fundações, em portas e janelas, entre outros;
- d) os agentes causadores, de forma que as manifestações patológicas podem ser causadas pela água, pela radiação solar, pelo fogo, pela presença de sais, entre outros;
- e) as tensões envolvidas, podendo advir de esforços de flexão, tração, compressão, torção, flexocompressão, entre outros;

¹ O autor faz referência aos seguintes autores:

ELDRIDGE, H. J. **Construcción, defectos comunes**. Barcelona: Gustavo Gili, 1982.

RANSOM, W. H. **Building failures, diagnosis and avoidance**. 2. ed. London: E. & F. N. Spon, 1987.

DUARTE, R. B. **Fissuras em alvenaria: causas principais, medidas preventivas e técnicas de recuperação**. Porto Alegre: Cientec, 1998. Boletim técnico, n. 25.

- f) as fases correspondentes do processo construtivo, nas quais as manifestações tiveram origem, podendo ser nas fases de planejamento, projeto, execução, uso, manutenção, entre outras.

A presença de umidade nas alvenarias pode dar condições para o surgimento de algumas manifestações patológicas como, por exemplo, crescimento de microrganismos, eflorescência e sujidade. Este gera a degradação precoce do edifício e a necessidade de realizar manutenções, com custos geralmente não previstos no projeto (SATO *et al.*, 1997, p. 68).

O crescimento de microrganismos do grupo dos fungos promovem a decomposição do revestimento através da secreção de enzimas que quebram moléculas orgânicas complexas até compostos mais simples, que são utilizados no seu desenvolvimento (ALUCCI *et al.*², 1988 apud SEGAT, 2005, p. 66). Além da umidade, é necessário que a temperatura também seja favorável para isto. Para a maioria dos microrganismos, a temperatura necessária para se desenvolver é acima de 4° C, abaixo deste valor, mesmo tendo umidade, eles não se desenvolvem (SATO *et al.*, 2002, p. 1192). Segundo *American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers*³ (1997 apud SATO *et al.*, 2002, p. 1192), teores de umidade entre 65 e 70% já são suficientes para o desenvolvimento de microrganismos. Gillatt⁴ (1991 apud SATO *et al.*, 2002, p. 1192) explica que além da temperatura e da umidade, o pH e a quantidade de oxigênio também influenciam para a proliferação dos microorganismos.

A eflorescência só irá ocorrer quando houver presença de umidade, sais e uma força que os atraia para a superfície. Estes sais se dissolvem com a presença da umidade, depositando-se nos poros dos materiais. Quando o material está saturado, esse sal dissolvido é carregado para a superfície por difusão e, após a evaporação da água, resulta em um depósito salino na superfície (BAUER, [1996?], p. 15). Normalmente as eflorescências não causam problemas maiores que um aspecto desagradável, porém há circunstâncias em que o sal formado pode gerar uma pressão no interior do revestimento fazendo com que haja um descolamento dos

² Neste trecho do texto o autor citado consultou o trabalho de Alucci *et al.*, de 1988, cujo título é Geometria dos ambientes: um dos fatores determinantes do desempenho térmico das edificações, que teria sido publicado no Instituto de Pesquisas Tecnológicas.

³ Neste trecho do texto o autor citado consultou o trabalho de *American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers*, de 1997, cujo título é *Handbook of Fundamentals*. Foi publicado no *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.*, em Atlanta.

⁴ Neste trecho do texto o autor citado consultou o trabalho de Gillatt, de 1991, cujo título é *The need for antifungal and antialgal additives in high performance surface coatings*, que teria sido publicado no *Surface Coatings International*.

revestimentos ou pinturas, desagregação das paredes ou até queda de elementos construtivos (VERÇOSA, 1991, p. 28).

Segundo Uemoto (1988, p. 562), existem fatores externos que favorecem o fenômeno, tais como:

- a) a quantidade de solução que aflora, principalmente para os sais pouco solúveis. Quanto maior a quantidade de água, maior é a fração solubilizada;
- b) o aumento do tempo de contato, que favorece a solubilização de maior teor de sais;
- c) a elevação da temperatura, além de favorecer a solubilização dos sais, aumenta a velocidade de evaporação da umidade absorvida pelo elemento de alvenaria. Os sais dissolvidos podem tanto permanecer nos poros capilares como migrar para sua superfície;
- d) a porosidade dos componentes (tijolos, blocos, ladrilho, argamassas, concreto), permitindo a percolação da solução. Nem sempre a eflorescência é formada sobre o componente que possui maior teor de sais solubilizáveis: às vezes, devido a uma melhor capilaridade do componente vizinho, os sais tendem, preferencialmente, a se depositar sobre este último.

Outra manifestação patológica nos revestimentos são as fissuras. Estas são rupturas de um elemento ou entre dois elementos que estão ligados. Além disso, classifica-se como fissuras as rupturas com aberturas com 5 mm ou inferior, microfissuras aquelas cujas rupturas são inferiores à 0,05mm e trincas as rupturas com abertura superior a 5 mm (NBR 9575, 2003, p. 4).

As fissuras podem apresentar diversas formas e causas. Segundo Verçosa (1991, p. 38), as fissuras em paredes podem apresentar as seguintes causas:

- a) erro de dimensionamento de projeto;
- b) má utilização do prédio;
- c) movimentação da estrutura por variação térmica;
- d) envelhecimento e fadiga natural dos materiais;
- e) acidentes imprevistos;
- f) má execução da alvenaria.

Segundo Antunes (2010, p. 58), estas aberturas são caminhos para a penetração de agentes agressivos, principalmente a umidade. Estes agentes podem induzir ao surgimento de novas manifestações patológicas.

Quanto ao descolamento, este consiste na separação de uma ou mais camadas que formam o revestimento de argamassa. Em um estágio mais avançado, aparecem novas fissuras e o revestimento se destaca. Esta manifestação patológica ocorre quando algum agente como, por exemplo, a umidade gera pressão no interior do revestimento que ultrapassam a capacidade de aderência das ligações (VERÇOSA, 1991, p. 58). Thomaz e Chimelo⁵ (1993, apud SEGAT, 2005, p. 48), relacionam as seguintes causas mais comuns dos descolamentos de argamassa, que podem atuar de forma isolada ou combinada:

- a) argamassa com traço inadequado, de modo que o excesso de cimento resulta em um material com pouca elasticidade, podendo não absorver as deformações às movimentações da estrutura e/ou da alvenaria, enquanto um traço contendo pouco aglomerante pode prejudicar a aderência da argamassa no substrato;
- b) utilização de materiais com alto teor de finos resultando em revestimento com baixa porosidade, dificultando o processo de carbonatação da cal;
- c) utilização de cal hidratada adulterada ou de baixa qualidade que tem hidratação retardada, acompanhada de aumento de volume e expansão;
- d) emprego de aditivos plastificantes que não substituem a propriedade de retenção de água da cal hidratada, ou aplicação da argamassa sobre material com elevado poder de absorção de água, sem prévio umedecimento, elevando os níveis de retração por secagem;
- e) aplicação da argamassa sobre base contaminada, engordurada ou impermeabilizada, impedindo a penetração da nata do aglomerante no substrato;
- f) aplicação de argamassa sobre superfície muito lisa, sem prévio chapisco do substrato, reduzindo as condições de aderência do revestimento à base;
- g) aplicação da argamassa em camada muito espessa, de modo que o peso próprio da argamassa pode gerar força gravitacional maior que a adesão inicial com o substrato;
- h) operação de chapar a argamassa na parede com pouca força, não preenchendo o material adequadamente aos poros da base;
- i) pintura precoce dos revestimentos à base de cal, inibindo a carbonatação da cal principalmente na interface com a parede.

Para tentar conhecer os problemas patológicos nas construções, diversas pesquisas foram realizadas. Uma delas foi feita por Dal Molin (1988, p. 126), com dados relativos a edificações do estado do Rio Grande do Sul, obtidos através de laudos da Cientec/RS. Das

⁵ Neste trecho do texto o autor citado consultou o trabalho de Thomaz e Chimelo, de 1993, cujo título é Cupins e argamassas. Foi publicado no *Téchne: Revista de Tecnologia da Construção*.

residências analisadas, as principais manifestações patológicas encontradas foram fissuras (66,01%) e umidade (18,08%), conforme apresentada na figura 2.

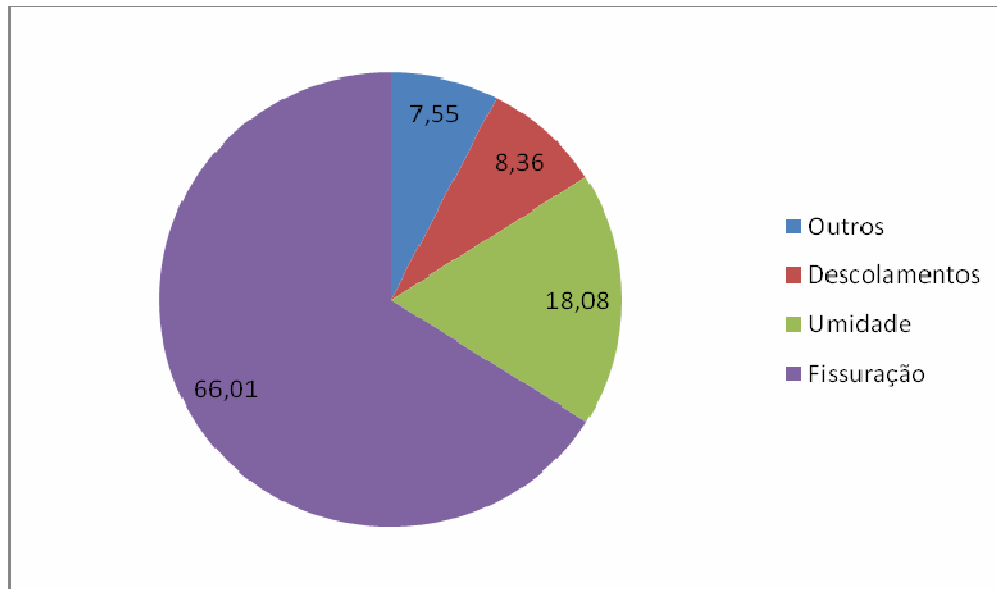


Figura 2: percentual de incidência de manifestações patológicas (DAL MOLIN, 1988, p. 126)

No ano de 1988, foi realizada uma avaliação pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) em 36 conjuntos habitacionais do estado de São Paulo onde foi constatada a distribuição de problemas apresentada no quadro 1.

Tipo de Construção	Idade do Edifício	Problemas Típicos (%)		
		Umidade	Trincas	Descolamento de Revestimento
Casas Térreas	1-3 anos	42	29	29
	4-7 anos	50	25	25
	> 8 anos	37	35	28
Apartamentos	1-3 anos	52	35	7
	4-7 anos	86	14	-
	> 8 anos	82	12	6

Quadro 1: distribuição de problemas encontrados em pesquisa realizada pelo IPT em 36 conjuntos habitacionais do estado de São Paulo (PEREZ, 1988, p. 571)

Segundo Perez (1988, p. 572), apartamentos apresentam maiores incidências de umidade, principalmente de condensação, devido a pouca ventilação nos ambientes. Isto ocorre devido

à necessidade de maior estanqueidade das janelas à água de chuva, conseqüentemente aumentando a estanqueidade ao ar. Observa-se ainda que a ocorrência de umidade nos apartamentos é mais frequente devido dificuldades de manutenção na parte externa e a fatores que são mais intensos quando a altura é maior. Estes fatores são principalmente solicitações climáticas como, sol, chuva e vento. A pesquisa realizada por Dal Molin (1988, p. 116) demonstra a incidência dos tipos de manifestações patológicas em função da natureza da edificação. Estes dados são apresentados no quadro 2.

TIPOS DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS		NATUREZA DAS EDIFICAÇÕES					TOTALS	
		CASAS TÉRREAS	CASAS COM MAIS DE UM PAVIMENTO	EDIFÍCIOS HABITACIONAIS COM ATÉ TRÊS PAVIMENTOS	EDIFÍCIOS HABITACIONAIS COM MAIS DE TRÊS PAVIMENTOS	DEMAIS EDIFICAÇÕES		
UMIDADE	Condensação	8	5	7	10	2	32	
	Construção	-	-	-	-	-	-	
	Ascensional	10	6	4	4	2	26	
	Infiltração	Percolação p/ fissura	15	18	22	31	9	95
		Outras	20	16	25	38	11	110
	Diversas	4	2	8	12	3	29	
TOTAL	57	47	66	95	27	292		
FISSURAÇÃO	Em reboco	27	28	17	18	8	98	
	Em alvenaria	148	125	75	77	44	469	
	Interface alvenaria/concreto	42	44	35	28	23	172	
	Interface materiais distintos	10	14	5	9	3	41	
	TOTAL	258	237	192	229	150	1066	
DESCOLAMENTO	31	34	26	38	6	135		
DIVERSAS	20	15	17	22	21	95		
TOTAL	650	591	499	611	309	2660		

Quadro 2: incidência dos tipos de manifestações patológicas em função do tipo de edificação (DAL MOLIN, 1988, p. 116)

Após conhecer as principais manifestações patológicas presentes nas edificações, o item seguinte é sobre a técnica de termografia infravermelha. Este abordará o funcionamento e os parâmetros que influenciam nesta técnica.

4 TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA

A termografia infravermelha é um ensaio não destrutivo utilizado na obtenção de temperatura superficial em estruturas e, subsequentemente, a correlação da informação obtida com algumas imperfeições internas (WILLIANS⁶ *et al.*, 1980 apud CORTIZO, 2007, p. 34).

Segundo Shepard⁷ (2007 apud NETO, 2009, p. 36), termografia é um ensaio que se baseia na perturbação do fluxo de calor, gerado interna ou externamente. Estas perturbações produzem desvios na distribuição da temperatura superficial do objeto que são captadas pelos equipamentos termográficos e geram uma imagem.

De acordo com Barreira (2004, p. 35), os corpos emitem ou absorvem radiações eletromagnéticas através da agitação interna da matéria. O espectro magnético abrange uma enorme gama de comprimentos de onda, conforme apresenta a figura 3.

	RAIOS CÔSMICOS		RAIOS γ				RAIOS X		ULTRA-VIOLETAS	VISÍVEL	INFRAVERMELHOS			ONDAS DE RÁDIO									
λ	10^{-14} nm	10^{-3} nm	10^{-2} nm	10^{-1} nm	1 nm	10 nm	0,1 μ m	1 μ m	10 μ m	100 μ m	0,1 cm	1 cm	10 cm	1 m	10 m	100 m	1 km	10 km	100 km				
ν (Hertz)	$3,10^{21}$	$3,10^{20}$	$3,10^{18}$	$3,10^{16}$	$3,10^{17}$	$3,10^{16}$	$3,10^{15}$	$3,10^{14}$	$3,10^{13}$	$3,10^{12}$	$3,10^{11}$	$3,10^{10}$	$3,10^9$	$3,10^8$	$3,10^7$	$3,10^6$	$3,10^5$	$3,10^4$	$3,10^3$				

Figura 3: espectro eletromagnético (BARREIRA, 2004, p. 36)

A região em que se encontram os infravermelhos pode variar o comprimento de onda entre 0,75 e 1000 μ m. Esta faixa ainda pode se subdividir em infravermelhos próximos (0,75 a 1,5 μ m), médios (1,5 a 20 μ m) e extremos (20 a 1000 μ m), conforme mostra a figura 4.

⁶ Neste trecho do texto o autor citado consultou o trabalho de Willians *et al.*, de 1980, cujo título é One-dimensional analysis of thermal nondestructive detection of delamination and inclusion flaws. Foi publicado no British Journal of Non-Destructive Testing.

⁷ Neste trecho do texto o autor citado consultou o trabalho de Shepard, de 2007, cujo título é *Thermography of composites*, que teria sido publicado no *Materials Evaluation*.

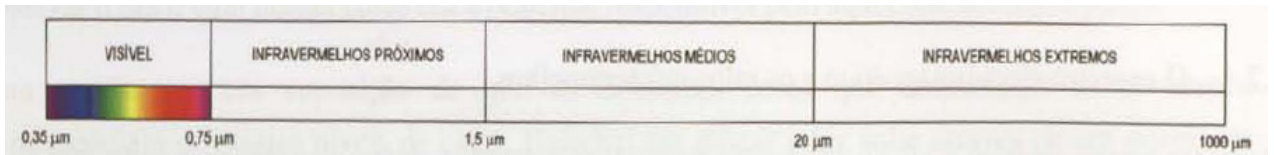


Figura 4: espectro visível e dos infravermelhos (BARREIRA, 2004, p. 36)

A emissão térmica dos sólidos está relacionada com a noção do corpo negro. Este é um objeto que absorve toda a energia que incide sobre ele, para qualquer comprimento de onda. Existem duas maneiras de criar um corpo negro: estabelecendo uma cavidade praticamente fechada ou utilizando um revestimento absorvente perfeito. O primeiro caso é uma cavidade formada no interior de um sólido que possui apenas um pequeno orifício de dimensões significativamente pequenas se comparadas com as dimensões da cavidade. O revestimento absorvente perfeito consiste em um tratamento superficial ou uma tinta que quando aplicado em qualquer objeto, este irá absorver praticamente toda a radiação incidente (BARREIRA, 2004, p. 37).

Os corpos reais, de maneira geral, não são corpos negros. Quando uma radiação incide sobre os corpos reais, uma parcela é absorvida (α) e o restante é refletida (ρ) ou transmitida (τ). Estas parcelas são dependentes do comprimento de onda e sua soma, para um dado comprimento de onda, é sempre igual à unidade (fórmula 1). O quadro 3 apresenta valores particulares de alguns materiais (BARREIRA, 2004, p. 40).

$$\alpha(\lambda) + \rho(\lambda) + \tau(\lambda) = 1 \quad (\text{fórmula 1})$$

Onde:

$\alpha(\lambda)$ = absorção espectral, razão entre a radiação absorvida pelo objeto e a radiação total que incide sobre ele, para um determinado comprimento de onda;

$\rho(\lambda)$ = reflexão espectral, razão entre a radiação refletida pelo objeto e a radiação total que incide sobre ele, para um determinado comprimento de onda;

$\tau(\lambda)$ = transmissão espectral, razão entre a radiação transmitida pelo objeto e a radiação total que incide sobre ele, para um determinado comprimento de onda.

Material	Emissividade Espectral	Reflexão Espectral	Transmissão Espectral
O corpo negro	$\varepsilon(\lambda) = 1$	$\rho(\lambda) = 0$	$\tau(\lambda) = 0$
O corpo transparente	$\varepsilon(\lambda) = 0$	$\rho(\lambda) = 0$	$\tau(\lambda) = 1$
O espelho perfeito	$\varepsilon(\lambda) = 0$	$\rho(\lambda) = 1$	$\tau(\lambda) = 0$
A superfície opaca	$\varepsilon(\lambda) + \rho(\lambda) = 1$		$\tau(\lambda) = 0$
O corpo cinzento	$\varepsilon(\lambda) = \text{constante}$	$\rho(\lambda) = \text{constante}$	

Quadro 3: emissividade espectral do corpo negro, cinzento, real e espelho perfeito (BARREIRA, 2004, p. 41)

As radiações emitidas pelo corpo proporcionam informações das características das matérias que constituem o mesmo e a condição em que se encontra (MONCÓ, 2002 p. 21). Termografia é a percepção de temperatura superficial de um corpo, uma vez que todo o corpo com temperatura acima de -273°C emite radiação térmica (CORTIZO, 2007, p. 36). Os equipamentos de termografia captam esta radiação infravermelha, transformam-na em sinais elétricos e geram uma imagem térmica do corpo apresentando cores diferentes para temperaturas diferentes (BARREIRA, 2004, p. 27).

Segundo Holst⁸ (2000 apud CORTIZO, 2007, p. 38), deverá haver um diferencial de temperatura entre o objeto em análise e o meio em que ele se encontra, pois somente neste caso será possível ocorrer uma diferenciação entre o alvo e o meio. O mesmo autor ilustra na figura 5 como é a propagação do calor no interior do corpo e este quando apresenta um defeito.

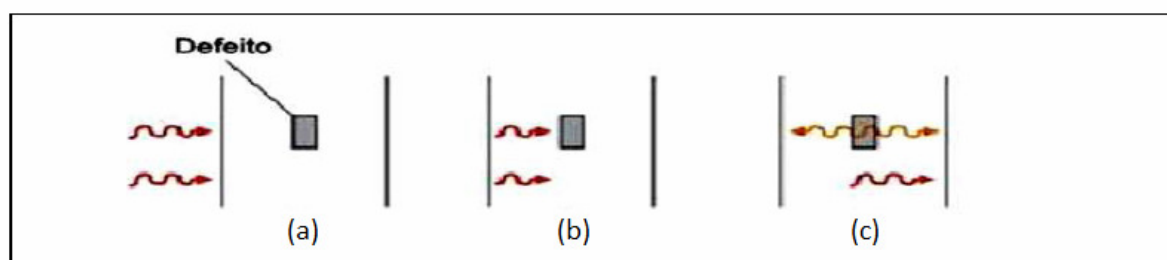


Figura 5: propagação idealizada de um único pulso de calor em um material: (a) um impulso de energia é aplicado à superfície; (b) o pulso de calor viaja dentro do material e encontra um defeito; (c) o defeito reflete parcialmente e transmite parcialmente o pulso (HOLST⁹, 2000 apud CORTIZO, 2007, p. 39)

⁸ HOLST, G. C. **Common sense approach to thermal imaging**. Winter Park: JCD Publishing, 2000.

⁹ *Op. cit.*

4.1 FATORES QUE INFLUENCIAM A MEDIÇÃO DA RADIAÇÃO INFRAVERMELHA

Segundo Barreira (2004, p. 42), a técnica de termografia infravermelha parece ser de fácil procedimento, porém existem diversos fatores que influenciam na análise dos resultados e podem gerar conclusões erradas se não se tomarem precauções antes e durante a realização do ensaio. De acordo com o mesmo autor, na análise dos termogramas é elevado o risco de confundir defeitos do objeto com irregularidades na temperatura superficial devido a fatores externos, tais como:

- a) condições térmicas do objeto e do meio em que se encontra, antes e durante o ensaio;
- b) presença de fontes externas (sombra, reflexão, superfícies com diferentes acabamentos, etc.);
- c) condições de medição (emissividade adotada, temperatura do ar, distância entre a câmera e o objeto, ângulo de observação, etc.).

4.1.1 Emissividade dos materiais

A emissividade (ϵ) de uma superfície é a razão entre a radiância dessa superfície e a radiância do corpo negro. Este fator depende do comprimento de onda, da direção de observação em relação à superfície em estudo e da temperatura dessa superfície, conforme Barreira (2004, p. 42), o que será abordado a seguir.

4.1.1.1 Variação da emissividade com o comprimento de onda

A emissividade varia com o comprimento de onda de uma forma relativamente lenta para materiais sólidos, porém em gases ou líquidos apresenta flutuações bruscas. Para os sólidos não metais a emissividade tende a aumentar com o aumento do comprimento de onda, conforme figura 6 (BARREIRA, 2004, p. 43).

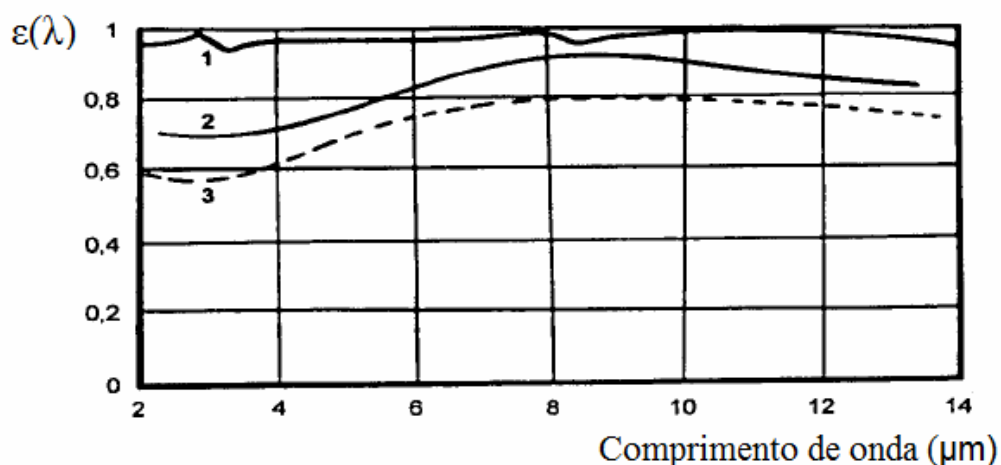


Figura 6: emissividade de alguns não metais: água (1); terra (2); plástico (3)
(GAUSSORGUES¹⁰, 1999 apud BARREIRA, 2004, p. 43)

4.1.1.2 Variação da emissividade com o ângulo de observação

A emissividade varia de acordo com o ângulo de observação. Sendo assim, superfícies não planas apresentam uma emissividade aparente, que varia de ponto para ponto apesar de não haver alteração do material. Para não metais, a variação da emissividade é praticamente nula para ângulos entre o 0° e 60° em relação a perpendicular à superfície (figura 7) (BARREIRA, 2004, p. 44). Na figura 8, Moncó (2002, p. 44) ilustra a variação da componente de emissividade com a alteração do ângulo de captação.

¹⁰ GAUSSORGUES, G. *La thermographie infrarouge: principes, technologies, applications*. 4. ed. Paris: TEC & DOC, 1999.

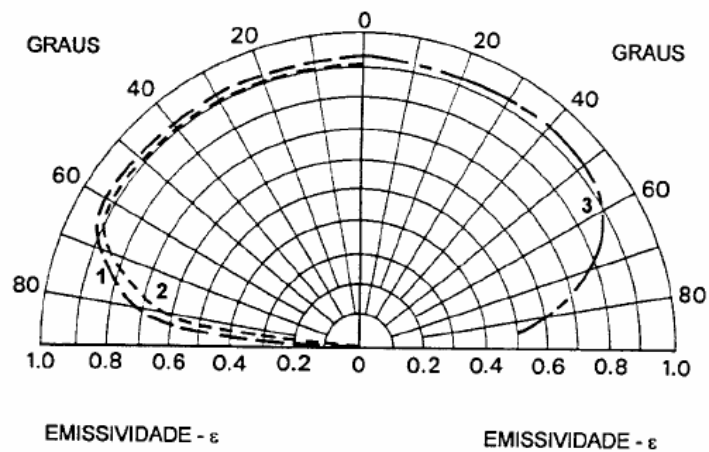


Figura 7: variação da emissividade em função do ângulo de observação para alguns não metais: madeira (1); papel (2); vidro (3) (HART¹¹, 1991 apud BARREIRA, 2004, p. 44)

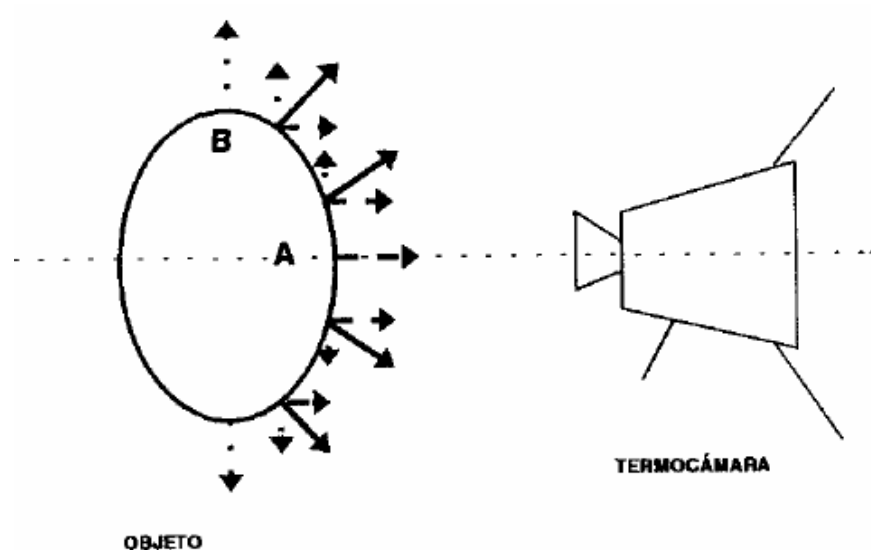


Figura 8: incidência não normal da radiação infravermelha (MONCÓ, 2002, p. 44)

4.1.1.3 Variação da emissividade com a temperatura

Existem diversos materiais que apresentam emissividade independente da direção da radiação e do comprimento de onda. Nestes materiais é possível considerar a emissividade constante para uma determinada temperatura. Esta emissividade designa-se por emissividade total. Objetos não metais apresentam uma emissividade total normalmente superior a 0,80,

¹¹ HART, J. M. **A Practical Guide to Infra-red Thermography for Building Surveys**. Watford: BRE, 1991.

diminuindo com o aumento da temperatura (figura 9) (BARREIRA, 2004, p. 45). Porém, neste trabalho, as temperaturas do material analisado, temperatura ambiente, se encontram na zona em que a emissividade não reduz significativamente.

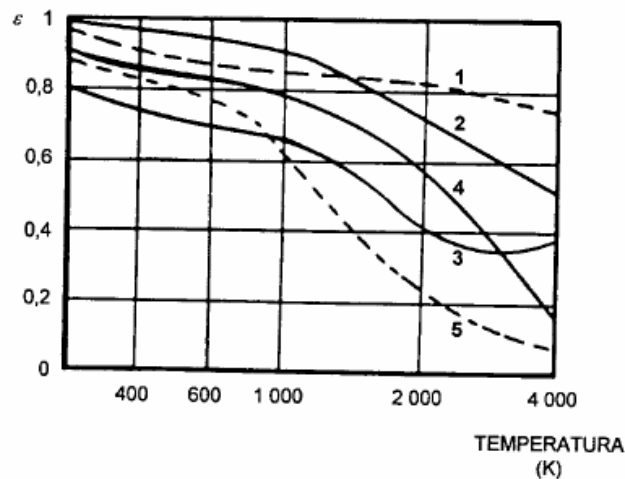


Figura 9: variação da emissividade total com a temperatura de alguns não metais: borracha (1); porcelana (2); cortiça (3); papel (4); argila refratária (5) (BARREIRA, 2004, p. 46)

4.1.1.4 Métodos práticos para determinação da emissividade de um objeto

O fluxo óptico é a grandeza medida pelos detectores de infravermelhos, que depende da emissividade e da temperatura do objeto. Para medir os valores reais de temperatura é preciso conhecer o valor efetivo da emissividade do objeto em questão. Para isto existem diversos métodos simplificados que podem determinar este valor (BARREIRA, 2004, p. 46).

O manual técnico da Flir (2009, p. 265) apresenta uma tabela com alguns materiais e seus respectivos valores de emissividade. Segundo Barreira (2004, p. 46), antes de utilizar estes valores deve-se verificar as condições de medição, a temperatura de ensaio, o acabamento da superfície do material, a gama de comprimentos de onda adotada e o ângulo de medição.

Um método para obter a emissividade efetiva é medir a temperatura da superfície utilizando, por exemplo, um termômetro pontual de infravermelhos ou um termopar. Apontando o equipamento de infravermelhos ao ponto cuja a temperatura é conhecida, altera-se o valor de

emissividade no equipamento até que a temperatura obtida coincida com a temperatura determinada anteriormente (BARREIRA, 2004, p. 47).

Outro método, utilizado em objetos com temperatura inferiores a 260° C, é colar uma fita isolante sobre uma parte da superfície do objeto, a área ocupada pela fita deve preencher o campo de visão do equipamento. A temperatura da fita é igual a da superfície do objeto. Mede-se a temperatura da fita utilizando uma emissividade de 0,95. Posteriormente, mede-se a temperatura da área adjacente ao objeto e ajusta a emissividade até obter a mesma temperatura. Esta é a emissividade do material (ROMIOTTO, 2011, p. 1; BARREIRA, 2004, p. 47).

Caso haja a possibilidade de pintar o objeto, deve-se usar uma tinta preta com emissividade conhecida (0,93 a 0,98). Após obter a temperatura superficial na zona pintada, ajusta-se a emissividade da zona sem tinta até obter a mesma temperatura superficial da zona pintada (BARREIRA, 2004, p. 47).

O método a ser utilizado para obter a emissividade vai depender das condições específicas de cada medição, devendo por isso analisar cada caso e optar pela melhor opção.

4.1.2 Atenuação atmosférica

A atmosfera presente entre a fonte emissora e o receptor pode originar perturbações na medição. Além disso, os gradientes térmicos e a turbulência alteram o índice de refração do ar provocando uma redução na qualidade da imagem. Contudo, a atenuação atmosférica é uma das maiores causas de problemas, pois gera um erro sistemático que é função da gama espectral utilizada, da distância de observação e das condições meteorológicas. Por isso, medições feitas com distância acima de 10 metros devem ser corrigidas (BARREIRA, 2004, p. 51).

Moncó (2002, p. 47) apresenta um gráfico de fator de correção por distância conforme mostra a figura 10. Este gráfico foi feito para uma atmosfera padrão, cujas características estão no quadro 4.

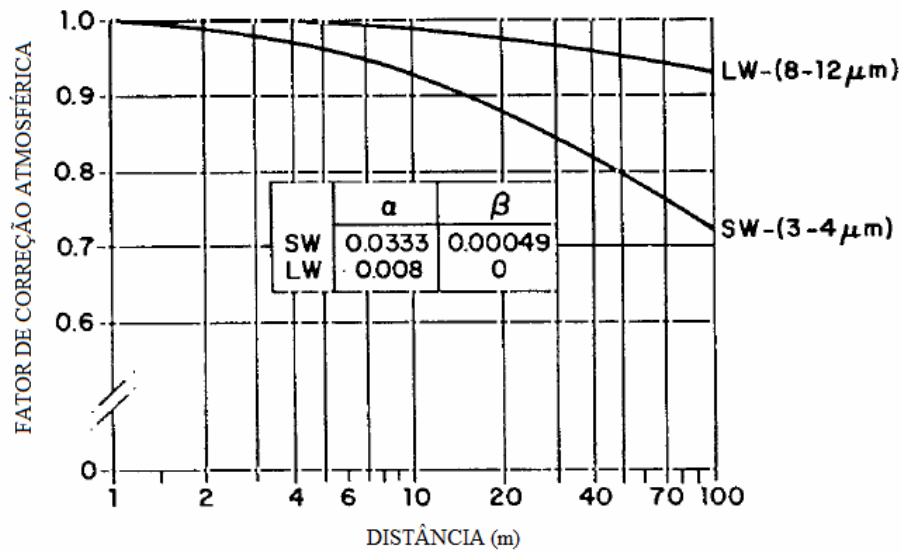


Figura 10: fator de correção atmosférica em uma atmosfera padrão (MONCÓ, 2002, p. 47)

Parâmetro	Atmosfera Padrão
temperatura do ar	15° C
pressão atmosférica	1 atm
umidade relativa	35%
concentração de CO ₂	300 ppm
concentração de N ₂ O	0,3 ppm
concentração de CO	1 ppm
concentração de O ₃	0,355 ppm
concentração de CH ₄	2 ppm
visibilidade	10 km

Quadro 4: parâmetros da atmosfera padrão (MONCÓ, 2002, p. 47)

4.1.3 Outros fatores que influenciam a medição em ensaios termográficos a edificações

O vento, com uma velocidade significativa, afeta as imagens térmicas. O fluxo de ar incidindo na superfície exterior da fachada reduz a resistência térmica superficial. Este efeito é maior nos cantos, visto que a velocidade do vento é maior nesta área.

Uma fonte de calor externa que pode afetar a medição termográfica é o sol. Quando o calor irradiado pelo sol atinge a fachada, este altera o fluxo normal de calor do interior para o exterior (BARREIRA, 2004, p. 57).

A distância entre o equipamento e o objeto pode alterar a leitura da temperatura superficial. A distância diminui a resolução dos termogramas e influencia a atenuação atmosférica. Por fim, outro fator que influencia a medição é a temperatura ambiente. Se a temperatura está muito alta ou muito baixa, os sistemas de detecção de radiação infravermelha tornam-se menos estáveis (BARREIRA, 2004, p. 58)

4.2 TERMOGRAFIA APLICADA EM EDIFICAÇÕES

A maioria das patologias dos materiais e componentes presentes nas edificações estão associadas à temperatura, assim a medição desta poderá auxiliar na compreensão dos fenômenos que estão na origem das anomalias. A termografia tem como principais vantagens a detecção de objetos não visíveis, não precisa de contato físico, ensaio em tempo real, larga escala e é uma técnica não destrutiva (BARREIRA, 2004, p. 27). Além disso, o manual técnico da Flir (2009, p. 160) cita as seguintes vantagens: não requer um realojamento temporário dos residentes, apresentação visual ilustrativa dos resultados e o método confirma os pontos de falha e as vias de migração da umidade. O mesmo manual aponta como desvantagem que o método detecta apenas diferencial de temperatura na superfície, ela não consegue penetrar nas paredes e não detecta danos abaixo da superfície, isto é, presença de fungos ou danos estruturais.

5 PONTES TÉRMICAS

A transferência de calor entre dois pontos ocorre quando há uma diferença de temperatura entre eles. Esta transferência desenvolve-se na direção das temperaturas decrescentes (VALÉRIO, 2007, p. 7).

A transmissão do calor pode acontecer através dos mecanismos abaixo que são representados na figura 11:

- a) condução;
- b) convecção;
- c) radiação.

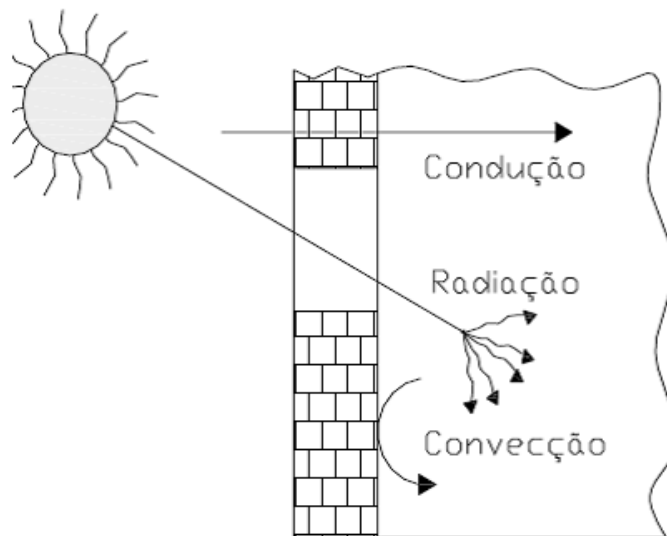


Figura 11: mecanismos de transmissão de calor em edifícios (VALÉRIO, 2007, p. 7)

O mecanismo de transmissão por condução é a transferência de energia cinética das moléculas em sólidos, líquidos e gases. Nos sólidos e líquidos não condutores, essa transmissão térmica ocorre devido às oscilações longitudinais das estruturas moleculares. Nos metais é semelhante à condução elétrica. Por último, nos gases, a transmissão é devido à colisão elástica entre as moléculas. Esse processo depende da condutibilidade dos materiais (λ) e da espessura dos elementos que a compõem (VALÉRIO, 2007, p. 7).

O mecanismo de transmissão por convecção está associado ao movimento dos fluidos, líquidos ou gasosos. A transmissão de calor por convecção depende da velocidade do fluido e do regime de escoamento (LABRINCHA, 2006, p. 2). Segundo Valério (2007, p. 8), nos edifícios a troca de energia ocorre normalmente com o ar.

O último mecanismo é o de transmissão por radiação. Este apresenta características particulares, ao contrário dos outros mecanismos de transmissão, não necessita de nenhum suporte físico para se processar (LABRINCHA, 2006, p. 5). Trata-se de um fenômeno eletromagnético, de natureza ondulatória, que existe quando há uma diferença de temperatura entre as superfícies, independente do meio que as separa (VALÉRIO, 2007, p. 9).

Com os diferentes tipos de materiais que constituem o edifício e/ou diferentes geometrias da envolvente, os mecanismos de transmissão e a direção em que ocorrem são diferentes. Essa transmissão de calor é chamada de pontes térmicas (CORVACHO, 1998, p 67).

Segundo Valério (2007, p. 11), além do tipo de material, a geometria ou a ordem estrutural podem originar pontes térmicas. Os casos mais comuns são:

- a) transição entre materiais com diferentes condutibilidades térmicas;
- b) alterações na espessura de um elemento;
- c) diferenças entre áreas internas e externas.

As figuras 12 a 15 apresentam situações que podem gerar pontes térmicas.

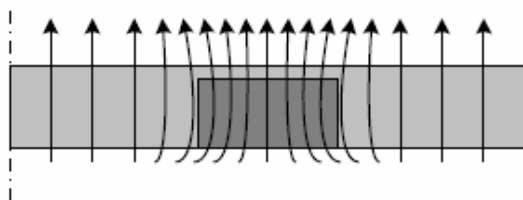


Figura 12: ponte térmica devido à transição entre diferentes materiais (VALÉRIO, 2007, p. 11)

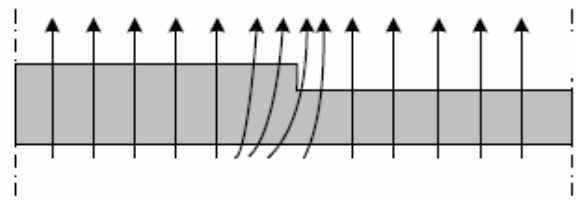


Figura 13: ponte térmica devido a alterações de espessura (VALÉRIO, 2007, p. 11)

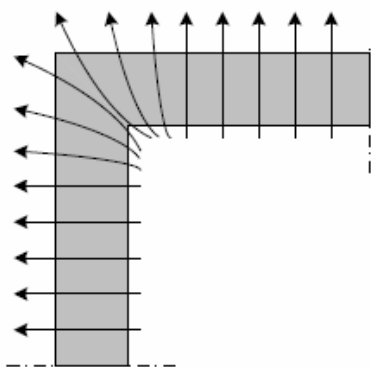


Figura 14: ponte térmica num cunhal
(VALÉRIO, 2007, p. 11)

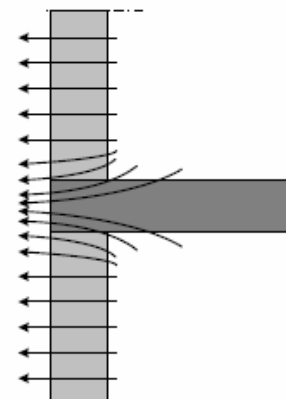


Figura 15: ponte térmica devido à ligação
da laje com a fachada
(VALÉRIO, 2007, p. 11)

Em todos estes casos apresentados, o fluxo de calor segue a trajetória que despense menos energia, ou seja, o caminho com menor resistência térmica. Como as pontes térmicas apresentam maiores taxas de perdas de calor, a temperatura superficial nesta região é mais baixa, originando heterogeneidade na distribuição das temperaturas no interior dos elementos. Este fenômeno pode potencializar o risco de condensações e o consequente aparecimento de manifestações patológicas (VALÉRIO, 2007, p. 11).

Segundo Corvacho (1998, p. 68), a existência de pontes térmicas nas envolventes dos edifícios tem diversas implicações negativas como:

- a) acréscimo de perda térmica para o exterior;
- b) agravamento do risco de condensação superficial;
- c) possibilidade de desenvolvimento de bolores;
- d) aparecimento de manchas resultantes da deposição desigual do pó nas várias zonas da superfície interior da envolvente (nas zonas mais frias, o pó é mais facilmente retido);
- e) alterações diferenciadas de tintas e revestimentos;
- f) eventual fissuração.

De acordo com Valério (2007, p. 12), uma maneira de minimizar a temperatura baixa nas pontes térmicas é utilizando um isolamento térmico, porém este não é muito efetivo quando aplicado no interior de caixas de ar, pois não garante uma continuidade no encontro dos elementos estruturais. Este material é eficaz quando aplicado no exterior das paredes.

6 MÉTODO DE PESQUISA

Este trabalho consiste na avaliação do uso de uma técnica baseada na termografia para a verificação da presença de manifestações patológicas ocultas nas fachadas de revestimento de argamassa do Prédio da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Com o objetivo de detectar estas manifestações patológicas, utilizou-se de um ensaio não destrutivo através do uso de uma câmera termográfica, a qual possibilita a análise do fluxo de calor irradiado pela superfície da fachada. A fim de minimizar possíveis erros nos resultados das leituras, foram executados ensaios preliminares para praticar e conhecer melhor o funcionamento do aparelho antes do ensaio definitivo.

6.1 OBJETO DE ESTUDO

A edificação escolhida como objeto de estudo foi o prédio da Escola de Engenharia da UFRGS que está localizado no centro de Porto Alegre, na Av. Osvaldo Aranha n. 99 (figura 16). Optou-se por este edifício pela localização, pela idade e pelo fato de suas fachadas estarem bem deterioradas. Este prédio é denominado pela comunidade da Escola de Engenharia como prédio Novo uma vez que foi o 2º prédio construído, servindo de apoio para as atividades didáticas e administrativas que anteriormente ocorriam apenas no Prédio Centenário.



Figura 16: vista geral do prédio "Novo" da Escola de Engenharia da UFRGS

6.1.1 Descrição do prédio

A edificação é composta principalmente, por salas de aulas, laboratórios e gabinetes de professores que estão distribuídos nos sete andares do prédio. A fachada principal, com divisa para a rua, tem orientação Norte, recebe luz solar na maior parte do dia. Na fachada Leste, o sol incide no período da manhã, porém somente uma parte recebe a luz do sol devido ao sombreamento proporcionado pelo prédio ao lado. Na fachada Noroeste, o sol incide no período da tarde. A fachada Sul recebe pouca insolação. A figura 17 apresenta uma vista superior da edificação, a identificação e orientação das fachadas.

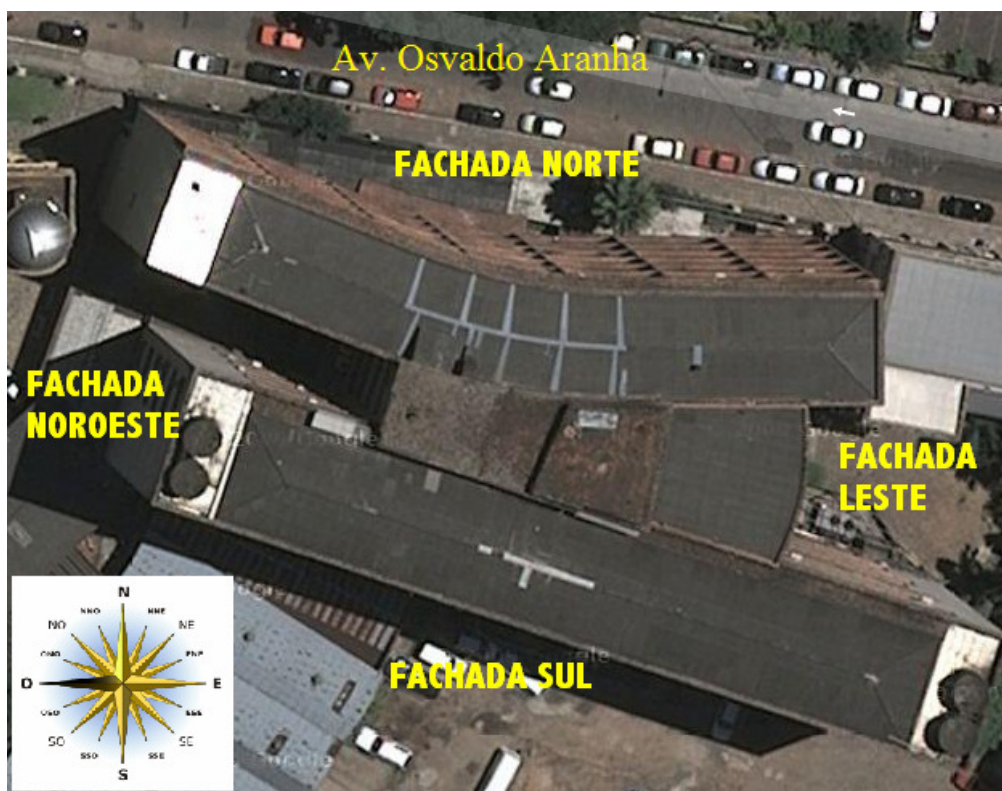


Figura 17: vista superior do prédio da Escola de Engenharia da UFRGS (GOOGLE¹², 2011)

6.1.2 Escolha da fachada

Dentre as quatro fachadas, escolheu-se apenas a fachada Sul para avaliar a presença de manifestações patológicas ocultas. Esta escolha foi feita em virtude da fachada Leste e Noroeste necessitarem de locação de equipamentos especiais para o acesso à fachada. A fachada Sul possui um melhor acesso aos locais com possíveis manifestações patológicas ocultas, além de apresentar um menor tráfego de pedestres, sendo possível utilizar escadas sem interferir no fluxo de pessoas do prédio. A fachada Norte foi excluída por ter revestimento cerâmico, o que não é objeto deste trabalho. As figuras 18 a 21 apresentam as quatro fachadas do prédio.

¹² Esta imagem foi retirada do site do google maps. Disponível em <<http://maps.google.com.br/maps?hl=pt-BR&tab=wl>>. Acesso em: 18 jul. 2011.



Figura 18: vista geral da fachada Leste



Figura 19: vista geral da fachada Noroeste



Figura 20: vista geral da fachada Sul

Figura 21: vista geral da fachada principal -
orientação Norte

As fachadas Sul, Noroeste e Leste possuem um revestimento composto por 3 camadas. As duas primeiras camadas são constituídas de argamassas e a última é de cirex, que é uma argamassa constituída por cimento, cal, impermeabilizantes e corantes minerais, conforme pode ser visto na figura 22. Além disso, a fachada possui uma camada de preparo superficial, denominada de chapisco, sobre a qual o revestimento é aplicado.



Figura 22: parte do revestimento da fachada da Escola de Engenharia da UFRGS evidenciando as diferentes camadas

6.2 DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO

O equipamento utilizado no ensaio de campo foi uma câmera termográfica, *FLIR T400*, como mostrada na figura 23. Para a utilização deste, é necessário inserir o valor de emissividade do objeto, a temperatura ambiente e a distância até o objeto. A câmera termográfica capta os raios infravermelhos e, utilizando os valores de entrada, dá como resposta a temperatura superficial. Ele opera em uma faixa de temperatura que varia entre -20°C e 1200°C . A câmera termográfica gera imagens que apresentam as temperaturas superficiais através de cores. O aparelho possui uma mira laser, para identificar o ponto do objeto que está sendo analisado. As demais características do equipamento são apresentadas no quadro 5.



Figura 23: câmera termográfica *FLIR T400*

Faixa de temperatura	-20°C a 1200°C
Precisão	2°C
Campo de visão/dist. mín. do foco	25° X 19°/0,4m
Foco	manual/automático
Faixa espectral	7,5 a 13µm
Taxa de enquadramento	30Hz
Sensibilidade térmica	<0,05°C a 30°C
Tipo de detector	matriz plano focal (FPA), microbolômetro sem resfriamento
Modos de imagem	térmica/visual/fusão
Lentes	25°
Emissividade	ajuste 0,1 a 1,0

Quadro 5: características da câmera termográfica *FLIR T400* (FLIR, 2009, p. 215)

6.3 ESTUDO EXPLORATÓRIO

Antes da realização do trabalho propriamente dito, optou-se em realizar um estudo prévio para conhecimento e conferência da definição de todos os parâmetros do equipamento. Este teste foi executado em uma das fachadas do prédio do Observatório Astronômico da Universidade Federal do Rio Grande do Sul/UFRGS (figura 24).



Figura 24: vista geral do prédio do Observatório Astronômico da UFRGS

A emissividade do revestimento utilizada foi o valor fornecido pelo fabricante da câmera termográfica, o qual consta no manual. No caso de reboco o valor é de 0,86. O estudo prévio limitou-se à parede Norte do referido prédio a uma altura de aproximadamente 1,5 metros. Optou-se por esta altura, pois seria de fácil alcance para analisar algum ponto que a câmera termográfica captasse temperatura superficial diferente das zonas adjacentes e que não fosse visualmente observada. A metodologia adotada foi inicialmente realizar uma avaliação visual verificando danos existentes. Posteriormente, efetuou-se a análise com a câmera termográfica e finalmente uma avaliação com percussão na superfície. Esta fachada possuía uma região cujo o revestimento de argamassa possuía problema de descolamento. A região próxima desta zona não apresentava nenhuma anomalia visível (figura 25).



Figura 25: área da fachada Norte do Observatório Astronômico da UFRGS onde foi realizado o teste preliminar

Utilizando a câmara termográfica, notou-se zonas com temperaturas distintas (figura 26). Zonas mais claras, indo para o tom do amarelo, possuem temperatura mais alta. Executando o ensaio de percussão foi possível observar que nas zonas com temperaturas baixas (cor mais escura) a argamassa estava descolada (figura 27), verificado através do som cavo, mas não havia deslocado, proporcionando assim, nesta zona, um bolsão de ar.



Figura 26: imagem termográfica do Observatório Astronômico da UFRGS

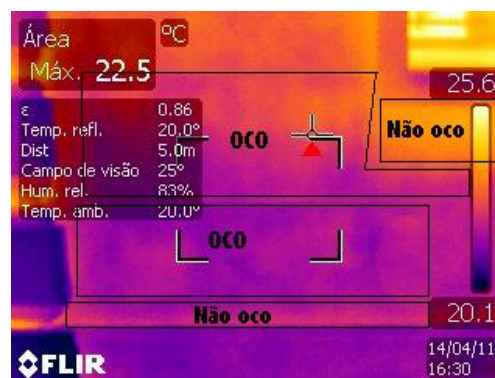


Figura 27: zonas com oco da fachada do Observatório Astronômico da UFRGS

Como no dia do ensaio a superfície analisada estava úmida em decorrência da chuva do dia anterior, decidiu-se pela repetição do ensaio em um dia em que a superfície estava aparentemente seca. Realizando o ensaio novamente, nesta condição do tempo mais seco, o comportamento da temperatura superficial alterou-se. A zona com o revestimento descolado

apresentou uma temperatura superficial superior ao revestimento não descolado. As figuras 28 e 29 apresentam as temperaturas nas regiões descolada e não descolada, respectivamente. O comportamento do revestimento com umidade apresentou uma alteração da temperatura superficial diferente do revestimento sem umidade. O revestimento descolado apresentou uma temperatura superior ao não descolado.

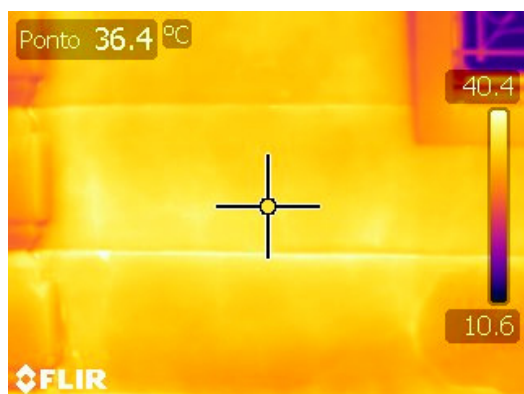


Figura 28: temperatura superficial do revestimento descolado, temperatura superior

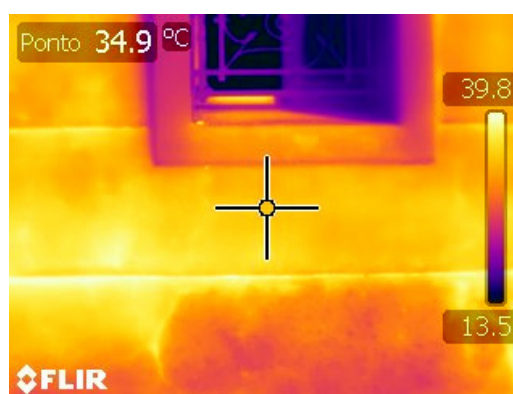


Figura 29: temperatura superficial do revestimento não descolado, temperatura inferior

Portanto, a imagem termográfica do revestimento seco não pode ser comparada com uma imagem termográfica com revestimento úmido. A presença de umidade altera a temperatura superficial do revestimento. Assim é necessário verificar, através de outros métodos, a presença de umidade para que todos os ensaios tenham as mesmas características para serem comparadas. Após a realização deste teste passou-se para o objeto de estudo deste trabalho.

7 PROGRAMA EXPERIMENTAL

A metodologia adotada neste trabalho consistiu inicialmente determinar a emissividade do revestimento. Em seguida fez-se um levantamento termográfico e digital da fachada e por fim, verificou-se a existência de manifestações patológicas visualmente detectadas e através de ensaio de percussão em uma faixa de quatro metros em relação a base. Após o levantamento de dados, realizou-se uma análise comparativa.

7.1 DETERMINAÇÃO DA EMISSIVIDADE DO REVESTIMENTO EM ESTUDO

Apesar de existir tabelas com valores de emissividades para diversos materiais, estes valores devem ser usados apenas como referência (FLIR, 2009, p. 265). Assim, para obter a emissividade do revestimento de argamassa do prédio da Escola de Engenharia da UFRGS foi utilizado um ensaio para determinação deste fator, através do método da fita isolante.

Inicialmente buscou-se um ponto que não apresentasse som cavo e que não tivesse umidade aparente. Uma vez definida uma área, colocou-se na superfície do revestimento fita isolante de cor preta demarcando uma área de pequena extensão (figura 30). Enquanto se esperava estabilizar a temperatura entre a fita e o revestimento, configurou-se a câmera termográfica com os seguintes parâmetros:

- a) distância aproximada entre o revestimento com a fita e a câmera (1,0 m);
- b) temperatura ambiente (18° C);
- c) valor de emissividade da fita (0,95).

Inicialmente mediu-se a temperatura superficial na região de fita isolante, obtendo-se 14,9° C (figura 31). Em seguida, fez-se uma medição com a câmera apontada na região do revestimento sem a fita isolante. Foi-se alterando o valor de emissividade na câmera até obter o mesmo valor de temperatura da zona com fita isolante (figuras 32 a 35). Ao utilizar o valor de 0,95, a câmera termográfica mediu uma temperatura de 14,9° C, mesma temperatura do

revestimento com fita isolante. Assim, este valor de emissividade é o do revestimento, sendo este utilizado nos demais ensaios.

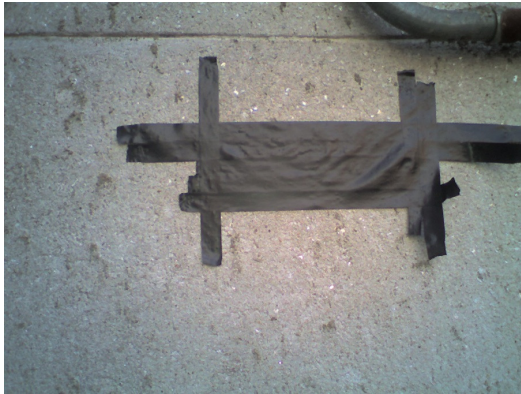


Figura 30: região coberta com fita isolante para avaliação de temperatura

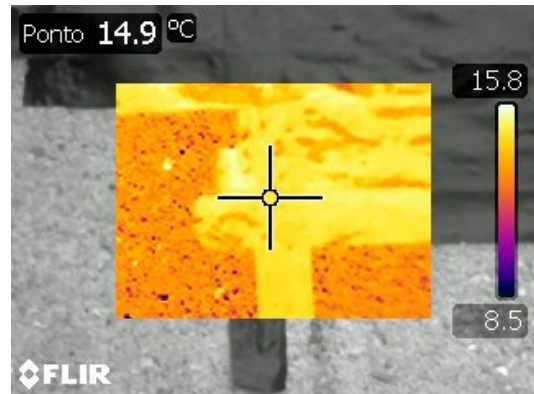


Figura 31: temperatura medida na região coberta com fita isolante



Figura 32: imagem termográfica de zona com revestimento - emissividade 0,80

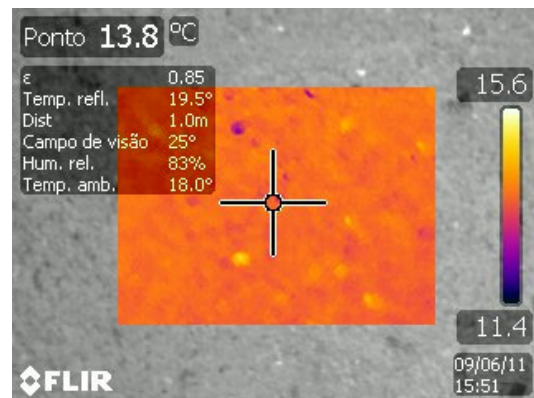


Figura 33: imagem termográfica de zona com revestimento - emissividade 0,85

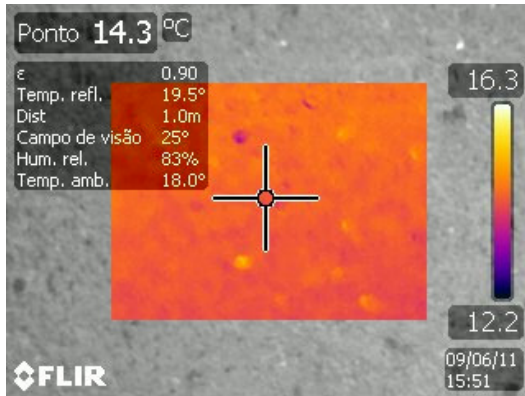


Figura 34: imagem termográfica de zona com revestimento - emissividade 0,90

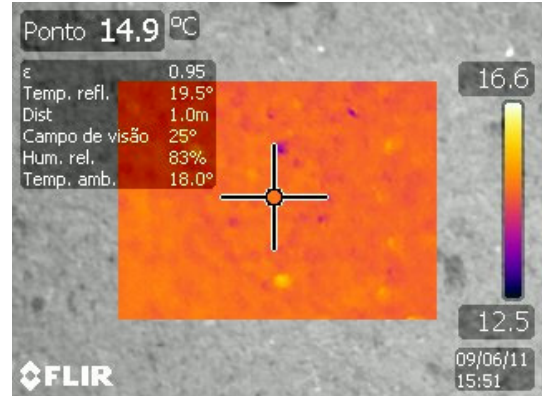


Figura 35: imagem termográfica de zona com revestimento - emissividade 0,95

7.2 IDENTIFICAÇÃO MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS E ENSAIO DE TERMOGRAFIA

O prédio da Escola de Engenharia é constituído de pilares, vigas e alvenaria de vedação. Elementos a base de material cimentício (vigas e pilares) possuem uma resistência de transmissão de calor diferente de elementos cerâmicos (alvenaria). Utilizando a câmera termográfica foi possível visualizar a existência destes dois materiais no prédio, pela diferença de temperatura superficial (figura 36).

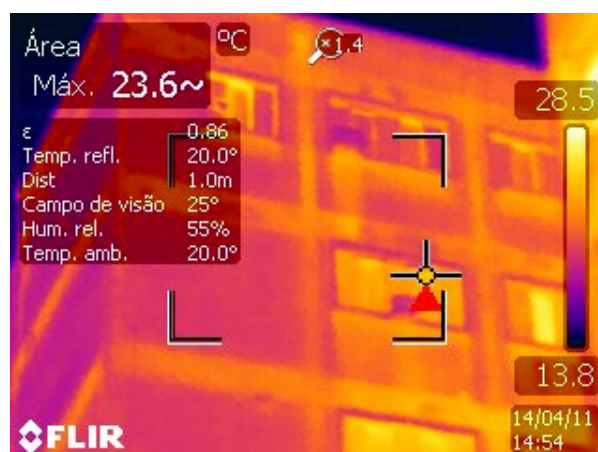


Figura 36: imagem termográfica onde fica evidenciado os elementos de concreto e alvenaria de vedação sob o revestimento de argamassa

Inicialmente buscou-se uma visualização geral, através da termografia, de toda a fachada escolhida. Através deste ensaio observou-se uma série de pontos com diferencial de temperatura superficial (figura 37), ou seja, que se destacavam em relação às demais zonas.

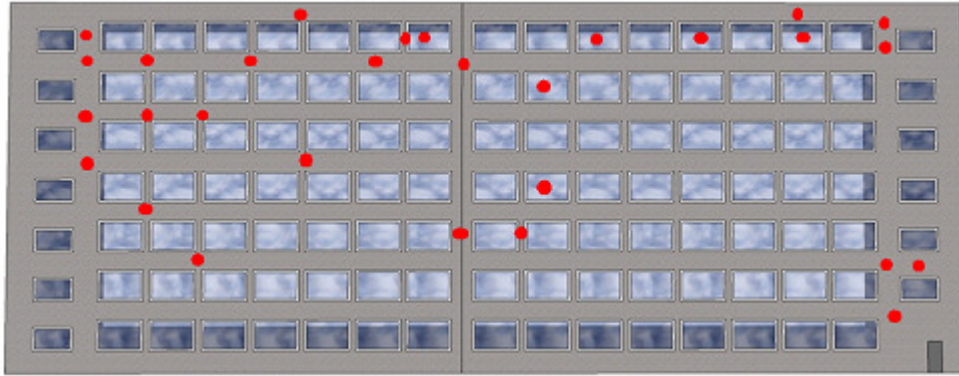


Figura 37: pontos visualizados com diferencial de temperatura superficial

Dentre os pontos observados, destacam-se três. Estes podem ser vistos nas figuras 38 a 43.

A figura 38 mostra uma parte da fachada com o revestimento parcialmente destacado. Observando a imagem termográfica desta mesma região (figura 39) é possível verificar que onde foi observado visualmente uma falha no revestimento, a temperatura detectada pela câmera termográfica é mais alta, não só onde observa-se o destacamento mas também no seu entorno. Indicando possivelmente a região comprometida.



Figura 38: área da fachada com destacamento do revestimento

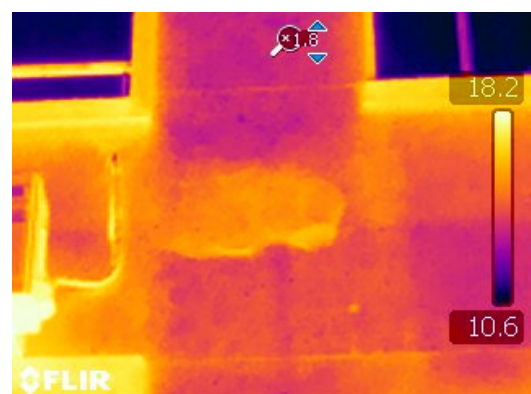


Figura 39: imagem termográfica da área identificada na figura 38 com descolamento

As figuras 40 e 41 mostram uma vista geral e a respectiva imagem termográfica do revestimento abaixo dos aparelhos de ar condicionado. Esta região apresenta o que é denominado de lavado limpo, que é um escoamento capaz de arrastar as partículas de sujeira (ROBINSON e BAKER¹³, 1977 apud PETRUCCI, 2000, p. 31). Ou seja, nesta região a água não descola da fachada, possuindo uma probabilidade de conter um maior teor de umidade. No caso de restauro desta fachada, deve ser previsto detalhes de pingadeiras onde a água é descolada da superfície. Na figura 41 verifica-se que nestas zonas mais escuras a temperatura é menor, como era de se esperar. Porém, em um ponto abaixo da janela a temperatura é superior, cor mais amarelada. Este ponto não apareceu na figura 40, mas no local esta região da parede não possui revestimento, foi o local de um aparelho de ar condicionado do tipo janela. Pelo fato de não possuir o revestimento, o valor de emissividade é diferente, alterando a cor na imagem termográfica.

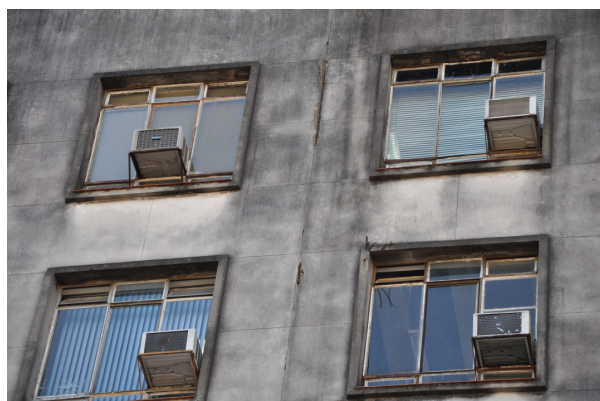


Figura 40: vista geral do revestimento abaixo dos aparelhos de ar condicionado

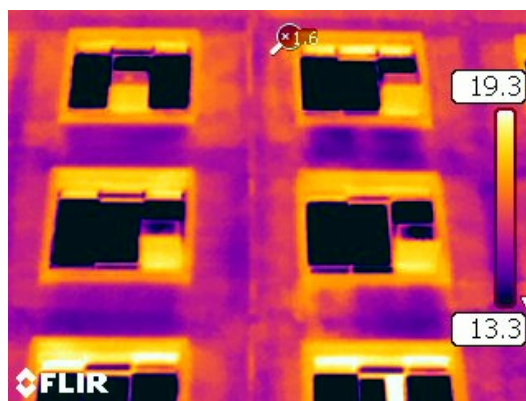


Figura 41: imagem termográfica do revestimento abaixo dos aparelhos de ar condicionado

A figura 43 mostra a imagem termográfica de uma zona que possui duas áreas com temperaturas distintas do seu entorno. Ao analisar a figura 42, não se observa visualmente nenhuma falha. Possivelmente nesta zona há o descolamento do revestimento ou houve alteração do material empregado.

¹³ Neste trecho do texto o autor citou o trabalho de Robinson e Baker, de 1975, cujo título é *Wind-driven Rain and Buildings*, que teria sido publicado no *National Council Canada*.



Figura 42: vista geral do revestimento

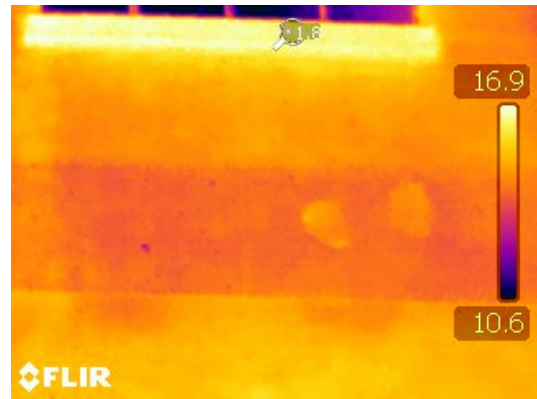


Figura 43: imagem termográfica da figura 42, onde se verificou a existência de duas áreas, com temperaturas diferentes, com materiais distintos ou problema de aderência

Observou-se mais zonas da fachada com temperaturas diferentes. Estes registros se encontram no anexo A.

Para verificar alguma relação entre as diferenças de temperaturas visualizadas em algumas regiões da fachada com mesmo revestimento e as manifestações patológicas, decidiu-se fazer um levantamento das manifestações patológicas em uma parte da fachada através de análise visual seguida por ensaio de percussão.

A área de fachada analisada foi a de fácil acesso, que no máximo pudesse ser alcançada com o auxílio de uma escada. Esta se localiza na parte inferior da fachada a uma altura de aproximadamente quatro metros. Não foi possível verificar toda a extensão da base da fachada devido à existência de outros prédios. A figura 44 apresenta a zona analisada, região marcada em vermelho. Neste levantamento realizado, tanto visual como de percussão, detectou-se a presença de descolamentos e manchas. Estes pontos foram demarcados com giz, e posteriormente registrados com fotos digitais e termográficas.



Figura 44: área onde foi executado o levantamento de manifestações patológicas através do ensaio de percussão

A figura 45 exemplifica uma parte do revestimento que contém sujeira e descolamento juntos, localizado no centro da figura, e outra parte com sujeira intensa, localizado na parte inferior. A presença desta sujeira altera a emissividade do material. Devido esta alteração, a imagem termográfica apresenta uma alteração de cor nestas regiões comparando com seu entorno (figura 46), não necessariamente há uma alteração da temperatura superficial. Neste caso a interpretação dos dados obtidos com a termografia deve ser feita com mais cuidados.

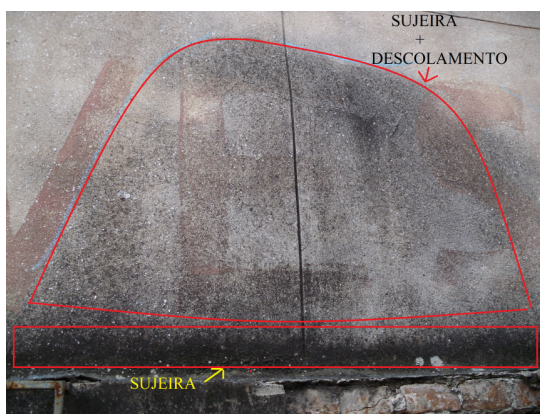


Figura 45: revestimento com descolamento, sujidade e possivelmente biodeterioração

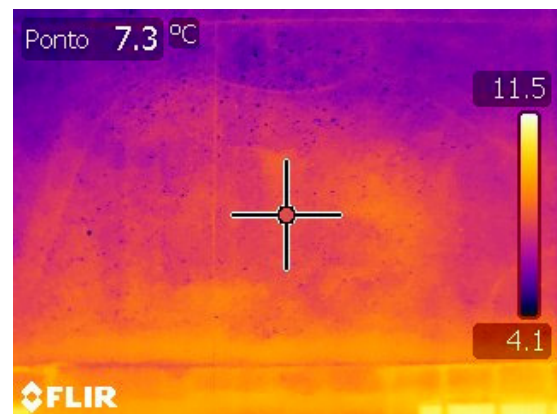


Figura 46: imagem termográfica do revestimento com sujeira e descolamento

A região destacada na figura 47 apresenta som cavo no teste de percussão. Utilizando a câmera termográfica, não apresentou alteração na temperatura superficial do revestimento descolado comparado com a parte sem descolamento (figura 48). Neste caso não foi possível

observar na termografia o revestimento descolado. Esta observação mostra a necessidade de um maior estudo sobre a aplicação da termografia nas edificações.



Figura 47: região do revestimento com som cavo, descolado

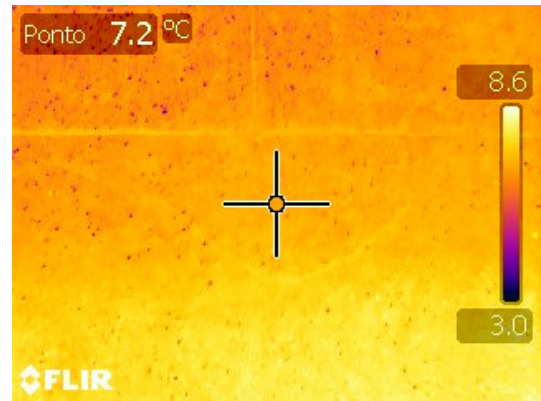


Figura 48: imagem termográfica do revestimento descolado

A figura 49 apresenta outro revestimento descolado. Este está demarcado com uma linha vermelha na mesma figura. A imagem termográfica registrou um aumento de temperatura nesta zona (figura 50). A cor nesta região da imagem é mais amarelada do que a parte superior que não apresenta descolamento.



Figura 49: região do revestimento com som cavo



Figura 50: imagem termográfica do revestimento descolado

No ensaio realizado na Escola de Engenharia, observou-se valores de temperatura superficial, nas regiões onde o revestimento encontrava-se descolado, verificação esta obtida através do ensaio de percussão, superiores e inferiores ao revestimento adjacente não descolado. Este comportamento pode ser explicado pelo mecanismo de transporte do calor. Este se desloca do

ambiente com temperatura superior para o de temperatura inferior. Quando o ambiente externo apresenta temperatura superior ao ambiente interno, o calor vai se deslocar no sentido exterior para o interior do prédio. Na zona onde há descolamento, há formação de um bolsão de ar com uma camada de ar aquecida, gerando temperatura superficial mais alta. O descolamento presente no revestimento vai dificultar o transporte do calor. Quando o bolsão está no ambiente com temperatura inferior, a temperatura superficial no revestimento é menor se comparado ao seu entorno (figura 51).

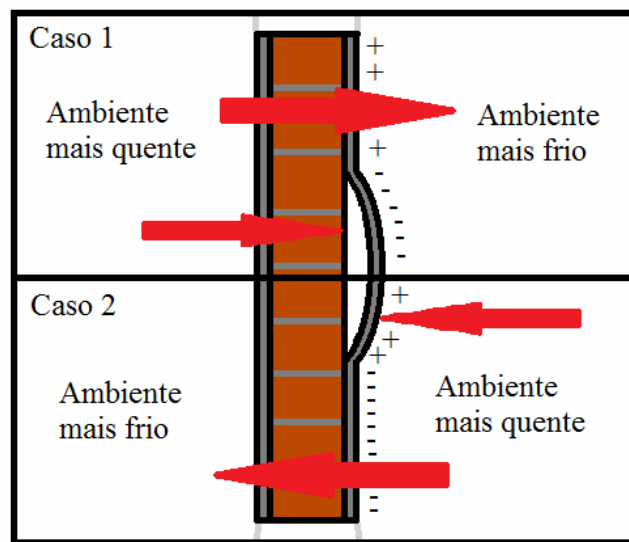


Figura 51: influência do descolamento do revestimento no transporte de calor

8 CONCLUSÕES

Nos itens a seguir serão apresentadas as considerações finais e síntese crítica dos resultados deste trabalho.

8.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A termografia permite medir a temperatura superficial através das radiações infravermelhas emitidas pelos objetos. Todos os objetos podem ser observados por esta técnica, uma vez que, tendo temperaturas superiores ao zero absoluto, emitem radiações infravermelhas.

A termografia aparenta ser uma técnica simples, porém a análise dos resultados pode ser complicada e até conduzir a conclusões erradas se não tomarem certas precauções durante a realização do ensaio. Os principais fatores que influenciam as medições são:

- a) condições térmicas do objeto e do meio em que se encontra, antes e durante o ensaio;
- b) presença de fontes externas (reflexão, superfícies com diferentes acabamentos, etc);
- c) condições de medição (emissividade adotada, temperatura do ar, distância entre a câmera e o objeto, ângulo de observação, etc).

A maioria destes fatores de interferência podem ser detectados e controlados antes do início do ensaio. Se tal não for possível, então devem ser referidas as condições que se consideram relevantes para fazer correções aos resultados obtidos e minimizar possíveis erros na sua interpretação.

A termografia aplicada à construção constitui um ensaio não destrutivo e bastante rápido. Além disso, este permite a realização de ensaios em tempo real, de longo alcance, larga escala e não requer uma fonte externa de iluminação. Possibilita a detecção de objetos encobertos, a visualização de pontos quentes e frios na mesma imagem e pode ser aplicada em edifícios em funcionamento.

8.2 SÍNTESE CRÍTICA DOS RESULTADOS

Ao analisar a eficiência do uso da termografia na identificação de manifestações patológicas ocultas percebeu-se que a câmera termográfica, em alguns pontos, detectou alteração da temperatura superficial. Estes podem ser deslocamentos, alterações de material ou alguma intervenção.

No prédio da Escola de Engenharia da UFRGS, detectou-se em alguns pontos descolamento da argamassa, através do ensaio de percussão, mas o mesmo não foi observado pela termografia. O fato de isso ocorrer requer um maior estudo na identificação de descolamentos por termografia.

Fatores externos podem alterar a análise da temperatura superficial. A presença de umidade no revestimento inverteu o comportamento da temperatura superficial quando comparado com o revestimento seco. Sendo assim, estas imagens termográficas não podem ser comparadas, visto que apresentam condições diferentes.

O revestimento com sujidade apresenta uma alteração da emissividade. Assim, para se aplicar a termografia para avaliar esta região, deve se atentar para utilizar a emissividade correspondente a cada parte da superfície.

Embora a câmera termográfica tenha um alto custo inicial, ela é uma ferramenta rápida e pode utilizar remotamente. Ela não substitui as técnicas existentes, como a análise visual e o ensaio de percussão, mas pode-se utilizá-la como mais uma ferramenta para verificar a existência de problemas no revestimento.

REFERÊNCIAS

- ANTUNES, G. R. **Estudo de manifestações patológicas em revestimento de fachada em Brasília**: sistematização da incidência de casos. 2010. 178 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9575**: Impermeabilização: seleção e projeto. Rio de Janeiro, 2003.
- 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.
- BAUER, R. J. F. **Falhas em revestimentos**: suas causas e suas prevenções. [S. l.]: Campanha Estadual de Habitação e Obras Públicas, [1996?]. Disponível em: <<http://200.199.118.135/orse/esp/ES00134.pdf>>. Acesso em: 24 nov. 2010.
- CIRNE, L. S. R.; OLIVEIRA, F. L.; DUMÊT, T. B. **Levantamento das principais patologias de revestimentos de fachada de edifícios na cidade de Salvador**. Relatório de Pesquisa. Comunidade da Construção. Salvador. 2006. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/comunidades/salvador/ciclo2/htms/downloads/LNK05/04/PesquisaPatologia.pdf>>. Acesso em: 18 jul. 2011
- CORTIZO, E. C. **Avaliação da técnica de termografia infravermelha para identificação de estruturas ocultas e diagnóstico de anomalias em edificações**: ênfase em edificações do patrimônio histórico. 2007. 177 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais.
- CORVACHO, M. H. Pontes térmicas: importância da existência de um catálogo. In. JORNADAS DE CONSTRUÇÃO CIVIL, 6., 1998, Porto. **Anais...** Porto: FEUP, 1998.
- 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. 1988. 220 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- FLIR. **Manual do utilizador**. São Paulo, 2009
- HATTGE, A. F. **Estudo comparativo sobre permeabilidade das alvenarias em blocos cerâmicos e alvenarias em bloco de concreto**. 2004. 136 f. Trabalho de Conclusão (Mestrado em Engenharia) – Curso de Mestrado Profissionalizante, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- IOSHIMOTO, E. Incidência de manifestações patológicas em edificações habitacionais. In: TECNOLOGIA em edificações. São Paulo: IPT; Pini, 1988. p. 545-548.

LABRINCHA, J. **Associação para o desenvolvimento da casa do futuro**. Universidade de Aveiro, 2006. Disponível em: <<http://www.aveirodomus.pt/resources/xFiles/scContentDeployer/docs/Doc266.pdf>>. Acesso em: 18 jul. 2011.

LIMA, L. S. L. T.; MONTEIRO, E. C. B.; BARKOKÉBAS Jr., B. Estudo das manifestações patológicas encontradas nos serviços de impermeabilização. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 1998. Disponível em: <http://www.ufrn.br/sites/producao_ct/sec3_4.html>. Acesso em: 18 jul. 2011.

MAZER, W. **Diagnóstico das patologias**. Curso de Especialização em Patologia das Construções. 2011. Notas de Aula. . Disponível em: <http://pessoal.utfpr.edu.br/wmazer/arquivos/Notas_Aula_Diagnostico.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2011.

MONCÓ, E. G. **La humedad como causa de patologias em monumentos**: desarrollo de nuevas técnicas de análisis no destructivo basadas em termografia infrarroja. 2002. 212 f. Tese (Doutorado em Ciências Físicas) – Departamento de Materiais, Universidade Complutense de Madrid, Madrid.

NETO, C. J. **Termografia aplicada a detecção e dimensionamento de discontinuidades em tubulações de material compósito**. 2009. 103 f. Dissertação (Mestre em Engenharia, Modalidade Profissional, Especialidade Engenharia de Inspeção de Equipamentos) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e dos Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

NOVA MANUTENÇÃO Y QUALIDADE. **Termografia em alta**. [2010?]. Disponível em: <http://www.myq.com.br/html/revistas/54/54_notic.htm>. Acesso em: 18 jul. 2011.

PEREZ, A. R. Umidade nas edificações: recomendações para a prevenção da penetração de água pelas fachadas. In: TECNOLOGIA em edificações. São Paulo: IPT; Pini, 1988. p. 571-574.

PETRUCCI, H. M. C. **A alteração da aparência das fachadas dos edifícios**: interação entre as condições ambientais e a forma construída. 2000. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

ROMIOTTO. **Como determinar a emissividade dos objetos**. 2011. Disponível em: <http://www.romiotto.com.br/raytek/tecnologia/Valores_Tipicos_de_Emissividade.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2011.

SATO, N. M. N.; JOHN, V. M.; LOH, K. Umidade e crescimento de microrganismos em fachada. In: SEMINARIO INTERNACIONAL DURABILIDADE DE MATERIAIS, COMPONENTES E ESTRUTURAS, 3., 1997, São Paulo. **Anais...** São Paulo: PCC USP, 1997.

SATO, N. M. N.; UEMOTO, K. L.; SHIRAKAWA, M. A.; SAHADE, R. F. Condensação de vapor de água e desenvolvimento de microrganismos em fachada de edifícios: estudo de caso.

In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: ANTAC, 2002. p. 1191-1198. 1 CD.

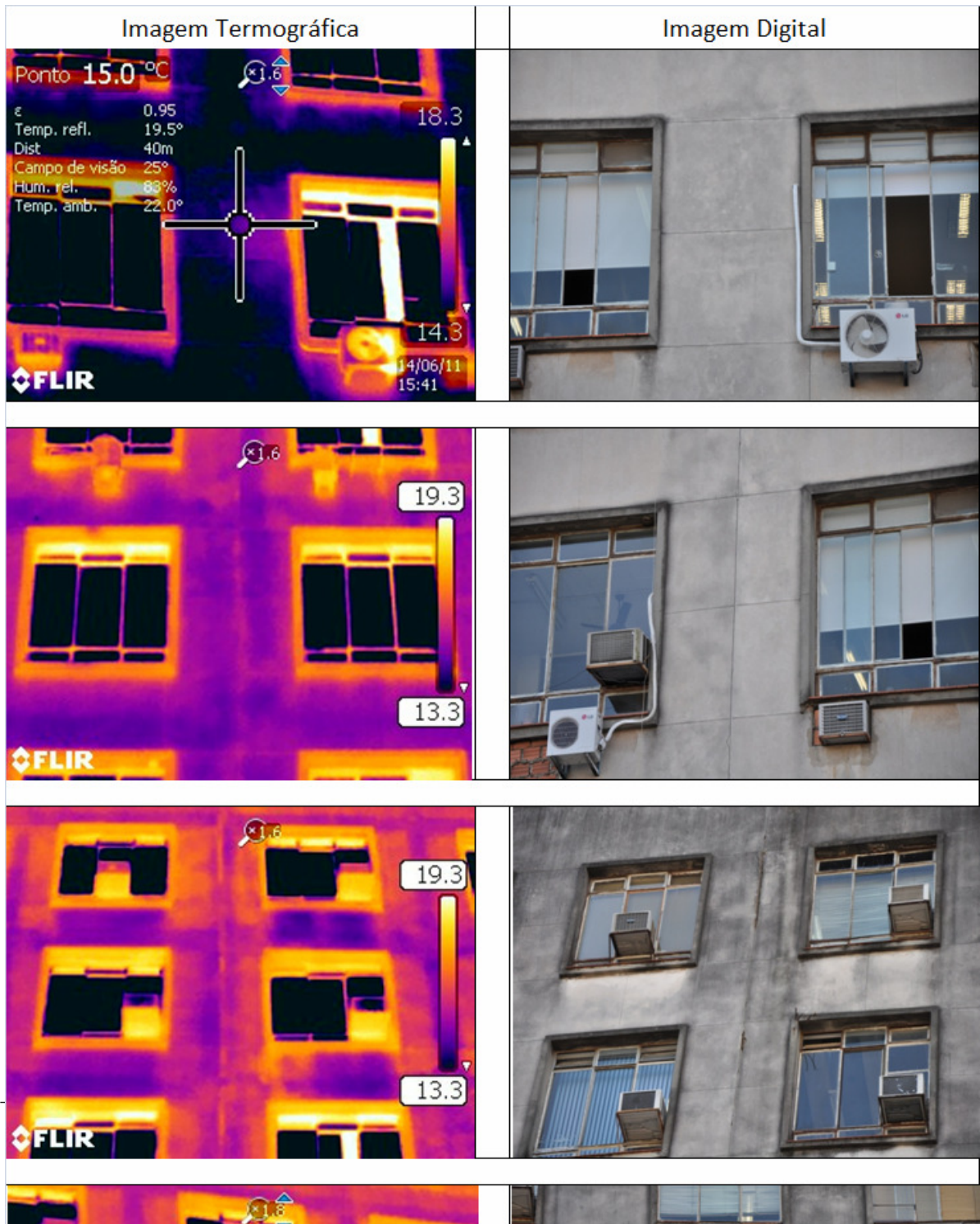
SEGAT, G. T. **Manifestações patológicas observadas em revestimentos de argamassa:** estudo de caso em conjunto habitacional popular na cidade de Caxias do Sul (RS). 2005. 164 f. Trabalho de Conclusão (Mestrado em Engenharia) – Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

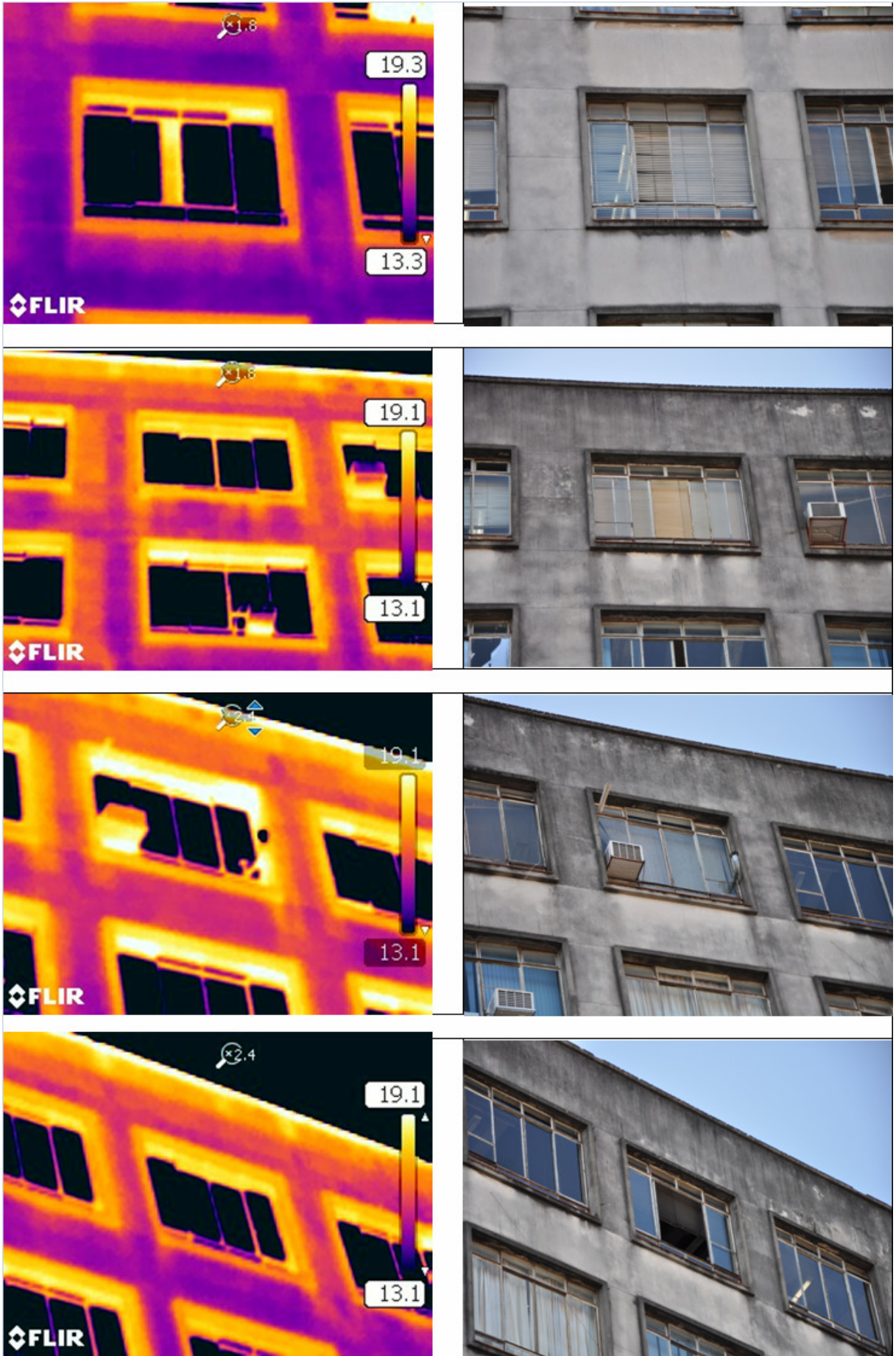
UEMOTO, K. L. Patologia: danos causados por eflorescência. In: TECNOLOGIA em edificações. São Paulo: IPT; Pini, 1988. p. 561-564.

VALÉRIO, J. G. M. A. P. **Avaliação do impacto das pontes térmicas no desempenho térmico e energético de edifícios residenciais correntes.** 2007. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Técnico Superior, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

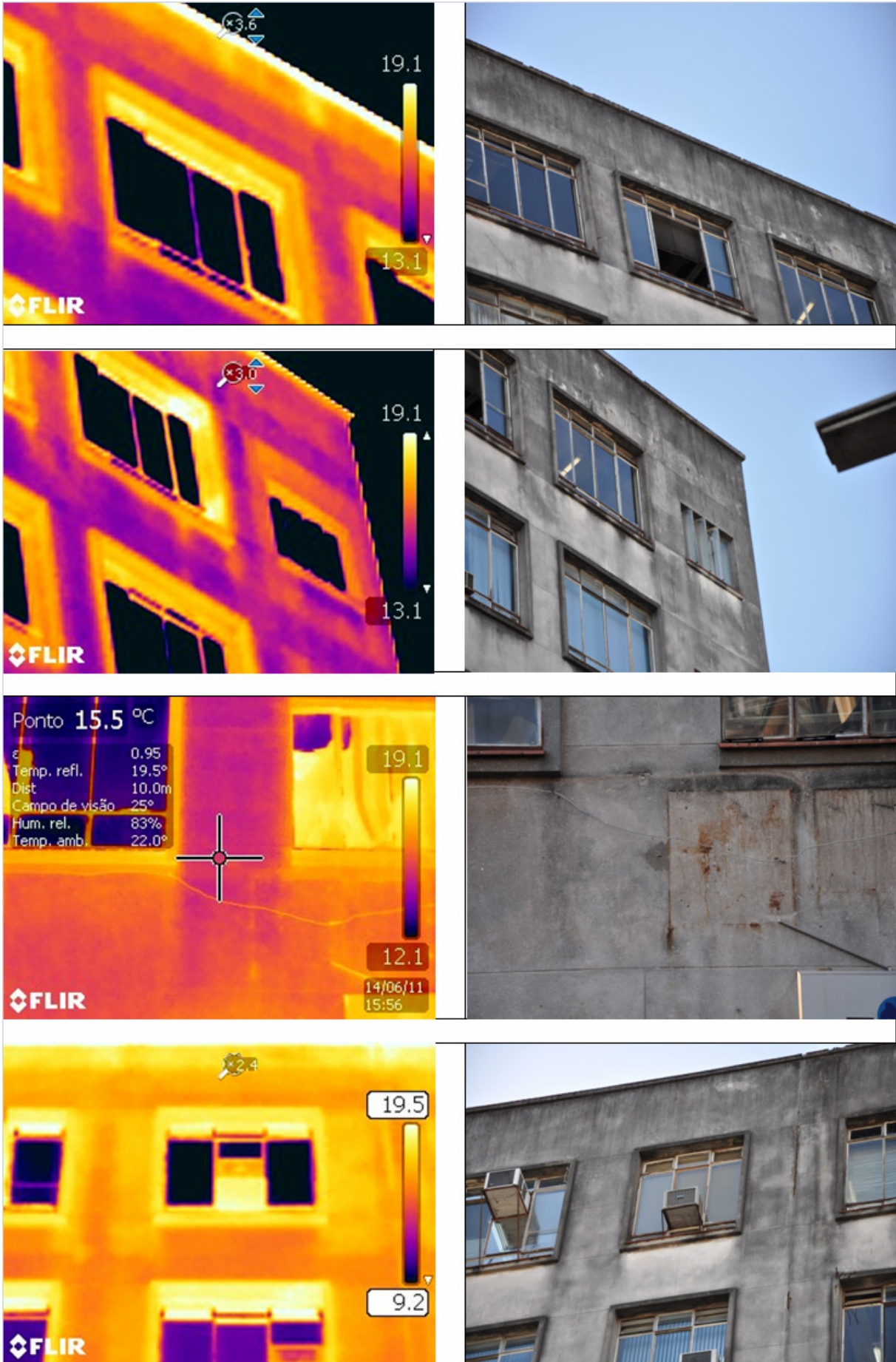
VERÇOZA, E. J. **Patologia das edificações.** Porto Alegre: Sagra, 1991.

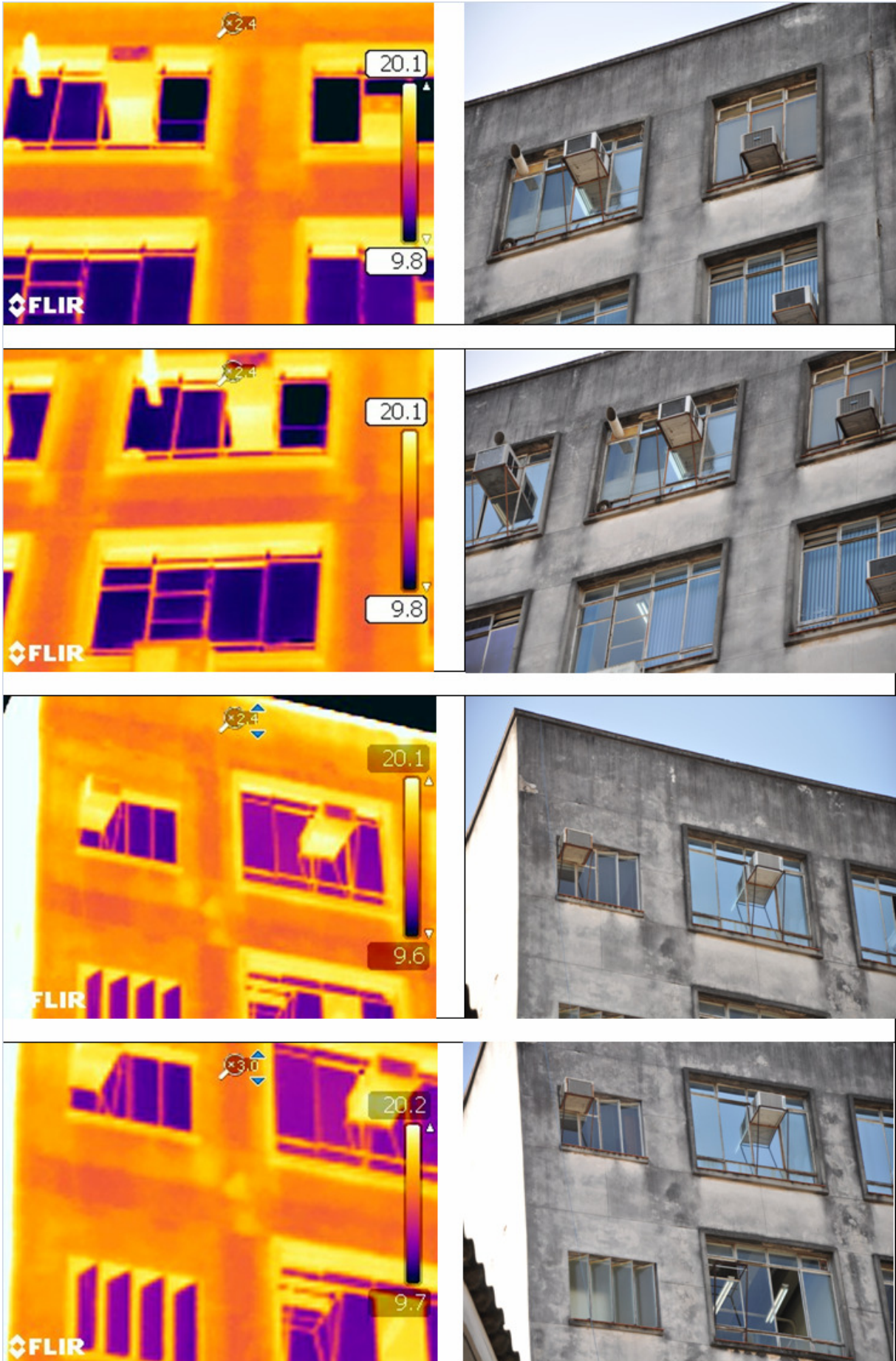
**ANEXO A - LEVANTAMENTO TERMOGRÁFICO E DIGITAL DA
FACHADA SUL DO PRÉDIO DA ESCOLA DE ENGENHARIA DA
UFRGS**



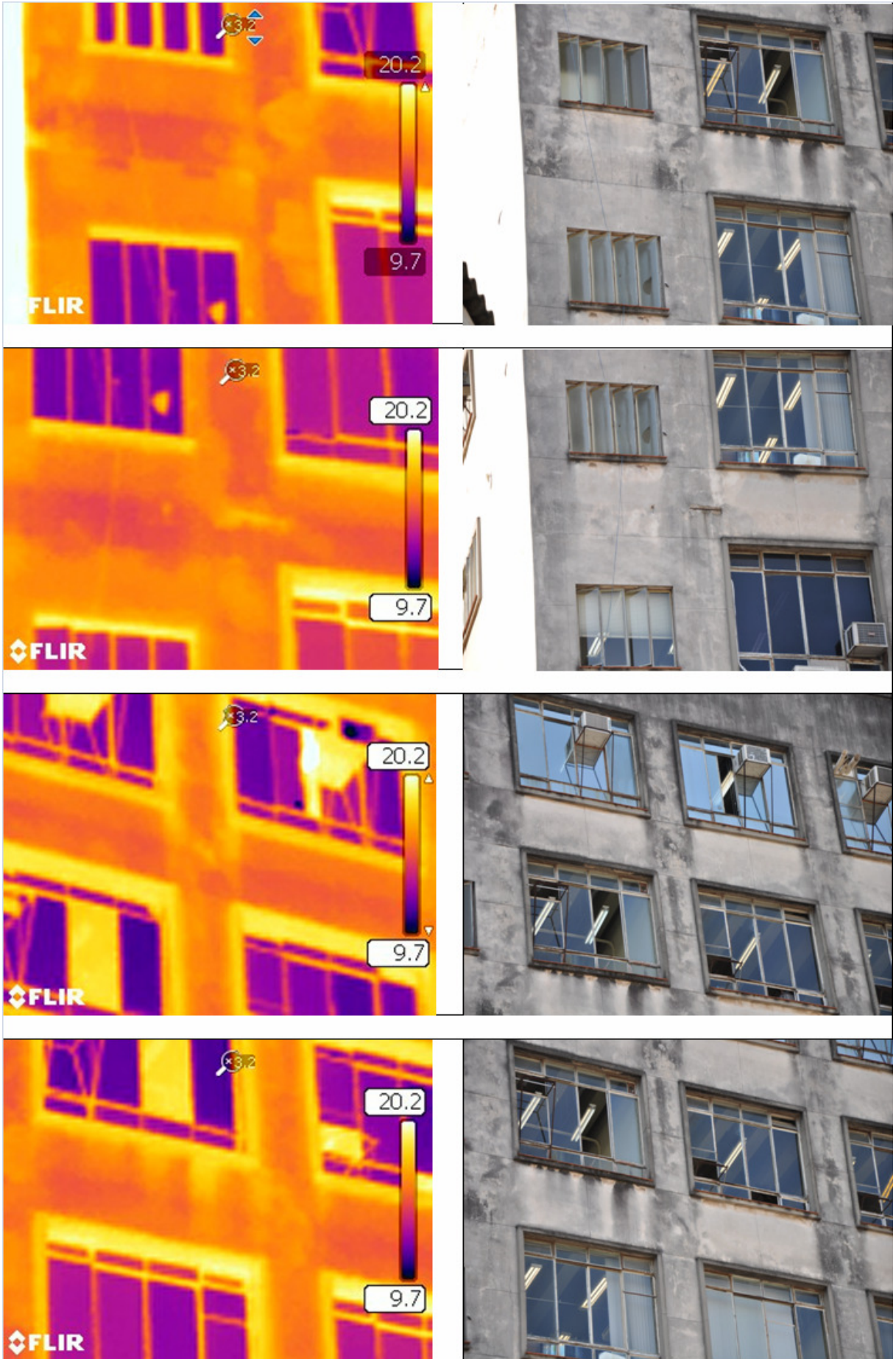


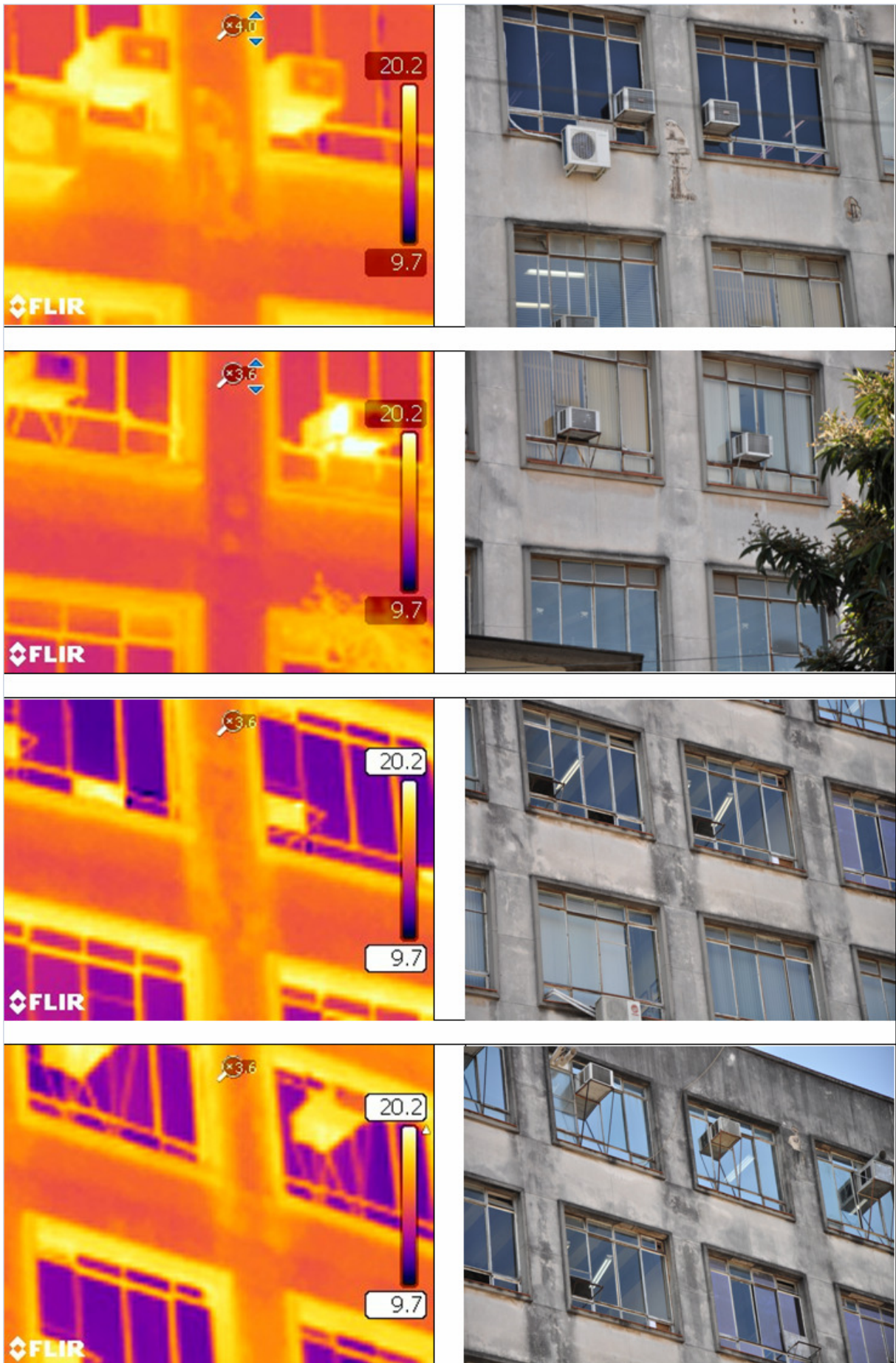
Uso da termografia como ferramenta não destrutiva para avaliação de manifestações patológicas ocultas





Uso da termografia como ferramenta não destrutiva para avaliação de manifestações patológicas ocultas





Uso da termografia como ferramenta não destrutiva para avaliação de manifestações patológicas ocultas

