

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

OTHAVIO TONIASSO TAKEDA

**INVESTIGAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM
SISTEMAS DE REVESTIMENTOS DE FACHADAS POR MEIO DE
TÉCNICAS DE ANÁLISE TERMOGRÁFICAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2015

OTHAVIO TONIASSO TAKEDA

**INVESTIGAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM
SISTEMAS DE REVESTIMENTOS DE FACHADAS POR MEIO DE
TÉCNICAS DE ANÁLISE TERMOGRÁFICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, do Curso Superior de Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Wellington Mazer

Co-Orientador: Prof. Dr. Aduino J. M. de Lima

CURITIBA

2015

FOLHA DE APROVAÇÃO

INVESTIGAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM SISTEMAS DE REVESTIMENTOS DE FACHADAS POR MEIO DE TÉCNICAS DE ANÁLISE TERMOGRÁFICAS

Por

OTHAVIO TONIASSO TAKEDA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, defendido e aprovado em 02 de dezembro de 2015, pela seguinte banca de avaliação:

Prof. Orientador – Wellington Mazer, Dr.
UTFPR

Prof. Marcelo Queiroz Varisco, MSc.
UTFPR

Gustavo Macioski, Eng. Especialista.
UTFPR

À minha esposa e filho, meus amores, Andressa e Samuel.

A toda a minha família pelo apoio e paciência em mais esta jornada.

Aos mestres pela generosidade em compartilhar seus conhecimentos e experiências.

*Importante não é ver o que ninguém nunca viu, mas sim, pensar o que ninguém
nunca pensou sobre algo que todo mundo vê.
(Arthur Schopenhauer)*

RESUMO

TAKEDA, Othavio. Investigação de manifestações patológicas em sistemas de revestimentos de fachadas por meio de técnicas de análise termográficas. 2015. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Departamento Acadêmico de Construção Civil (DACOC), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

A Construção Civil vem evoluindo, tanto nas técnicas construtivas, quanto no desenvolvimento de novos materiais, no entanto, durante o processo de construção e também durante o período de uso dos edifícios, vários intervenientes podem levar a ocorrência de manifestações patológicas que prejudicam o desempenho e a durabilidade dos sistemas construtivos utilizados. Tendo isto em vista e levando em consideração o conceito de Vida Útil de Projeto (VUP) apresentado na Norma de Desempenho (NBR 15575:2013 – Norma de Desempenho – Edificações) é fundamental tanto para as construtoras quanto para os usuários das edificações que se cumpram as recomendações e prazos de manutenção dos sistemas construtivos, conforme as orientações dos manuais de uso, operação e manutenção das edificações. Para que seja possível o correto diagnóstico de tais situações, e conseqüentemente, sejam adotadas as estratégias mais adequadas de recuperação e manutenção das edificações, a obtenção de subsídios é uma etapa fundamental do processo de investigação e o uso da Termografia como Ensaio Não Destrutivo (END), apesar de ainda pouco utilizada na construção civil, é uma tecnologia com grande potencial de utilização na Engenharia Diagnóstica de Edificações. Os resultados obtidos neste trabalho, durante as inspeções de campo, demonstraram que a aplicação desta técnica possibilita a identificação de manifestações patológicas ocultas em sistemas de revestimento de fachadas e também a sua extensão, incluindo locais de difícil acesso, complementando os resultados das inspeções visuais e diminuindo drasticamente a subjetividade das investigações.

Palavras chave: Engenharia Diagnóstica, Construção Civil, Termografia, Ensaio Não Destrutivo, Manifestações Patológicas.

ABSTRACT

TAKEDA, Othavio Toniasso. Research of pathological manifestations in facade cladding systems using thermographic analysis techniques. 2015 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Departamento Acadêmico de Construção Civil (DACOC), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

The Civil Construction has evolved both in construction techniques and in the development of new materials, however, during the process of construction and also during the period of use of buildings, various statements can lead to occurrence of pathological manifestations which slows down performance and the durability of the construction systems. With this in mind and taking into account the concept of Project Lifespan (PLS) presented the Performance Standard (NBR 15575: 2013 - Performance Standard - Buildings) is critical for both builders and the users of the buildings to fulfilled recommendations and maintenance schedules of building systems, according to the guidelines of the use, operation and maintenance presented in the Building Manual. For the correct diagnosis of such situations and, consequently, the adoption of the most appropriate strategies for recovery and maintenance of buildings, obtaining subsidies is a key step in the research process and the use of thermography as a Non Destructive Testing (NDT) is a technology with great potential for use in Diagnostic Engineering. The results presented in this work during field inspections have shown that the application of this technique enables the identification of hidden pathological manifestations in façade cladding systems and also its length, including inaccessible places, complementing the results of visual inspections and drastically reducing the subjectivity of investigations.

Keywords: Diagnostic Engineering, Construction, Thermography, Non Destructive Testing, Pathological manifestations.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma de etapas e tópicos da Engenharia Diagnóstica.....	10
Figura 2: Visão sistêmica dos intervenientes que originam as anomalias nas construções.....	11
Figura 3 – Solicitações impostas às superfícies das edificações.....	17
Figura 4: Desempenho dos Sistemas Construtivos ao longo do tempo.....	19
Figura 5: Esquema de sistema de revestimento multicamadas.....	20
Figura 6: Esquema de junta de movimentação em fachada.....	21
Figura 7: Espectro eletromagnético - Comprimentos de onda da radiação infravermelha.....	30
Figura 8: Representação esquemática da situação da medição termográfica geral.	31
Figura 9: Câmera Infravermelha FLIR E60.....	39
Figura 10 – Interferência no termograma devido ao sombreamento.....	40
Figura 11 – Interferência no termograma devido ao sombreamento.....	41
Figura 12 – Anomalia térmica em trecho da fachada do Bloco C.....	41
Figura 13 – Anomalia térmica em trecho da fachada do Bloco C.....	42
Figura 14 – Detalhe de trecho do revestimento do Bloco C.....	43
Figura 15 – Anomalia térmica em trecho da fachada do Bloco C	43
Figura 16 – Anomalia térmica em trecho da fachada do Bloco C.....	44
Figura 17 – Anomalia térmica em trecho da fachada do Bloco B.....	45
Figura 18 – Anomalia térmica em trecho da fachada do Bloco A.....	45
Figura 19 – Anomalia térmica em trecho da fachada do Bloco A.....	46
Figura 20 – Anomalia térmica em trecho da fachada do Bloco A.....	47
Figura 21 – Anomalia térmica em trecho da fachada do Bloco IJ	47
Figura 22 – Anomalia térmica na região do requadro das janelas	48
Figura 23 – Determinação da emissividade	49
Figura 24 – Comparação da anomalia térmica - área de estudo 1.....	51
Figura 25 – Anomalia térmica - área de estudo 3.....	51
Figura 26 – Anomalia térmica - Sala de aula EB 302.....	52
Figura 27 – Anomalia térmica em trecho da fachada do Bloco A	53
Figura 28 – Anomalia térmica em trecho da fachada do Bloco A.....	54

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Vida Útil de Projeto Mínima e Superior (VUP).....	18
Quadro 2 - Classificação dos processos de deterioração das argamassas.....	23
Quadro 3 – Manifestações patológicas dos revestimentos de argamassa.....	24
Quadro 4: Especificações técnicas Câmera Infravermelha FLIR E60.....	39
Tabela 1: Valores obtidos nos ensaios de campo para a emissividade dos materiais das áreas de estudo.....	49

LISTA DE ABREVIATURAS

CDC – Código de Defesa do Consumidor

DACOC – Departamento Acadêmico De Construção Civil

END – Ensaio Não Destrutivo

NBR – Norma Brasileira

UTFPR – Universidade Tecnológica Federal Do Paraná

VUP – Vida útil de projeto

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS.....	2
1.1.1 <i>Objetivo Geral</i>	2
1.1.2 <i>Objetivos Específicos</i>	2
1.2 JUSTIFICATIVA.....	3
2. REVISÃO DA LITERATURA	5
2.1 ENGENHARIA LEGAL	5
2.1.1 <i>Engenharia Diagnóstica em Edificações</i>	7
2.2 O PROCESSO DE INVESTIGAÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS.....	7
2.2.1 <i>Levantamento de subsídios</i>	12
2.2.2 <i>Diagnóstico da Situação</i>	14
2.2.3 <i>Definição da conduta</i>	15
2.2.4 <i>Registro do caso</i>	16
2.3 SISTEMAS DE REVESTIMENTOS DE FACHADAS	16
2.3.1 <i>Composição dos sistemas de revestimento de fachadas</i>	19
2.3.2 <i>Manifestações patológicas típicas em sistemas de revestimentos de fachadas</i>	21
2.3.3 <i>Técnicas usuais de investigação de patologias em fachadas</i>	28
2.4 A TERMOGRAFIA COMO FERRAMENTA DA ENGENHARIA DIAGNÓSTICA NA INVESTIGAÇÃO DE PATOLOGIAS DE FACHADAS	29
2.4.1 <i>Técnicas termográficas de investigação de patologias em fachadas</i>	34
3. METODOLOGIA	38
3.1 ESPECIFICAÇÕES DA CÂMERA INFRAVERMELHA.....	38
3.2 ESTUDO EXPLORATÓRIO E DEFINIÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO	40
3.1 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO DO TERMOVISOR.....	48
3.2 ESTUDOS CONFIRMATÓRIOS COM O TERMOVISOR.....	50
4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	55
5. CONCLUSÕES	57
6. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	58
7. REFERÊNCIAS	59

1. INTRODUÇÃO

Em um mercado extremamente competitivo, a preocupação com prazos e custos pode fazer com que os empreendedores optem por correr riscos a fim de oferecer patamares de preços competitivos pressupondo que apenas este é o fator preponderante para sua manutenção no mercado no entanto, muitas vezes os requisitos e controles relacionados à qualidade acabam sendo relegados a segundo plano transformando falhas de projeto, materiais, planejamento, mão de obra e controles de execução na fase de realização dos empreendimentos em patologias que acabam se manifestando na fase de utilização do edifício, afetando a durabilidade, a segurança e o conforto dos ocupantes, proprietários ou não, das edificações (SANTOS, 2013).

Isto se confirma através do crescente e significativo aumento do número de reclamações no setor da construção civil fundamentadas na Lei nº 8078 de 1990 a qual institui o Código de Defesa do Consumidor (CDC) e que versa sobre os direitos e garantias aos consumidores.

Minimizar este tipo de situação e os custos decorrentes de contestações judiciais e extrajudiciais é fator fundamental para a garantir a resiliência das empresas do setor da construção civil, principalmente nos ciclos de crise do setor tal qual o que se vivencia neste momento. Falhas e falta de qualidade nas informações apresentadas nestes processos podem induzir a equívocos. Neste contexto, a utilização de ferramentas e técnicas adequadas de investigação das patologias das construções é de grande valia pois o correto diagnóstico auxilia tanto na tomada de decisões em processos judiciais e extrajudiciais quanto na previsão/definição de custos de recuperação (OLIVEIRA, 2009).

Neste trabalho foi estudado o potencial do Ensaio Não Destrutivo (END) de Análise Termográfica como instrumento de investigação de patologias em sistemas de revestimentos de fachadas complementando a inspeção visual, a fim de identificar patologias ocultas que só poderiam ser encontradas com inspeções *in loco* através de ensaios de percussão e umidade, facilitando e tornando mais acessível a manutenção preditiva e preventiva uma vez que pode-se investigar locais que de outra forma seriam de difícil acesso, demandando serviços especializados (Rapel) ou instalação de equipamentos tais como balancins e andaimes com os seus custos/tempo associados.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo do presente trabalho é investigar a presença de Manifestações Patológicas em sistemas de revestimentos de fachadas utilizando inspeções visuais e termográficas em áreas de estudo localizadas no campus Ecoville da UTFPR, nos edifícios em utilização até a data do presente trabalho.

1.1.2 Objetivos Específicos

Para que o objetivo geral possa ser atingido, foram necessários cumprir os seguintes objetivos específicos:

- a) Realizar estudo de campo para investigar a ocorrência e os tipos de Manifestações Patológicas existentes nas fachadas dos blocos do campus Ecoville da UTFPR utilizando inspeções visuais e termográficas a fim de caracterizar as áreas de estudo;
- b) Avaliar a correlação das anomalias térmicas identificadas nas áreas de estudo com as Manifestações Patológicas existentes nos revestimentos;
- c) Analisar as causas e processos de atuação das Manifestações Patológicas encontradas avaliando a sua intensidade, extensão e gravidade, e;
- d) Validar a análise termográfica como Ensaio Não Destrutivo (END) aplicável ao diagnóstico de Manifestações Patológicas em sistemas de revestimentos de fachadas, através da discussão dos resultados das análises das anomalias térmicas identificadas nos termogramas das áreas de estudo e o seu vínculo com as respectivas manifestações patológicas.

1.2 JUSTIFICATIVA

O setor da construção civil é um dos alicerces econômicos do país e tem evoluído tanto nas técnicas construtivas como no desenvolvimento de materiais de construção, no entanto as Manifestações Patológicas das edificações decorrem de vários outros intervenientes que podem vir a ocorrer em diferentes estágios do ciclo do projeto, incluindo também as suas fases de uso e operação (SANTOS, 2013).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas definiu através da NBR-15575:2013 Norma de Desempenho de Edificações critérios mínimos de desempenho e durabilidade traduzidos na forma do conceito de Vida Útil de Projeto (VUP) que devem ser cumpridos pelo setor da construção civil.

Ausência de projetos detalhados ou falhas na sua concepção e compatibilização, erros na escolha dos sistemas construtivos e/ou técnicas de execução, na definição e especificação dos materiais, no controle de qualidade e tecnológico, no planejamento e padronização dos serviços e respectivos controles, na manutenção das edificações e, não obstante, outros fatores ambientais presentes/atuentes na região do empreendimento, tanto no período de execução quanto na fase de uso e operação, podem ocasionar problemas diretos e indiretos às edificações e aos proprietários, usuários ou não dos imóveis (SANTOS, 2013).

A depreciação dos imóveis ocasionadas pela presença de Manifestações Patológicas é um fator que afeta não somente o valor de mercado dos imóveis mas também implicam despesas às construtoras responsáveis pela sua execução e assistência técnica durante o período de garantia dos sistemas construtivos das edificações no entanto, esta garantia também está vinculada à correta manutenção da edificação pelos usuários de acordo com as orientações contidas nos Manuais de Uso e Operação dos Edifícios durante o período legal de garantia e além, se estendendo também a todo o período de Vida Útil de Projeto (VUP) dos sistemas construtivos empregados, de acordo com o que preconiza a Norma de Desempenho de Edificações (OLIVEIRA, 2009).

Segundo Carvalho Jr. *et. al*, (1999) no caso das fachadas, as Manifestações Patológicas dos revestimentos comprometem a imagem da Engenharia e Arquitetura do país, sendo uma agressão às vistas da população, à integridade das edificações e ferindo o conceito de habitabilidade, direito básico dos proprietários das unidades

imobiliárias. Além da desvalorização natural do imóvel devido aos aspectos visuais, a base dos revestimentos, sem o adequado acabamento final, torna-se vulnerável às infiltrações de água e gases, o que conseqüentemente conduz a sérias deteriorações no interior dos edifícios, podendo ser de ordem estética ou estrutural.

Devido à gravidade, riscos potenciais de acidentes e danos materiais e suas implicações, a investigação das Manifestações Patológicas em fachadas geralmente se dá através das Inspeções e Perícias de Engenharia que podem envolver a investigação tanto das patologias quanto dos processos construtivos utilizados, avaliando os critérios de qualidade, segurança e desempenho através da análise de documentos, inspeções visuais, ensaios de campo e laboratoriais necessários ao embasamento e fundamentação dos Laudos Técnicos (GOMIDE, 2006).

A utilização de técnicas adequadas na obtenção de informações/subsídios que definam se as Manifestações Patológicas dos sistemas de revestimentos de fachadas são derivadas de vícios construtivos, sejam eles aparentes ou ocultos, ou falhas de manutenção é peça chave em processos judiciais e extrajudiciais na área da construção civil, subsidiando as decisões quanto às respectivas responsabilidades das partes envolvidas, resultando em desdobramentos que podem terminar em ações indenizatórias envolvendo a recuperação parcial ou total das fachadas das edificações, portanto, é de extrema importância o correto diagnóstico e levantamento das Manifestações Patológicas identificando a sua intensidade e extensão fim de minimizar a possibilidade de distorções nos orçamentos para contratação de obras de recuperação em função de projeções equivocadas que venham a ser feitas durante a sua elaboração.

Neste sentido, o presente trabalho utilizou uma técnica de investigação inovadora na construção civil, baseada em Ensaios Não Destrutivos (END) utilizando técnicas de investigação termográfica que possibilitam a identificação de anomalias térmicas em sistemas de revestimentos de fachadas, vinculando-as à análise da tipologia e extensão das Manifestações Patológicas encontradas, demonstrando as potencialidades desta técnica tanto na identificação e mapeamento de Manifestações Patológicas já existentes, sejam elas aparentes e/ou ocultas, quanto no seu uso como ferramenta no planejamento da manutenção preditiva e preventiva em fachadas de edificações, de maneira ágil e eficaz, minimizando as incertezas de outros métodos de investigação indireta.

2. REVISÃO DA LITERATURA

A revisão bibliográfica contempla alguns assuntos que servem de embasamento para a compreensão do trabalho e cumprimento de seus objetivos e será abordada em quatro partes distintas.

Na primeira parte são abordadas questões sobre a Engenharia Legal e a Engenharia Diagnóstica. Na segunda parte são abordadas as questões sobre o processo de investigação das manifestações patológicas em edificações. Na terceira parte são abordadas questões relativas ao sistema de fachadas e suas principais manifestações patológicas e, finalmente, na quarta parte, serão apresentados os princípios da termografia e suas aplicações no estudo de anomalias térmicas em revestimentos.

2.1 ENGENHARIA LEGAL

Para Oliveira (2009) um Engenheiro Legal, como especialista e perito que pretende ser, necessita de ter a consciência que os negócios imobiliários envolvem duas ou mais partes interessadas e sempre que possível deve analisar situações adversas que podem suceder às etapas e fases da negociação e do empreendimento em questão.

Ainda segundo o autor, os Engenheiros Legais, além de serem profissionais extremamente técnicos, devem se dedicar ao estudo das leis a fim de nortear sua atuação profissional e proporcionar orientação mais detalhada a seus clientes. Especialista, porém, sem deixar de ser generalista, esse profissional adquire com o passar do tempo, visão macroeconômica e principalmente sustentável para sua própria carreira prestando serviços indispensáveis a sociedade, empresários, setores públicos e o judiciário através de um assessoramento de qualidade, confiável, ético e moral na construção de um país mais justo e sustentável.

Segundo a NBR 14653:2001 – Avaliação de Imóveis, a Engenharia Legal é definida como:

“Parte da Engenharia que atua na interface técnico-legal envolvendo avaliações e toda espécie de perícias relativas a procedimentos Judiciais”

As atividades desenvolvidas pelo Engenheiro Legal são bastante abrangentes sendo suas principais áreas de atuação relacionadas abaixo:

- Engenheiro de Avaliações;
- Engenheiro Diagnóstico;
- Engenheiro de Manutenção Predial Preventiva;
- Consultor de Patologias em Edificações;
- Perito;
- Assistente Técnico;
- Vistoriador e Medidor de Obras Civis;
- Vistoriador de Entrega de Chaves (imóvel novo);
- Assessor de Legalização e Compatibilização de Projetos;
- Engenheiro de Incorporações Imobiliárias;
- Assessor e Consultor de Legalização e Aquisição Imobiliária;
- Assessor, Gestor e Consultor de Patrimônio Imobiliário, e;
- Consultor de Viabilidade Financeira para Empreendimentos Especiais.

As atividades profissionais de quem atua nesta área não se limitam ao universo jurídico, sendo o campo das atividades extrajudiciais muito amplo uma vez que a maioria das anomalias construtivas das edificações não são discutidas e solucionadas em juízo, no entanto, não dispensam o correto diagnóstico, análise e prescrições técnicas desta especialidade da engenharia.

2.1.1 Engenharia Diagnóstica em Edificações

Desta forma, considerando-se que o diagnóstico das anomalias construtivas e das falhas de manutenção constituem a principal atividade destes profissionais e que a finalidade dos trabalhos desenvolvidos visa a qualidade das edificações em consonância com os requisitos normativos e legais aplicáveis, com olhos exclusivamente científicos nas ferramentas diagnósticas utilizadas, este campo de atuação da Engenharia Legal pode ser designado como Engenharia Diagnóstica em Edificações (Oliveira, 2009).

O conceito de Engenharia Diagnóstica em Edificações é apresentado da seguinte forma nas Diretrizes Técnicas de Vistoria em Edificações publicada pelo IBAPE-SP (2015):

“Engenharia Diagnóstica em Edificações é a arte de criar ações proativas, por meio dos diagnósticos, prognósticos e prescrições técnicas, visando a qualidade total ou a apuração de responsabilidade de manifestação patológica predial. ”

Segundo Oliveira (2009) a Engenharia Diagnóstica em Edificações pode ser considerada como verdadeiro instrumento da Ciência da Observação, muito útil na busca da verdade, e, por consequência, para a Engenharia Legal, pois a justiça sempre se mira na verdade, seja ela técnica ou de comportamento humano.

Ainda segundo o autor, sabendo-se que engenharia é a arte de aplicar conhecimentos científicos à invenção, aperfeiçoamento ou utilização de técnica industrial, em todas as suas determinações, pode-se conceituar a Engenharia Legal como a arte de aplicar conhecimentos científicos, técnicos, legais e empíricos nas perícias e avaliações dos diversos ramos da engenharia, para criar provas jurídicas.

2.2 O PROCESSO DE INVESTIGAÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

A sistematização das práticas de investigação e coleta de informações vem sendo estudada há muito tempo e por vários autores. Os procedimentos para

diagnóstico e recuperação de Patologias das Construções do Boletim Técnico publicado por Lichtenstein (1986), sistematiza a abordagem investigativa e apresenta princípios que são a base dos procedimentos adotados nos trabalhos da Engenharia Diagnóstica de Edificações, podendo ser divididos em 3 etapas distintas.

A primeira etapa envolve o levantamento e a organização de subsídios necessários e suficientes para o entendimento completo dos fenômenos através de vistorias, levantamento do histórico dos problemas e do edifício como um todo e também de resultados de ensaios complementares.

Numa segunda etapa, deve-se apresentar o diagnóstico da situação encontrada que consiste no entendimento dos fenômenos e das relações causa e efeito que normalmente caracterizam os fenômenos patológicos de maneira criteriosa e com base nos dados e conhecimentos disponíveis.

Por fim, numa terceira etapa deve-se apresentar a definição das condutas possíveis para a resolução dos problemas bem como a especificação dos materiais, do tipo de mão de obra e equipamentos bem como a previsão das consequências da adoção ou não das ações propostas em termos do desempenho final.

O resultado destas etapas é chamado de Prognóstico da Situação e consiste no levantamento de hipóteses fundamentadas nos estudos realizados que devem apresentar a tendência de evolução futura dos problemas e as alternativas de intervenção acompanhadas dos respectivos prognósticos (LICHTENSTEIN, 1986).

Quanto aos métodos de investigação, as investigações sobre o estado de conservação de uma edificação podem ser feitas utilizando-se três métodos: direto, indireto e misto (TINOCO, 2009).

No método direto, são realizadas explorações pelo contato e manipulação direta sobre a edificação objeto de estudo e quase sempre, a melhor maneira é a elaboração de esboços e desenhos à mão livre. Isto porque o processo de anamnese com o edifício requer o contato do especialista com o objeto, ou seja, o sentir, o ver por meio dos “olhos das mãos” e não somente pelas lentes das câmeras fotográficas. Este método utiliza também ações de fragmentação ou destruição de partes dos elementos com manifestações de danos.

Já no método indireto as investigações se realizam de maneira analítica a partir da interpretação dos mais diversos tipos de documentos escritos, gráficos, iconográficos, testemunhos orais, emprego de tecnologias e instrumentos especiais. Trata-se de ações de características não destrutivas, baseadas em interpretação de

dados que fundamentam hipóteses e conclusões. No método indireto, também ocorre a elaboração de esboços e desenhos à mão livre permitindo criar associações com os estudos na documentação, num processo de facilidade e ajuda à memória.

Finalmente, no método misto, a investigação se vale dos recursos e tecnologias não destrutivas para garantir a mínima invasão destrutiva nos elementos construtivos. Nesse método busca-se o equilíbrio entre as necessidades de aprofundamento das investigações e as capacidades de investimentos em tecnologias avançadas. Devendo-se aplicar ações exploratórias invasivas, minimalistas e pertinentes somente quando assegurados os recursos para a realização do empreendimento como um todo.

Seja qual for o método adotado pelo especialista, as investigações sobre os danos de uma edificação exigem uma abordagem interdisciplinar ampla de expertises que possam produzir o conhecimento com entendimento. Um mapeamento de danos de uma edificação, para ser confiável e com precisão, exige como condição básica o conhecimento e a compreensão sobre seu estado de conservação (TINOCO, 2009).

As principais ferramentas diagnósticas consistem em procedimentos técnicos investigativos com diferentes finalidades, ordenados de acordo com o seu grau de complexidade. No trabalho de Oliveira (2009), estas ferramentas foram apresentadas segundo a perspectiva de vários autores e profissionais da área sob o enfoque da Engenharia Diagnóstica em Edificações, sendo apresentadas na seguinte forma:

- a) Vistoria em Edificação é a constatação técnica de determinado fato, condição ou direito relativo a uma edificação, mediante verificação "in loco";
- b) Inspeção em Edificação é a análise técnica de fato, condição ou direito relativo a uma edificação;
- c) Auditoria em Edificação é o atestamento técnico de conformidade de um fato, condição ou direito relativo a uma edificação;
- d) Perícia em Edificação é a determinação da origem, causa e mecanismo de ação de um fato, condição ou direito relativo a uma edificação, e;

- e) Consultoria em Edificação é a prescrição técnica a respeito de um fato, condição ou direito relativo a uma edificação.

A apresentação dos resultados destas ferramentas diagnósticas se dá através de Relatórios (para vistorias), Laudos (para auditorias, inspeções, perícias e avaliações) e Pareceres (para consultorias).

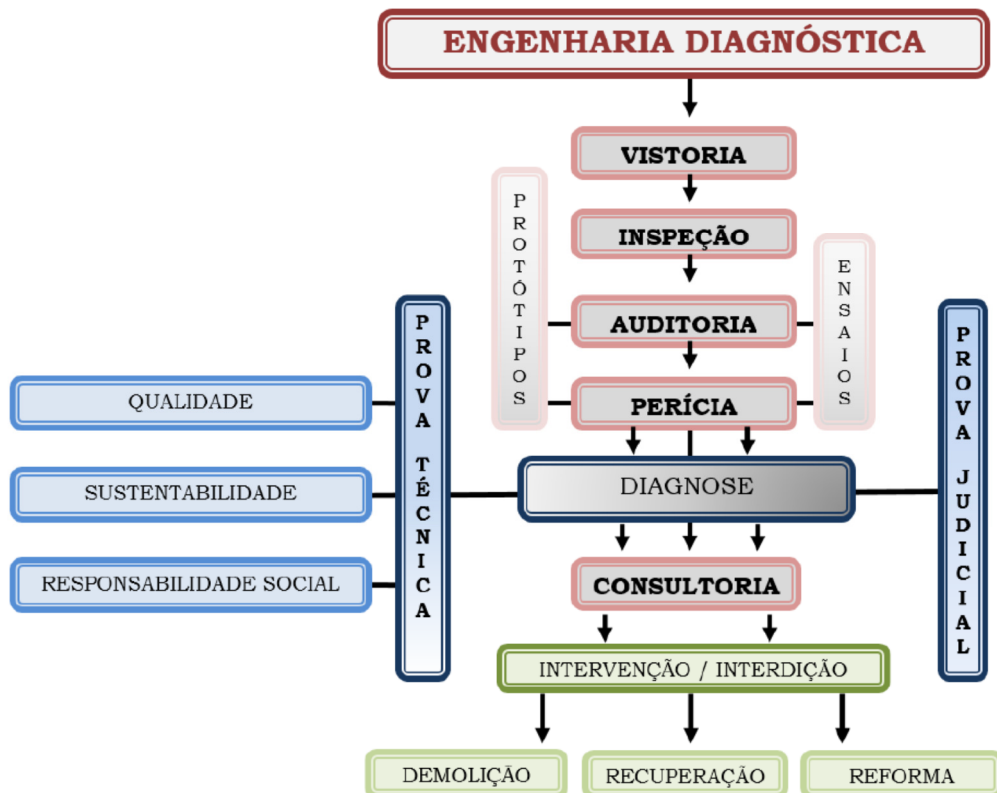


Figura 1: Fluxograma de etapas e tópicos da Engenharia Diagnóstica

Fonte: IBAPE-BR – Diretrizes Técnicas de Perícias de Engenharia em Edificações (2014)

As manifestações patológicas das edificações podem ter origem em uma ou mais das etapas do ciclo de um projeto. Dentro de uma visão sistêmica destes problemas, as construtoras e os profissionais de engenharia não podem dissociar as etapas de concepção de um empreendimento (projeto, execução e materiais) com a sua manutenção e uso, ou seja, devem levar em consideração os conceitos de vida útil e desempenho bem como os respectivos prazos de garantia dos sistemas (OLIVEIRA, 2009).

Tendo este conceito em vista, um problema patológico pode ser interpretado como a ocorrência de anomalias em um edifício, ou parte dele, durante sua vida útil de forma a afetar negativamente o desempenho previsto de um, ou mais, de seus sistemas.

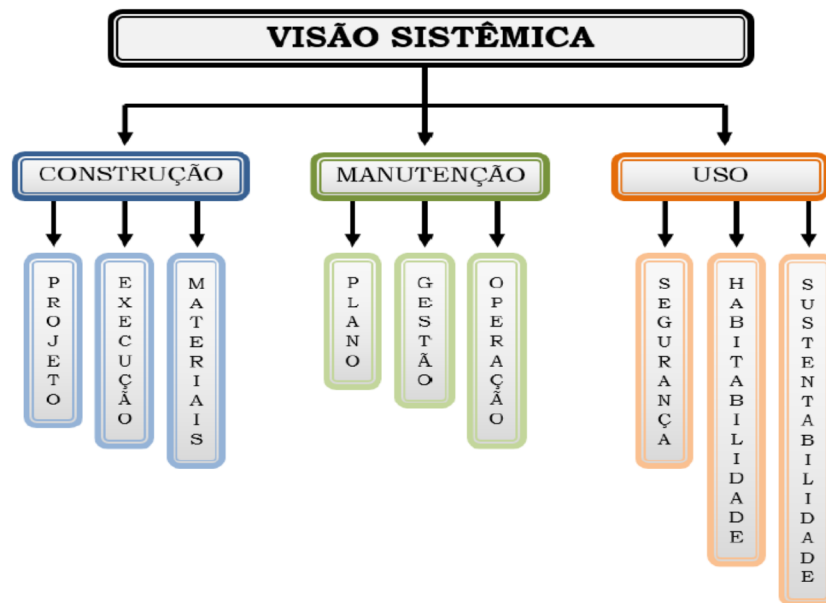


Figura 2: Visão sistêmica dos intervenientes que originam as anomalias nas construções
Fonte: IBAPE-BR – Diretrizes Técnicas de Perícias de Engenharia em Edificações (2014)

Oliveira (2013) propôs um roteiro de abordagem para a investigação das manifestações patológicas das construções organizando um conjunto de passos e etapas a serem seguidos a fim de identificar as possíveis causas que levaram à sua ocorrência, podendo ser utilizado tanto na abordagem corretiva quanto na preventiva.

O roteiro consiste em diversas etapas a saber:

- 1) Levantamento de Subsídios.
 - a. Vistoria do local
 - b. Levantamento do histórico do edifício
 - i. Investigação com pessoas envolvidas no empreendimento
 - ii. Análise de documentos fornecidos
 - iii. Registro de resultados

- c. Exames complementares
 - i. Ensaio laboratoriais
 - ii. Ensaio no local
 - d. Pesquisa
- 2) Diagnóstico da Situação.
 - 3) Definição da Conduta.
 - 4) Registro do caso.

A descrição de cada uma das etapas e dos respectivos passos do roteiro proposto por Oliveira (2013) será apresentada a seguir.

2.2.1 Levantamento de subsídios

Segundo Oliveira (2013), esta etapa fundamenta-se na obtenção das informações necessárias para que se possa compreender o problema ocorrido. Sua estruturação ocorre a partir da elaboração de um quadro geral das manifestações presentes, onde devem ser devidamente relatadas as evidências que provocaram efetivamente o problema.

As informações podem ser obtidas por meio de quatro fontes básicas: vistoria do local; levantamento do histórico do problema e do edifício (anamnese do caso), exames complementares e pesquisa (bibliográfica, tecnológica, científica e normativa).

A vistoria deve seguir alguns passos específicos para que se possa chegar a uma conclusão objetiva. Neste sentido, propõe-se a seguir, um procedimento básico para a realização da vistoria do local. É evidente que se trata apenas de um direcionamento das atividades, sendo recomendada uma postura de contínua adaptação ao longo das experiências que forem sendo adquiridas.

- Determinação da existência e da gravidade do problema patológico
- Definição da extensão e do alcance do problema
- Registro dos resultados

Quanto ao levantamento do histórico do edifício, esta fase somente será desenvolvida quando for constatada a escassez de subsídios para diagnosticar o problema na fase de vistoria do local e deve ser entendida como uma ação capaz de identificar todas as atividades realizadas durante o seu processo de produção que, de alguma maneira, possam ter contribuído para o surgimento do problema.

A obtenção das informações sobre as atividades desenvolvidas é proveniente basicamente de duas fontes:

- a) Investigação com pessoas envolvidas no empreendimento: operários da obra; fabricantes e fornecedores de materiais; construtores; projetistas; promotor do empreendimento; vizinhos; usuários; entre outros.
- b) Análise de documentos fornecidos: diário de obra; registro de ensaios para recebimento de materiais e componentes; notas fiscais de materiais e equipamentos; contratos para execução dos serviços; cronograma físico-financeiro previsto e executado; entre outros.

Quanto ao registro dos resultados, todas as informações conseguidas nesta etapa devem ser cuidadosamente consideradas, compiladas, utilizadas para a formulação do diagnóstico e, posteriormente, arquivadas. Para que seja estabelecido o diagnóstico nessa fase, faz-se necessária uma reavaliação e confrontação dos registros cadastrados na fase de vistoria do local, com aqueles aqui obtidos (OLIVEIRA, 2013).

Ainda segundo o autor, considerável parte dos problemas patológicos que ocorrem apresenta sintomas bem característicos, possibilitando a formulação do diagnóstico com a realização das etapas anteriores. Entretanto, quando isto não for possível, poderão ser realizados exames complementares que devem ser direcionados e ou solicitados, a partir de uma avaliação real de suas necessidades e dos resultados obtidos até então. Estes exames podem ser de duas naturezas: ensaios em laboratório ou no local.

- a) Ensaios laboratoriais: servem para avaliar determinadas amostras, coletadas com o objetivo de quantificar e qualificar os comportamentos físico-químicos dos materiais, procurando reproduzir as condições de exposição a que estão submetidos quando do seu emprego no edifício.

- b) Ensaio no local: Estes ensaios caracterizam-se por serem realizados na própria obra a partir de equipamentos específicos, podendo ser de natureza destrutiva ou não destrutiva em função das características a serem avaliadas.

Com os resultados dos ensaios devidamente avaliados e tendo-se chegado à conclusão de que não se consegue diagnosticar o problema, tem-se uma última fase que seriam as pesquisas bibliográficas, tecnológicas e científicas. Nesta fase deve-se computar dados a partir do levantamento de informações em textos científicos e ou experimentos em nível de pesquisa tecnológica, buscando encontrar referências análogas à situação em que se encontra (OLIVEIRA, 2013).

2.2.2 Diagnóstico da Situação

Após o levantamento dos subsídios, os estudos devem ser conduzidos para a formulação do diagnóstico do problema, o qual pode ser entendido como o equacionamento do quadro geral da patologia existente.

Oliveira (2013) lembra, porém, que as patologias constituem um processo dinâmico e assim sendo, as manifestações, numa determinada época, podem apresentar um aspecto completamente distinto que numa outra, estando em constante evolução. Assim, o diagnóstico pressupõe um processo dinâmico que, na realidade, não se inicia somente após a análise dos resultados obtidos no levantamento de subsídios, mas tem início com ele, sendo que todas as informações devem ser interpretadas no sentido de compor progressivamente o quadro de entendimento do problema patológico.

De maneira simplificada pode-se dizer que o processo de diagnóstico de um problema patológico pode ser descrito como uma geração de hipóteses efetivas que visam a um esclarecimento das origens, causas e mecanismos de ocorrências que estejam promovendo uma queda no desempenho do produto (OLIVEIRA, 2103).

2.2.3 Definição da conduta

Esta etapa está relacionada a uma avaliação da necessidade ou não de se intervir no problema patológico, referindo-se, portanto, às alternativas de intervenção e à definição da terapia a ser indicada.

Para que se possa chegar a uma decisão, a partir do diagnóstico são levantadas as hipóteses de evolução futura do problema, ou seja, realiza-se um prognóstico, que deve ser baseado em dados fornecidos pelo tipo de problema; estágio de desenvolvimento; características gerais do edifício e condições de exposição a que está submetido (OLIVEIRA, 2013).

Segundo o autor, diante da formulação do prognóstico, onde ficarão evidentes as possibilidades de solução do problema patológico, levantam-se as alternativas de intervenção que por sua vez, são feitas levando-se em conta três parâmetros básicos: grau de incerteza sobre os efeitos, relação custo benefício e disponibilidade de tecnologia para execução dos serviços.

O grau de incerteza sobre os efeitos relaciona-se diretamente com a incerteza do diagnóstico formulado, pois este está fundamentado em informações e conhecimentos passíveis de erros.

A relação custo/benefício, por sua vez, estabelece um confronto dos benefícios que possam ser auferidos na obtenção do desempenho requerido, em relação ao custo de sua recuperação no decorrer do restante da vida útil do edifício.

Finalmente, a verificação da disponibilidade de tecnologia para execução dos serviços objetiva realizar um levantamento sobre as condições tecnológicas para a execução dos serviços de intervenção definidos. As condições tecnológicas envolvem a técnica de execução, propriamente dita, os materiais, os equipamentos e a mão-de-obra, necessários à execução dos serviços (OLIVEIRA, 2013).

Conclui o autor que, caso seja empregada uma tecnologia incompatível com o problema ou ainda, caso ocorram falhas na realização dos serviços de manutenção, o mesmo pode ser agravado podendo até mesmo tornar-se irreversível.

2.2.4 Registro do caso

Equacionado o problema patológico e adotada a conduta, passa-se a confrontação dos efeitos resultantes, com os esperados, gerando uma fonte de informações que retroalimenta o processo de produção ou manutenção do edifício.

O registro do caso constitui-se numa fonte importante e segura para consulta, de modo que os problemas detectados, possam ser evitados pelas construtoras nos novos empreendimentos. Além disso, servem de subsídios essenciais à eliminação do grau de incerteza do diagnóstico de casos semelhantes, no futuro, e para a definição da conduta de intervenção, possivelmente, mais rápida e mais eficiente (OLIVEIRA, 2013).

2.3 SISTEMAS DE REVESTIMENTOS DE FACHADAS

Em um edifício, as fachadas são elementos de elevada importância por fazerem a transição entre os meios exterior e interior de uma edificação, além de contribuírem para o seu comportamento em uso, sob a ação de esforços e das condições do meio ambiente, durante toda a sua vida útil, no entanto, os componentes de fachadas, por vezes, não mantêm o desempenho, podendo atingir níveis críticos de degradação e provocar risco à segurança, à habitabilidade e desconforto aos usuários (COSTA, 2014).

As principais funções do subsistema fachada são: estética (silhueta, volumes, formas, cor, entre outros); proteção da ação dos agentes agressivos exteriores (atmosféricos, acústicos, intrusos, entre outros); comunicação entre o interior e exterior em termos de iluminação (entrada de luz natural), visual (vistas) e higiene (ventilação natural), (FLORES-COLEN, 2009).

Diversos fatores ambientais de degradações das fachadas, tais como as variações térmicas, ações de vento, de chuva e de umidade, contaminação, carregamentos estáticos e dinâmicos, ações devido ao peso próprio, impactos e umidade do solo, entre outros fatores; exigem a execução de uma análise minuciosa para a obtenção de um adequado diagnóstico (CINCOTTO *et al.*, 1995).

Na figura 3, pode-se observar que alguns fatores agem de forma permanente (carregamento estático), outros fatores possuem variação cíclica (variação da temperatura superficial por efeito da radiação solar) e outros ainda, têm ação aleatória, como por exemplo, a chuva dirigida sobre as fachadas.

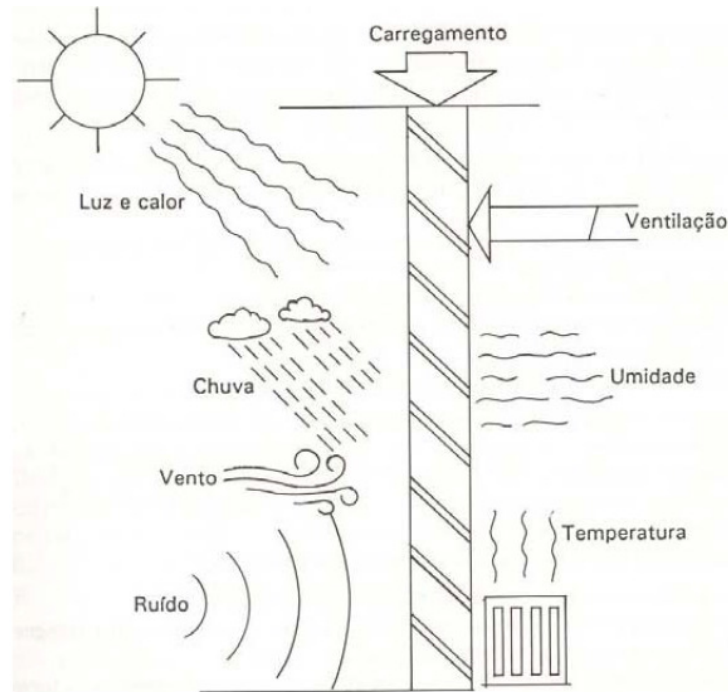


Figura 3 – Solicitações impostas às superfícies das edificações

Fonte: IPT - Argamassas de revestimento (1995).

Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT (1988), os requisitos e critérios de desempenho de sistemas construtivos são entendidos, respectivamente, como condições qualitativas (requisitos) e condições quantitativas (critérios), às quais um determinado produto deve atender quando submetido às condições de exposições, a fim de que sejam satisfeitas as exigências do usuário. A seguir, são apresentados alguns dos requisitos relativos as Vedações Externas dos Edifícios:

- Apresentar estabilidade mecânica quando solicitada por carregamento normal ou deformações impostas por fenômenos térmicos ou climáticos;
- Apresentar estanqueidade à água;
- Apresentar segurança em caso de incêndio ou outras solicitações excepcionais;
- Contribuir para a estética da edificação; e

- Contribuir para a satisfação das exigências higrotérmicas e acústicas do usuário.

Segundo Antunes (2010), os métodos de avaliação para mensuração do desempenho variam conforme o momento e os objetivos das avaliações. Eles vão desde as análises de projeto e inspeções em protótipo, aos cálculos, medições "in loco", ensaios laboratoriais e simulações em computador.

Com a chegada da Norma de Desempenho (NBR-15575:2013 Edificações Habitacionais – Desempenho), o conceito de Vida Útil de Projeto (VUP) ficou vinculado aos requisitos de desempenho apresentados na Norma para cada um dos Sistemas da Edificação, os quais também consideram o atendimento as demais Normas Técnicas aplicáveis, o estágio do conhecimento no momento do projeto e o correto cumprimento da periodicidade dos processos de manutenção especificados nos Manuais de Uso, Operação e Manutenção das Edificações.

Para a definição dos requisitos de desempenho da Norma foram levadas em consideração as Exigências dos Usuários relativas a cada Sistemas Construtivo utilizado nas Edificações quanto aos aspectos de Segurança, Habitabilidade, Sustentabilidade e Nível de Desempenho ficando estabelecidos para os diferentes sistemas requisitos Mínimos (M) de desempenho que devem ser atendidos, bem como ficam definidos os níveis Intermediário (I) e Superior (S) de desempenho.

Quadro 1: Vida Útil de Projeto Mínima e Superior (VUP)

Sistema	VUP anos	
	Mínimo	Superior
Estrutura	≥ 50	≥ 75
Pisos internos	≥ 13	≥ 20
Vedação vertical externa	≥ 40	≥ 60
Vedação vertical interna	≥ 20	≥ 30
Cobertura	≥ 20	≥ 30
Hidrossanitário	≥ 20	≥ 30

Fonte: Anexo C NBR-15575:2013 - Norma de desempenho - Edificações

Aplicando-se este conceito aos Sistemas de revestimentos de fachadas, temos pela Norma que estes sistemas devem ter uma VUP mínima de igual ou superior a 40 anos, desde que sejam adotadas as práticas corretas de Manutenção de tais sistemas (Figura 4).

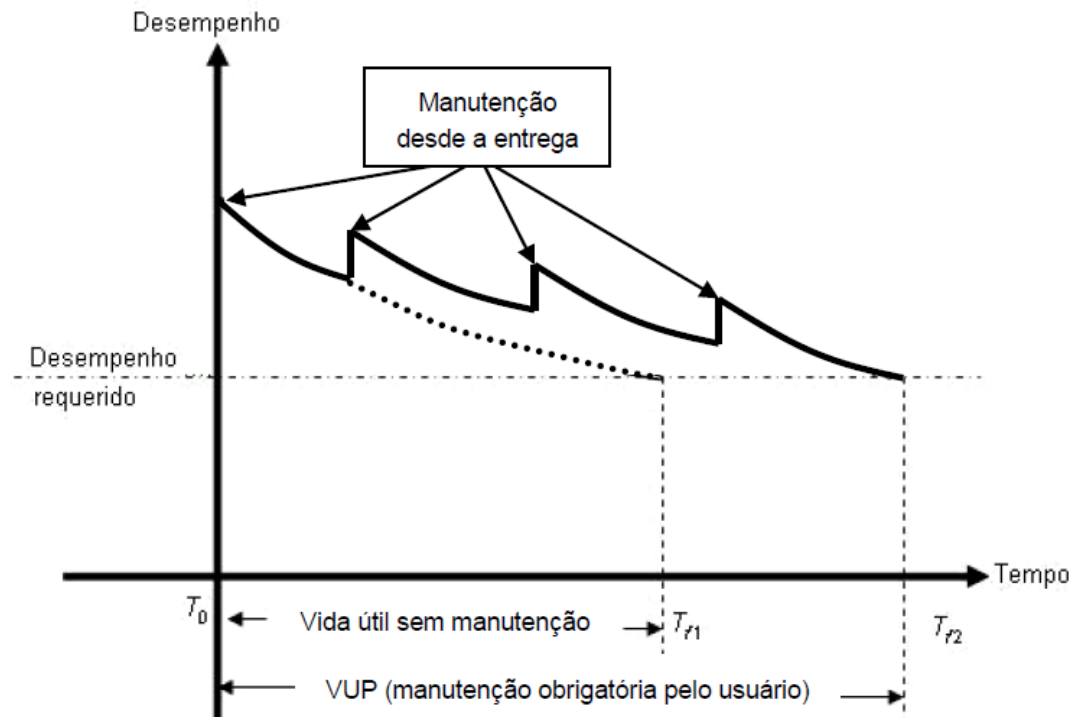


Figura 4: Desempenho dos Sistemas Construtivos ao longo do tempo
Fonte: Anexo C NBR-15575:2013 - Norma de desempenho - Edificações

2.3.1 Composição dos sistemas de revestimento de fachadas

Geralmente, os revestimentos de fachadas são constituídos de diversas camadas com diferentes funções e espessuras formando um sistema de revestimento multicamada (chapisco, emboço, reboco) que termina com o revestimento final, o qual fica exposto as ações ambientais. Nesta última camada podem ser utilizados texturas/grafiatos pigmentados geralmente de base acrílica, pinturas sobre argamassa de emboço ou reboco ou assentamento de acabamentos como por exemplo, revestimentos cerâmicos, conforme a figura 4.

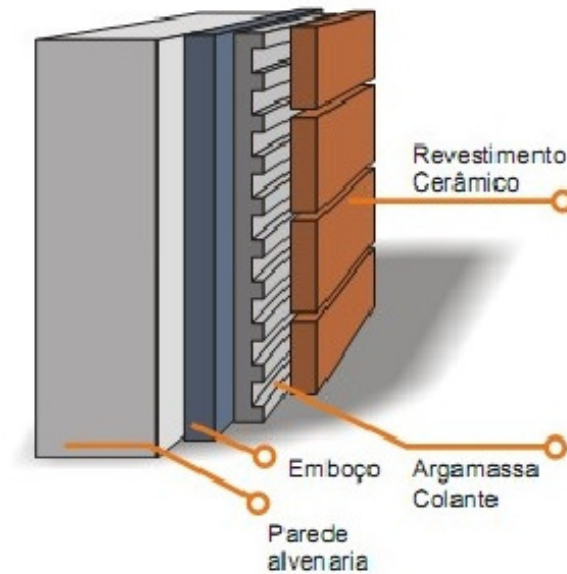


Figura 5: Esquema de sistema de revestimento multicamadas

Fonte: Manual de assentamento de revestimentos cerâmicos em fachadas - PAMESA, 2012)

Sob o aspecto executivo, as funções básicas de cada uma das camadas do revestimento podem ser resumidas como:

- Chapisco: Homogeneização do substrato tendo também por finalidade melhorar a aderência do emboço;
- Emboço e Reboco: Camadas de regularização e proteção que servirão de base para os acabamentos, e;
- Acabamentos: Camada final do revestimento com função estética e de proteção.

Também compõe o sistema de revestimentos as juntas de fachada. Em revestimentos de fachadas, a função principal das juntas é minimizar a propagação de esforços neles atuantes e que provêm, usualmente, dos elementos com os quais se conectam (estrutura, vedo, revestimento) e do seu comportamento intrínseco diante das ações do meio ambiente (variação de temperatura e umidade) sendo função das juntas minimizar as tensões introduzidas no revestimento. A sua utilização objetiva evitar patologias, como o aparecimento de fissuras ou até mesmo o destacamento de partes do revestimento (RIBEIRO, 2010).

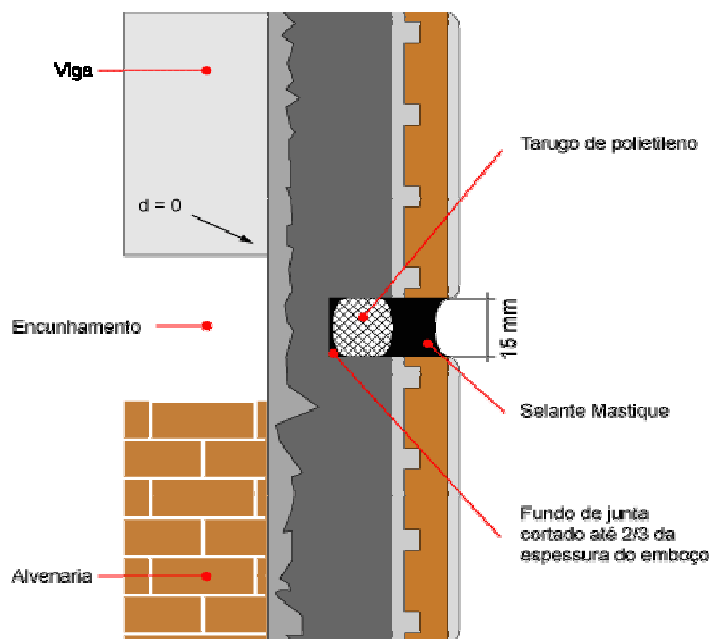


Figura 6: Esquema de junta de movimentação em fachada

Fonte: Guia de cerâmica – USP - ARQTEMA

2.3.2 Manifestações patológicas típicas em sistemas de revestimentos de fachadas

Segundo Gomide (2006), um dos sistemas construtivos mais vulneráveis à ocorrência de patologias construtivas e funcionais são as fachadas, por possuir diversidade de materiais com coeficientes de dilatação diferentes e estar muito exposto às intempéries, esse sistema sofre as consequências das intensas movimentações de seus componentes devido às variações térmicas, efeitos do vento e falhas da própria manutenção ou de sua ausência.

Ainda segundo o autor, as patologias se caracterizam, ordinariamente, por trincas, fissuras, bolhas, manchas e desprendimentos dos revestimentos das fachadas pintadas ou cerâmicas, sem embargo da possibilidade de outras ocorrências, tais como focos de ferrugem em inserts metálicos de fixação de placas de granito ou “estufamentos” por corrosão da armadura (fissuras ativas progressivas, lascamentos e destacamentos da camada de cobertura do concreto).

Quanto às anomalias funcionais mais comuns destacam-se as lavagens com produtos químicos inadequados (em geral ácidos que prejudicam os rejuntas), a utilização de jato d’água com excesso de pressão que compromete a película de tinta ou os rejuntas e até mesmo a aderência do revestimento, ou ainda, a completa ausência de manutenção (GOMIDE, 2006).

Em fachadas argamassadas, a durabilidade dos revestimentos utilizados está vinculada às suas propriedades, à ação dos agentes degradantes, às condições de exposição que determinam tal ação, às decisões tomadas ao longo do processo de produção, ao uso e à manutenção da edificação e do revestimento (CINCOTTO, SILVA e CARASEK,1995).

Segundo Bauer (1994), as falhas que ocorrem nos revestimentos argamassados podem ter as seguintes causas:

- Deficiências de projeto;
- Desconhecimento das características dos materiais empregados e/ou emprego de materiais inadequados;
- Erros de execução, seja por deficiência de mão-de-obra, desconhecimento ou não observância de Normas Técnicas, e;
- Problemas de manutenção.

Segundo Cincotto *et al.* (1995), as condições de desempenho de um revestimento de argamassa são afetadas por diversos fatores extrínsecos e intrínsecos aos mesmos distribuídos por várias fases do processo de produção, uso e manutenção. Os extrínsecos são relacionados às solicitações sobre o sistema de revestimento, enquanto os intrínsecos são os que se relacionam com as propriedades e com os atributos de materiais, componentes e sistemas.

Entre os fatores extrínsecos podem ser citados os seguintes:

- Agentes climáticos;
- Carregamentos, poeira, fuligem, microorganismos, gases, etc.;
- Movimento de água sobre a superfície, e ;
- Exigências de segurança, habitabilidade, durabilidade e economia.

Ainda segundo o autor, os principais fatores intrínsecos que definem o comportamento dos revestimentos são:

- A natureza, a granulometria e a proporção dos materiais constituintes;
- Preparação e propriedades dos substratos que receberão o revestimento;

- Qualidade de execução, e;
- Espessura final dos revestimentos.

Ainda segundo o autor, a deterioração prematura dos revestimentos de argamassa é decorrente de processos físicos, mecânicos, químicos e biológicos, no entanto, estes fenômenos frequentemente se sobrepõem sendo necessário considerar também as suas interações.

Os efeitos destes processos sobre as argamassas se manifestam através de efeitos físicos nocivos como a desagregação, descolamento do revestimento, vesículas, fissuração e aumento da porosidade e permeabilidade (CARASEK, 2007). O quadro 2 apresenta uma classificação dos processos de deterioração com exemplos de causas típicas associadas a eles:

Quadro 2 - Classificação dos processos de deterioração das argamassas

DETERIORAÇÃO DOS REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA			
Processos			
	Físico-mecânicos	Químicos	Biológicos
Exemplos de Causas típicas	retração plástica devido à rápida evaporação de água levando à fissuração	hidratação retardada do óxido de magnésio da cal levando à empolamento e desagregação do revestimento	crescimento de microorganismos (fungo e bolor) produzindo manchamento e desagregação devido à produção de ácidos orgânicos que atacam os aglomerantes (este é um problema típico de áreas úmidas)
	movimentação da base (alvenaria/estrutura) causando fissuração do revestimento	oxidação de impureza presente na areia (pirita) levando à formação de vesículas, manchamento e fissuração	
	movimentações de origem higrotérmica podendo levar à fissuração, desagregação e descolamento dos revestimentos		

Fonte: IBRACON – Argamassas (CARASEK, 2007)

Ainda segundo a autora, a identificação da fase de origem do problema (projeto, especificação de materiais, preparo, aplicação, etc.) permite o estabelecimento de metodologia de controle da qualidade e tomada de decisão, de modo a evitarem-se as manifestações patológicas.

O quadro 3 apresenta as principais manifestações patológicas de desempenho inadequado de revestimento de argamassa, podendo-se identificar as fases do processo em que se concentram as suas causas determinantes (CINCOTTO, SILVA e CARASEK, 1995).

Quadro 3 – Manifestações patológicas dos revestimentos de argamassa

(continua)

Manifestações	Aspectos observados	Causas prováveis atuando com ou sem simultaneidade	Fase de origem segundo as decisões tomadas
Eflorescência	Manchas de umidade. Pó branco acumulado sobre a superfície	Umidade constante. Sais solúveis presentes no componente da alvenaria. Sais solúveis presentes na água de amassamento ou umidade infiltrada. Cal não carbonatada	Projeto do edifício. Especificação dos materiais e componentes. Produção da argamassa. Execução em obra
Bolor	Manchas esverdeadas ou escuras. Revestimento em desagregação	Umidade constante. Área não exposta ao sol	Projeto do edifício. Execução em obra
Vesículas	Empolamento da pintura, apresentando-se as partes internas das ampolas na cor: branca, preta, vermelho acastanhado	Hidratação retardada do óxido de cálcio da cal. Presença de pirita ou de matéria orgânica na areia. Presença de concreções ferruginosas na areia	Especificação dos materiais. Produção da argamassa. Execução em obra
	Bolhas contendo umidade no interior	Aplicação prematura de tinta impermeável. Infiltração de umidade	Execução em obra. Uso. Manutenção
Descolamento com empolamento	A superfície do reboco se desloca do emboço, formando bolhas, cujos diâmetros aumentam progressivamente. O reboco apresenta som cavo sob percussão	Hidratação retardada do óxido de magnésio da cal.	Especificação dos materiais. Produção da argamassa.

Fonte: IPT - Argamassas de revestimento (1995).

Quadro 3 – Manifestações patológicas dos revestimentos de argamassa

(continuação)

Manifestações	Aspectos observados	Causas prováveis atuando com ou sem simultaneidade	Fase de origem segundo as decisões tomadas
Descolamento em placas	A placa apresenta-se endurecida, quebrando com dificuldade. Sob percussão o revestimento apresenta som cavo	A superfície de contato com a camada inferior apresenta placas frequentes de mica. Argamassa muito rica em cimento. Argamassa aplicada em camada muito espessa. Corrosão da armadura do concreto de base	Especificação dos materiais e componentes. Produção da argamassa. Execução em obra
	A placa apresenta-se endurecida, mas quebradiça desagregando-se com facilidade. Sob percussão o revestimento apresenta som cavo	A superfície da base é muito lisa. A superfície da base está impregnada com substância hidrófuga. Ausência da camada de chapisco	
Descolamento com pulverulência	A película de tinta descola arrastando o reboco que se desagrega com facilidade. O reboco apresenta som cavo sob percussão. O revestimento em monocamada desagrega-se com facilidade	Excesso de finos no agregado. Argamassa magra. Argamassa rica em cal. Ausência de carbonatação da cal. Argamassa de reboco aplicada em camada muito espessa.	Especificação dos materiais. Produção da argamassa. Execução em obra
Fissuras horizontais	Apresentam-se ao longo de toda a parede, com aberturas variáveis. Descolamento do revestimento em placas com som cavo sob percussão	Expansão da argamassa de assentamento por hidratação retardada do óxido de magnésio da cal. Expansão da argamassa de assentamento por reação cimento-sulfatos, ou devida à presença de argilo-minerais expansivos no agregado.	Especificação dos materiais. Produção da argamassa. Execução em obra
Fissuras mapeadas	Distribuem-se por toda superfície do revestimento em monocamada. Pode ocorrer descasamento do revestimento em placas, de fácil desagregação.	Retração da argamassa por excesso de finos de agregado. Cimento como único aglomerante. Água de amassamento	Especificação dos materiais. Produção da argamassa. Execução em obra
Fissuras geométricas	Acompanham o contorno do componente de alvenaria	Retração da argamassa de assentamento por excesso de cimento ou de finos de agregado. Movimentação higrótérmica do componente	Projeto do edifício. Especificação dos materiais e componentes. Produção da argamassa. Execução em obra

Fonte: IPT - Argamassas de revestimento (1995).

Quanto aos revestimentos cerâmicos de fachadas, a patologia dá-se quando uma parte do edifício, em algum momento de sua vida útil, deixa de apresentar o desempenho previsto. As patologias nos revestimentos cerâmicos podem ter origem na fase de projeto - quando são escolhidos materiais incompatíveis com as

condições de uso, ou quando os projetistas desconsideram as interações do revestimento com outras partes do edifício (esquadrias, juntas, entre outras), ou na fase de execução - quando os assentadores não dominam a tecnologia de execução, ou quando os responsáveis pela obra não controlam corretamente o processo de produção (CAMPANTE e SABBATIN, 2001).

Em estudo técnico realizado por Fontenelle (2014) para Comunidade da Construção sobre Revestimentos Cerâmicos em Fachadas, são destacadas as principais patologias dos revestimentos cerâmicos. Entre elas estão os destacamentos/descolamento de placas, as trincas, gretamento e fissuras, as eflorescências e também a deterioração das juntas.

Segundo a autora do estudo, os destacamentos são caracterizados pela perda de aderência das placas cerâmicas do substrato, ou da argamassa colante, quando as tensões surgidas no revestimento cerâmico ultrapassam a capacidade de aderência das ligações entre a placa cerâmica e argamassa colante e/ou emboço. Devido à probabilidade de acidentes envolvendo os usuários e os custos para seu reparo, esta patologia é considerada mais séria.

O primeiro sinal desta patologia é a ocorrência de um som cavo nas placas cerâmicas, quando percutidas, ou ainda nas áreas em que se observa o estufamento da camada de acabamento (placas cerâmicas e rejuntas), seguido do destacamento destas áreas, que pode ser imediato ou não. A recuperação desta patologia é extremamente trabalhosa e, na maior parte das vezes, cara também, já que o reparo localizado nem sempre é suficiente para acabar com o problema, que volta a ocorrer em outras áreas do revestimento cerâmico. Muitas vezes a solução é a retirada total do revestimento, podendo -se chegar até ao emboço e se refazer todas as camadas (FONTENELLE, 2014).

Quanto as trincas, gretamento e fissuras nos revestimentos cerâmicos, estas patologias aparecem por causa da perda de integridade da superfície da placa cerâmica, que pode ficar limitada a um defeito estético, ou pode evoluir para um destacamento. As trincas são rupturas no corpo da placa cerâmica provocadas por esforços mecânicos, que causam a separação das placas em partes, com aberturas superiores a 1 mm. As fissuras são rompimentos nas placas cerâmicas, com aberturas inferiores a 1 mm e que não causam a ruptura total das placas. O gretamento é uma série de aberturas inferiores a 1 mm e que ocorrem na superfície

esmaltada das placas, dando a ela uma aparência de teia de aranha (FONTENELLE, 2014).

Segundo a autora, estas patologias ocorrem normalmente nos primeiros e últimos andares do edifício, geralmente pela falta de especificação de juntas de movimentação e detalhes construtivos adequados. A inclusão destes elementos no projeto de revestimento e o uso da argamassas bem dosadas ou colantes podem evitar o aparecimento destes problemas.

Quanto às eflorescências, são evidenciadas pelo surgimento na superfície no revestimento, de depósitos cristalinos de cor esbranquiçada, comprometendo a aparência do revestimento. Estes depósitos surgem quando os sais solúveis nas placas de cerâmicas, nos componentes na alvenaria, nas argamassas de emboço, de fixação ou de rejuntamento, são transportados pela água utilizada na construção, ou vinda de infiltrações, através dos poros dos componentes de revestimento tais como os de placas cerâmicas não esmaltadas e rejuntas (FONTENELLE, 2014).

Segundo a autora, estes sais em contato com o ar solidificam, causando depósitos. Em algumas situações, como por exemplo, em ambientes constantemente molhados, e com alguns tipos de sais de difícil secagem, estes depósitos apresentam-se como uma exsudação na superfície.

Quanto a deterioração das juntas, este problema, apesar de afetar diretamente as argamassas de preenchimento das juntas de assentamento e de movimentação, compromete o desempenho dos revestimentos cerâmicos como um todo, já que estes componentes são responsáveis pela estanqueidade do revestimento cerâmico e pela capacidade de absorver deformações. Os sinais de que está ocorrendo uma deterioração das juntas são: perda de estanqueidade da junta e envelhecimento do material de preenchimento (FONTENELLE, 2014).

Segundo a autora, a perda da estanqueidade pode iniciar-se logo após a sua execução, através de procedimentos de limpeza e/ou produtos inadequados tais como ácidos e/ou bases concentradas. Estes procedimentos de limpeza podem causar deterioração de parte do material aplicado, que, somados ataques de agentes atmosféricos agressivos e/ou solicitações mecânicas por movimentações estruturais, podem causar fissuração (ou mesmo trincas) bem como infiltração de água.

Argumenta ainda que o envelhecimento das juntas entre componentes, por serem preenchidas com materiais à base de cimento, normalmente não representa

grandes problemas, já que o cimento é um material de excelente durabilidade, desde que bem executado. Sua deterioração é observada quando na presença de agentes agressivos, como a chuva ácida ou aparecimento de fissuras. Quando estes rejuntas possuem uma quantidade grande de resinas, deve -se considerar que estas são de origem orgânica e podem envelhecer, além de perder a cor (caso sejam responsáveis pela coloração das juntas de assentamento).

Quanto as juntas de movimentação, estas são preenchidas com selantes à base de poliuretano, polissulfetos, silicone, dentre outros. Estes materiais de origem orgânica apresentam durabilidade variadas, geralmente em torno de 5 anos, embora existam materiais no mercado que possuem garantia de 20 anos. Sua deterioração é causada também por microorganismos, razão pela qual, após o período de garantia, devem ser inspecionados e trocados (FONTENELLE, 2014).

2.3.3 Técnicas usuais de investigação de patologias em fachadas

Segundo Gomide (2006), as perícias em fachadas se iniciam com as investigações visuais “*in loco*” das condições físicas das áreas prejudicadas pelas patologias. Tais exames, via de regra, fornecem informações técnicas fundamentais à perícia e, quase sempre, possibilitam determinar a causa do problema e a indicação de sua solução.

O acesso do perito a estes locais para levantamentos somente se justifica na hipótese de haver patologia oculta, a exigir exames invasivos ou de percussão para sua apuração, sendo arriscados, demorados, de duvidosa confiabilidade e caríssimos, motivo de sua rejeição pela maioria dos peritos (GOMIDE, 2006).

Segundo o autor, patologias generalizadas ou de grandes painéis, no entanto, tais como os desprendimentos de revestimentos nas mais variadas posições das fachadas, podem requerer a realização de ensaios para se apurar a causa do problema, visando especificar as qualidades dos materiais empregados e serviços realizados. Os ensaios de potencial de aderência por tração e composição química ou física dos revestimentos, costumam solucionar a questão.

Ainda segundo o autor, tais levantamentos são complicados devido às dificuldades de visualização aproximada de todas as áreas das fachadas, o que

recomenda a adoção de procedimentos técnicos adicionais à perícia. Havendo facilidade de ingresso às áreas privativas em diversos andares do prédio e em todas as suas faces, permite ao perito fazer a inspeção visual em todas as áreas das fachadas em pequenas distâncias. Este é o caso de prédios desocupados ou pouco habitados, na sua fase inicial, ou em reformas, no entanto, o método de visualização direta nem sempre é possível devido a restrições quanto a ocupação ou limitações de acesso.

Neste tipo de situação, torna-se necessário utilizar outros recursos que permitam a minuciosa visualização exigida para o levantamento, sejam eles diretos ou indiretos. O recurso indireto usualmente utilizado neste tipo de investigação consiste em mapeamento fotográfico da fachada. Já o mapeamento com ensaio consiste em levantamento direto com anotação em planta das áreas prejudicadas através da constatação, por percussão, mediante a descida do perito ao longo da fachada, em cadeirinha ou balancim (GOMIDE, 2006).

Conclui Gomide (2006) que, evidentemente, a solução fotográfica é a mais indicada para a maioria dos casos por se tratar de meio rápido e de baixo custo, no entanto, nem sempre este tipo de inspeção indireta permite a identificação de patologias ocultas, devendo-se recorrer a outros ensaios complementares quando se há suspeita de sua ocorrência.

2.4 A TERMOGRAFIA COMO FERRAMENTA DA ENGENHARIA DIAGNÓSTICA NA INVESTIGAÇÃO DE PATOLOGIAS DE FACHADAS

A termografia é uma técnica de inspeção não destrutiva e não invasiva que tem como base a detecção da radiação infravermelha emitida naturalmente, por excitação de uma fonte da natureza ou artificialmente produzida, pelos corpos com intensidade proporcional à sua temperatura. Através dessa técnica é possível identificar regiões, ou pontos, onde a temperatura está alterada com relação a um padrão preestabelecido. É baseada na medida da radiação eletromagnética emitida por um corpo a uma temperatura acima do zero absoluto. A radiação eletromagnética de um corpo se dá devido à agitação de átomos e moléculas dos quais são constituídos (BAUER, 2013).

A termografia infravermelha pode ser classificada em ativa e passiva, de acordo com a excitação térmica utilizada. Para a termografia passiva, é necessário um diferencial natural de temperatura entre a amostra e o meio o qual se encontra, ou seja, nenhuma estimulação térmica artificial é utilizada. Já para a termografia ativa, um estímulo externo é indispensável para induzir os contrastes térmicos entre a amostra e o ambiente (MALDAGUE, *apud* BAUER, 2013).

Segundo Bauer (2013) todos os objetos emitem radiação infravermelha. A intensidade da radiação emitida depende de dois fatores: a temperatura do objeto e a sua emissividade que é a capacidade do objeto de emitir radiação, intrínseca de cada material.

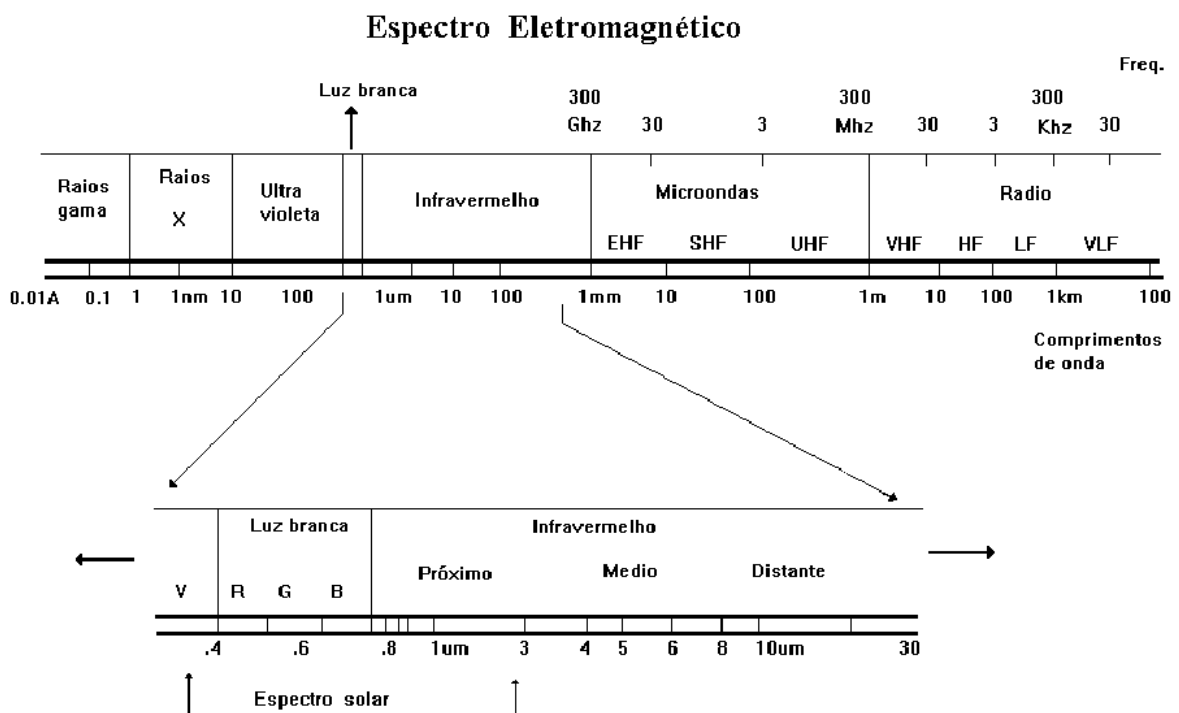


Figura 7: Espectro eletromagnético - Comprimentos de onda da radiação infravermelha

Fonte: Notas de aula – Disciplina de Sensoriamento Remoto (HASHIMOTO, 2003)

A quantidade que informa quão quente ou frio é um objeto em relação a algum padrão é chamada de temperatura, e uma vez que corpos estejam em equilíbrio térmico (mesma temperatura), sua temperatura não se altera mais (HALLIDAY *et al.* 2002).

Já o calor pode ser definido como uma forma de energia transferida através da fronteira de um sistema numa dada temperatura, a um outro sistema (ou o meio) numa temperatura inferior. Outro aspecto desta definição de calor é que ele pode

somente ser identificado quando atravessa a fronteira (fluxo de calor). Assim, o calor é um fenômeno transitório e a sua transferência se dá por três diferentes mecanismos: condução, convecção e radiação (HALLIDAY *et al.* 2002).

A radiação infravermelha não pode ser detectada pelos olhos humanos portanto, a câmera infravermelha tem por função adquirir e processar estas informações apresentando imagens que descrevem as variações de temperatura nos objetos alvo (FLIR, 2012).

As propriedades radiativas dos objetos geralmente são descritas em relação a um corpo negro perfeito, ou seja, um emissor/absorvedor perfeito de energia radiante. No mundo real, não há objetos emissores/absorvedores perfeitos, no entanto é possível encontrar objetos com propriedades bem próximas destas características (FLIR, 2012).

Considerando que a energia emitida por um corpo negro perfeito é denotada por W_{bb} e que a de um objeto normal na mesma temperatura é W_{obj} , a razão entre estes dois valores descreve a emissividade ε deste objeto, como indicado na equação 1.

$$\varepsilon = \frac{W_{obj}}{W_{bb}} \quad (1)$$

Então, a emissividade é um valor que varia de 0 até 1 e quanto melhor forem as propriedades radiantes do objeto, maior é a sua emissividade.

Um objeto que tenha a mesma emissividade em todos os comprimentos de onda é chamado de corpo cinza. A energia da emissão destes corpos é determinada através da Lei de Stefan-Boltzmann's pela equação 2:

$$W = \varepsilon \sigma T^4 \quad (2)$$

Onde ε é a Emissividade do Objeto, σ é a Constante de Stefan-Boltzmann's e T é a temperatura. Logo, a energia da emissão da radiação infravermelha destes corpos é igual a de um corpo negro perfeito reduzida proporcionalmente ao valor da emissividade do objeto.

Desta forma, a grande maioria dos objetos não são nem corpos negros perfeitos ou corpos cinzas perfeitos pois a emissividade varia com o comprimento de onda. Como as câmeras termográficas operam apenas dentro de comprimentos limitados do espectro, na prática, é possível tratar os objetos analisados como corpos cinzentos com emissividade constante (FLIR, 2012).

Outro fator a ser considerado é que entre a câmera infravermelha e o objeto observado se encontra a atmosfera que tende a atenuar a radiação devido a absorção de parte desta energia pelos gases que a constituem e também por partículas dispersas no meio. O valor desta atenuação depende muito do comprimento de onda da radiação. Esta interferência da atmosfera é similar à que ocorre com o espectro visível; assim como ocorre com a luz visível, nevoeiros, nuvens, chuva e neve podem impedir a visualização de objetos mais distantes e este princípio se aplica também a radiação infravermelha (FLIR, 2012).

A radiação que chega as lentes da câmera infravermelha vem de diferentes fontes. Além da radiação do objeto em análise, as lentes da câmera recebem radiações do ambiente do entorno que são refletidas na superfície do objeto. Estes dois componentes da radiação também são atenuados pela atmosfera que, também absorve e emite de maneira própria parte desta radiação (FLIR, 2012).

Dadas estas premissas, a radiação total recebida pela câmera pode ser escrita conforme a equação 3:

$$W_{tot} = \varepsilon\tau W_{obj} + (1 - \varepsilon)\tau W_{amb} + (1 - \tau)W_{atm} \quad (3)$$

Onde ε é a emissividade do objeto, T é a transmissão através da atmosfera, W_{amb} é a energia efetiva do ambiente no entorno do objeto (ou a energia refletida pelo ambiente) e W_{atm} é a energia presente na atmosfera entre o objeto e a câmera. Na figura 6 estão representadas as fontes de energia detectadas durante a medição termográfica e a sua influência na medida da energia do objeto (FLIR, 2012).

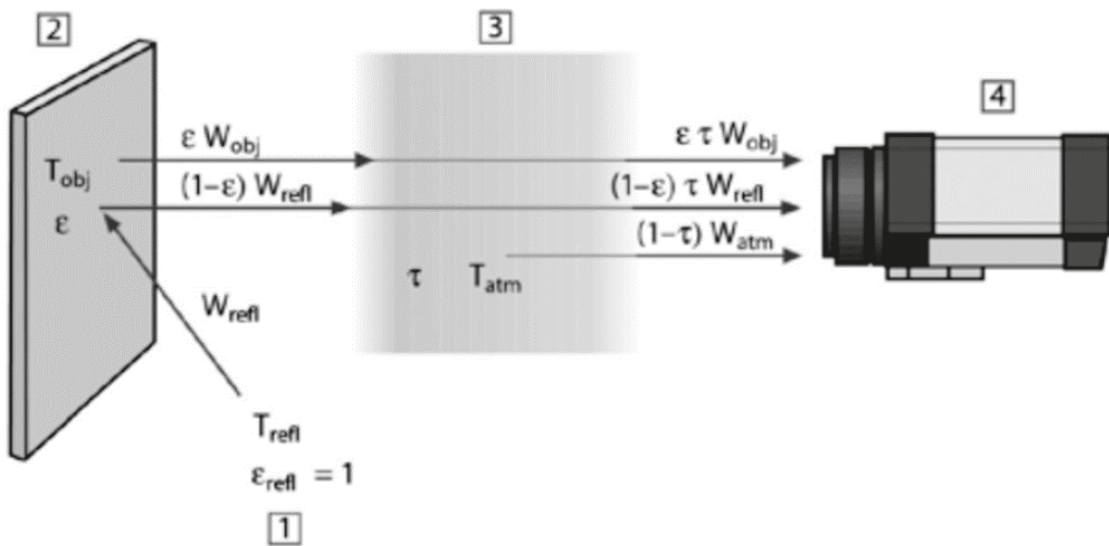


Figura 8: Representação esquemática da situação da medição termográfica geral. 1: Meio adjacente; 2 Objeto; 3: Atmosfera; 4: Câmera

Fonte: FLIR - The Ultimate Infrared Handbook for R&D Professionals (2014).

Para obter a temperatura correta do objeto em análise, o *software* da câmera infravermelha necessita que sejam realizadas as entradas corretas dos valores de emissividade dos materiais e condições do ambiente. Os valores de emissividade (ϵ), da temperatura ambiente e da umidade relativa devem ser inseridos pela interface do equipamento para que o software realize os demais cálculos necessários à correção das leituras. Geralmente, os softwares embarcados nas câmeras infravermelhas já possuem alguns destes parâmetros disponíveis para consulta, no entanto, dependendo das circunstâncias, estes fatores podem ser medidos, assumidos ou encontrados em tabelas fornecidas no manual do equipamento ou em literatura especializada.

Caso estes parâmetros não sejam adequados as condições ambientais e aos materiais dos objetos analisados, os termogramas não irão representar as temperaturas reais dos objetos analisados, no entanto, os gradientes de temperatura das superfícies observados nestes termogramas são claramente identificáveis, só que em um intervalo de temperaturas diferente (FLIR, 2012).

2.4.1 Técnicas termográficas de investigação de patologias em fachadas

A crescente utilização da termografia de infravermelhos na construção civil está intrinsecamente relacionada com o fato de se tratar de um ensaio não destrutivo, permitindo-lhe apresentar-se como uma ótima ferramenta de diagnóstico. Pode ser utilizada nas mais diversas áreas, incluindo a manutenção e a reabilitação, possibilitando desenvolver estudos relacionados com o desempenho térmico dos elementos construtivos, assim como identificar anomalias e patologias construtivas (SOARES, 2014).

Segundo Pavón (2015), na Engenharia Civil, os principais estudos desenvolvidos com aplicação da termografia de infravermelho são os relativos à avaliação das características térmicas da envolvente de edifícios e a eficiência energética, e os relativos ao estudo das anomalias e manifestações patológicas de edificações.

Segundo o autor, a identificação e quantificação de anomalias e manifestações patológicas em edificações com a termografia é bem complexa porque as diferenças de temperatura entre as zonas com e sem anomalias são relativamente pequenas quando comparadas com outras áreas da engenharia.

Com a termografia infravermelha é possível detectar somente anomalias associadas a modificações mensuráveis das características térmicas (fluxo de calor e temperaturas resultantes) e patologias com profundidades limitadas (próximas a superfície). Com base nestas características e limitações, têm sido estudadas diferentes incidências patológicas nas edificações, principalmente em fachadas (PAVÓN, 2015).

Dentre as anomalias estudadas, destacam-se os resultados obtidos na identificação de Manifestações Patológicas ocultas associadas ao descolamento de revestimentos argamassados e cerâmicos em fachadas através da termografia passiva. Esta identificação é possível principalmente nos períodos em que fica evidente o fluxo de calor nas superfícies dos revestimentos, ou seja, nos períodos de fluxo de calor do ambiente para os revestimentos (fluxo de calor positivo com aumento de temperatura da superfície durante o dia) e do revestimento para o ambiente (fluxo de calor negativo com diminuição de temperatura da superfície durante a noite) (PAVÓN, 2015).

Estudos de laboratório demonstram que falhas de aderência ou ausência de argamassa por trás de revestimentos cerâmicos (característicos de descolamentos) são facilmente identificáveis através da termografia apresentando temperaturas superficiais maiores que no entorno no período de fluxo de calor positivo e temperaturas superficiais menores no período de fluxo de calor negativo (BAUER *et al.*, 2015).

Em estudo realizado por Edis *et al.* (2014), foi demonstrado que também é possível identificar áreas com presença de umidade confinada abaixo de revestimentos cerâmicos. Esta situação se configura pela identificação de anomalias nas temperaturas superficiais das áreas suspeitas nos revestimentos cerâmicos durante o fluxo positivo de calor, características de problemas de descolamento (região afetada mais quente que a região de entorno) ou de áreas com presença de umidade (região afetada mais fria que na região de entorno). Se nestas regiões, durante condições de fluxo negativo de calor, também forem constatadas temperaturas mais elevadas que no entorno, caracteriza-se a presença de umidade pois a capacidade da água em reter calor é superior as dos materiais utilizados nas fachadas. Este tipo de anomalia térmica difere do comportamento esperado no período de fluxo de calor negativo para descolamentos sem a presença de umidade (região afetada mais fria durante a noite).

Segundo o autor, este tipo de anomalia (descolamento com umidade) é melhor percebido durante o período noturno (fluxo negativo de calor) porque, apesar da magnitude da diferença de temperatura entre as regiões com ocorrência de umidade confinada abaixo do revestimento e a região seca ser menor, ela permanece estável por um maior intervalo de tempo.

Para o caso de fachadas revestidas com argamassa e pintura/textura, é possível identificar outros tipos de manifestação patológica tais como fissuras e presença de umidade. No caso das fissuras, estas frequentemente estão associadas a presença de umidade e a extensão das áreas afetadas são facilmente identificáveis durante o dia (fluxo positivo de calor) pois a evaporação da água causa uma redução da temperatura superficial nestas regiões. Da mesma forma, a presença de umidade em alvenarias e estruturas de concreto devido a capilaridade também é facilmente identificável no período de fluxo positivo de calor (PAVÓN, 2015).

Menezes *et al.* (2014) realizaram campanhas de inspeção de anomalias diversas utilizando inspeções visuais e END's (termografia, ensaios de percussão, tubos de karsten e higrometro) a fim de propor metodologia de campo para a investigação de manifestações patológicas de revestimentos. Como resultado do trabalho, verificou-se que as inspeções visuais em conjunto com a termografia qualitativa foram suficientes para a identificação da maioria das anomalias encontradas e de forma rápida, principalmente por possibilitar a inspeção de locais de difícil acesso, sendo que os outros END's se enquadraram como técnicas de teste complementares às informações obtidas.

Os elementos estruturais de uma edificação, por serem geralmente homogêneos e de materiais diferentes dos da alvenaria, ou por ter inércia térmica diferente, são regiões facilmente identificáveis nos termogramas e eventuais descontinuidades destes elementos também podem ser identificadas. Da mesma forma, em superfícies constituídas de um mesmo material (mesma inércia térmica) e submetidos as mesmas condições de exposição e sem interferências, espera-se que apresentem distribuição de temperatura homogênea por toda a sua superfície (PAVÓN, 2015).

Na construção civil, uma variação de temperatura de 1°C até 2°C é geralmente um indicativo ou uma suspeição de existência de problemas. A partir de 4°C pode-se afirmar a existência de anormalidade no corpo (MALDAGUE, *apud* CORTIZO *et al.*, 2001).

Segundo Pavón (2015), a aplicação da termografia infravermelha na detecção de Manifestações Patológicas torna-se difícil e complexa pela grande quantidade de variáveis envolvidas no processo de inspeção e análise dos resultados. Argumenta o autor que uma das principais dificuldades na aplicação da termografia é a definição do momento do dia ou da noite para a realização da inspeção pois o fluxo de calor nas medições de campo não pode ser controlado e está sujeito a variações (termografia passiva).

Segundo o autor, a forma e o momento em que aparecerá o defeito/anomalia dependerá do sentido e magnitude do fluxo de calor. O diagnóstico, portanto, não é evidente a partir de uma simples observação direta do termograma, mas da análise do fluxo térmico e da adequação de critérios para a identificação das Manifestações Patológicas através da interpretação das anomalias térmicas nestes locais.

Para Bauer (2013), as principais influências nos resultados das inspeções termográficas quantitativas estão na emissividade do material, que é função da temperatura superficial e do ângulo de observação, na refletividade da superfície, função da radiação direta incidente e da radiação de objetos próximos, e na atenuação atmosférica que é função das condições meteorológicas. O autor verificou que o início da manhã ou começo da noite, quando a temperatura exterior é mais baixa, e quando há pouca radiação solar direta na fachada durante as inspeções, são os períodos preferenciais do dia para realização das inspeções. A sujidade na superfície do revestimento analisado apresenta uma alteração da emissividade registrada. Assim, é necessário um adequado mapeamento dos condicionantes da superfície de modo a evitar possíveis falseamentos de resultados.

Outros aspectos tais como a reflexão, sombreamento e diferenças de emissividade nas superfícies analisadas devem ser identificadas e, avaliadas com cuidado durante a aquisição dos termogramas, pois podem levar a uma interpretação incorreta dos termogramas e, conseqüentemente, a vinculação equivocada das anomalias térmicas com as possíveis patologias associadas (PAVÓN, 2015).

3. METODOLOGIA

O presente trabalho consistiu na investigação e análise de Manifestações Patológicas em sistemas de revestimentos de fachadas utilizando inspeções visuais e a termográficas em áreas de estudo localizadas no campus Ecoville da UTFPR localizado na Cidade de Curitiba-PR.

Inicialmente foi realizado estudo exploratório nas fachadas dos diversos blocos do Campus a fim de investigar a ocorrência de anomalias térmicas e os tipos de manifestações patológicas existentes através de inspeções visuais e termográficas qualitativas (identificação de anomalias térmicas sem valores precisos de temperatura) para a definição das áreas de estudo.

Após esta etapa foi realizada a caracterização das áreas de estudo e foram definidos os parâmetros de calibração da câmera infravermelha que consistiram na determinação da emissividade dos materiais, temperatura ambiente, umidade e distância entre o Termovisor e as regiões analisadas no estudo confirmatório.

Com base nas características das anomalias térmicas descritas na revisão bibliográfica e possíveis manifestações patológicas associadas, foram analisados e comparados os termogramas obtidos tanto no estudo exploratório (fluxo positivo de calor) quanto na campanha confirmatória (fluxo negativo de calor) com o objetivo de verificar se as anomalias térmicas encontradas podem ser vinculadas com as manifestações patológicas existentes nas áreas de estudo.

3.1 Especificações da Câmera Infravermelha

A câmera infravermelha (Termovisor) utilizada nas inspeções é da marca FLIR, modelo E60 (figura 9). Os parâmetros de calibração personalizáveis da câmera consistem na emissividade, temperatura ambiente, temperatura refletida, umidade relativa do ar e distância ao objeto.

A câmera infravermelha capta os raios infravermelhos emitidos pelas superfícies analisadas e, com base nos parâmetros de entrada, processa estas informações através da equação 3 formando os termogramas que são representações gráficas das temperaturas superficiais.



Figura 9: Câmera Infravermelha FLIR E60

Fonte: FLIR – Manual da Câmera Infravermelha modelo E60 (2015)

As principais especificações técnicas do equipamento são apresentadas no Quadro 4:

Quadro 4: Especificações técnicas Câmera Infravermelha FLIR E60.

Modelo	FLIR E60
Resolução IR	320 x 240 pixels
Resolução da Câmera Digital	3,1 MP
Sensibilidade térmica	< 0,05 °C
Precisão	+/- 2 °C ou +/- 2% de leitura
Faixa de temperatura	(-20,00 °C a 650,00 °C)
Faixa espectral	7,5 a 13µm
Campo de visão (FOV)	25°
Foco	Manual
Micro bolômetro não refrigerado	LWIR (Long Wave Infra Red)
Display Colorido	3,5" (320 x 240)
Frame Rate	60Hz
Pontos móveis de medição	3
Formato do arquivo (Termograma)	Radiometric JPG

Fonte: FLIR – Manual da Câmera Infravermelha modelo E60 (2015)

3.2 Estudo exploratório e definição das áreas de estudo

O estudo exploratório consistiu em inspeção visual e termográfica das fachadas dos Blocos A, B, C e IJ do Campus Ecoville da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR. A escolha das áreas de estudo foi realizada durante o período da manhã através de inspeção visual das anomalias existentes nas fachadas e também de inspeção termográfica qualitativa (identificação de gradientes de temperatura em regiões de um mesmo material), com o parâmetro de emissividade padrão do concreto ($\epsilon=0,95$) e os parâmetros de temperatura ambiente (20°C) e umidade relativa do ar (70%) inseridos no equipamento. Durante a inspeção, as condições climáticas eram estáveis, sem presença de chuva, com céu parcialmente nublado e sem ocorrência de vento.

Os sistemas de revestimentos de fachadas encontrados no estudo exploratório consistiram em: alvenaria de vedação externa de blocos de concreto com pintura branca (Bloco IJ), alvenaria de vedação externa em blocos de concreto, emboço de argamassa e revestimento em textura acrílica cinza clara (Blocos A, B e C), e revestimentos cerâmicos aplicados sobre emboço em elementos da estrutura e também da alvenaria de vedação externa em blocos de concreto (Blocos B e C).

A seguir, serão apresentados os quadros com as fotos e termogramas obtidos no estudo exploratório acompanhadas de uma breve descrição das interferências, anomalias térmicas encontradas e possíveis manifestações patológicas associadas.

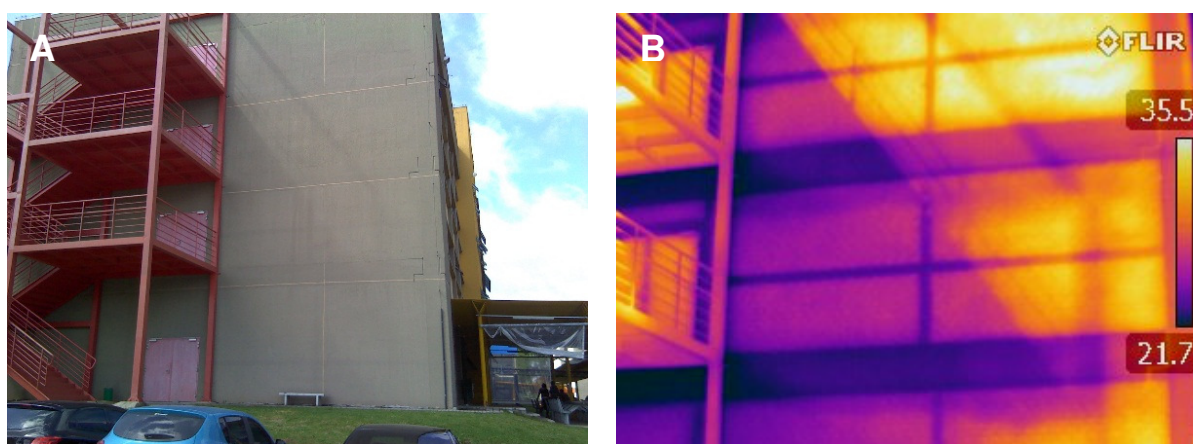


Figura 10 – Interferência no termograma devido ao sombreamento na superfície (Bloco B)

Fonte: Acervo próprio

Na Figura 10, nota-se no termograma (B) a interferência do sombreamento da escada de emergência na região da fachada com acabamento em textura acrílica cinza. Ficam evidentes também os elementos estruturais e a amarração das alvenarias de vedação executadas com blocos de concreto.

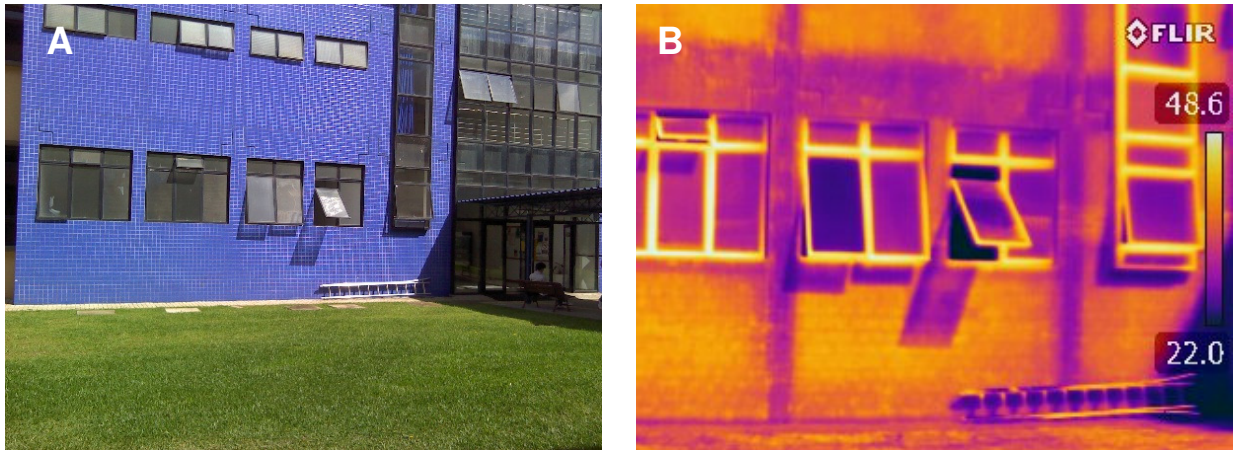


Figura 11 – Interferência no termograma devido ao sombreamento das janelas abertas na superfície analisada (Bloco C).

Fonte: Acervo próprio

Na figura 11, nota-se no termograma (B) a interferência do sombreamento das janelas abertas na região da fachada com revestimento cerâmico. Ficam evidentes também os elementos estruturais.

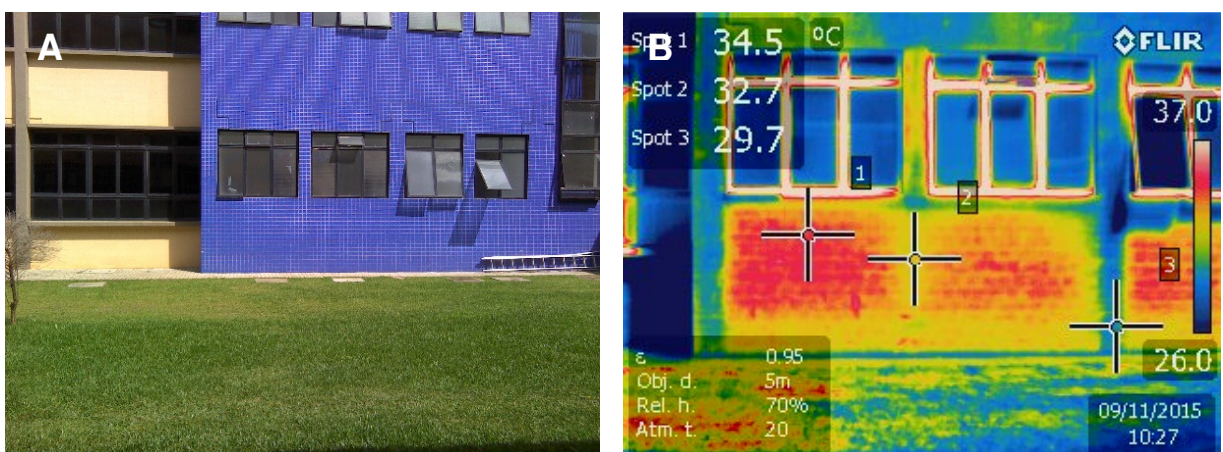


Figura 12 – Anomalia térmica em trecho da fachada do Bloco C constituído de revestimento cerâmico sobre emboço na alvenaria com blocos de concreto (Pontos 1 e 2). Possível descolamento do emboço ou do revestimento cerâmico identificado através do termograma.

Fonte: Acervo próprio

Área de estudo 1: No termograma (B) da figura 12, identifica-se anomalia térmica em trecho de fachada executada com revestimento cerâmico durante período de fluxo positivo de calor em região com exposição direta a irradiação solar durante o período da manhã. Este tipo de anomalia térmica pode estar associada a um possível descolamento do revestimento cerâmico. No exame visual da região (A) foram identificados pontos com rejunte danificado entre os revestimentos cerâmicos na região do requadro das janelas. Complementarmente, foi executado ensaio de percussão onde se verificou som cavo em trechos da parede e na região dos quadros das janelas.

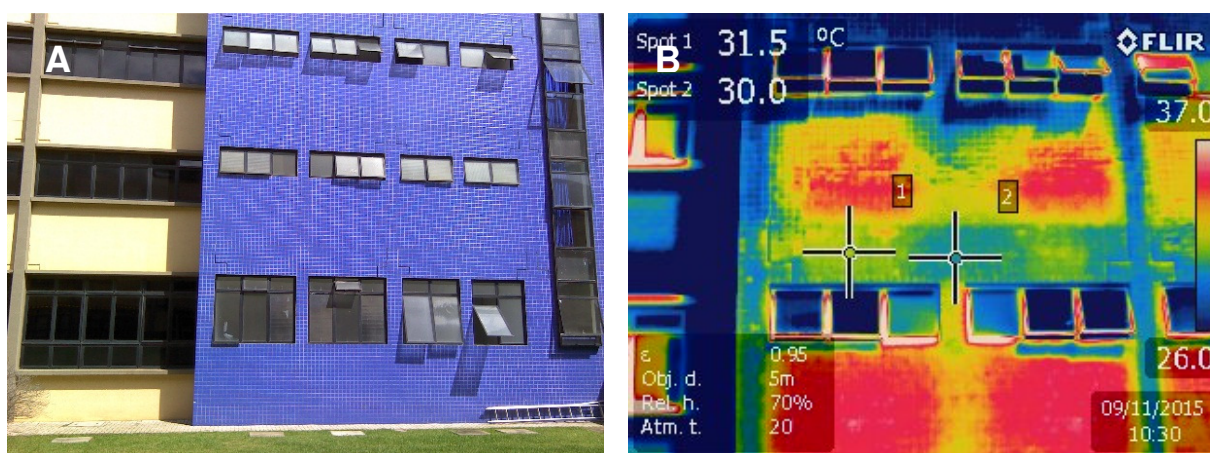


Figura 13 – Anomalia térmica em trecho da fachada do Bloco C constituído de revestimento cerâmico sobre emboço em elemento estrutural (Pontos 1 e 2). Possível descolamento do emboço ou do revestimento cerâmico identificado através do termograma.

Fonte: Acervo próprio

Área de estudo 2: No termograma (B) da figura 13 identifica-se anomalia térmica em trecho de fachada com revestimento cerâmico durante período de fluxo positivo de calor em região com exposição direta a irradiação solar durante o período da manhã. Este tipo de anomalia térmica pode estar associada a um possível descolamento do revestimento cerâmico. No exame visual (A) da região não foi possível notar descolamento/estufamento dos revestimentos cerâmicos. Não foi possível realizar ensaio de percussão no local.

Com o objetivo de caracterizar um trecho sem anomalias térmicas como padrão de comparação para as áreas de estudo 1 e 2, a figura 14 mostra o registro de área com o mesmo tipo de revestimento localizada no terceiro pavimento do

bloco C. É possível notar uma distribuição mais homogênea das temperaturas superficiais no termograma (B). Este é o comportamento esperado para superfícies de um mesmo material exposta as mesmas condições ambientais, ou seja, sem a presença de anomalias térmicas acentuadas.

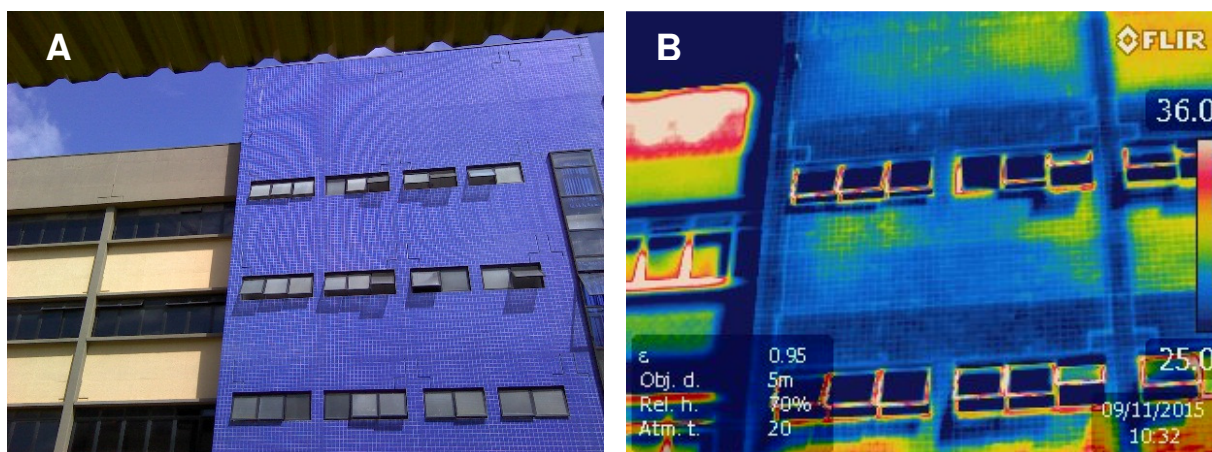


Figura 14 – Detalhe de trecho do revestimento do Bloco C constituído de revestimento cerâmico azul sobre alvenaria e estrutura com temperatura superficial homogênea.

Fonte: Acervo próprio

A área de estudo 3: No termograma (B) da figura 15, identifica-se anomalia térmica em trecho de fachada executada com revestimento em textura acrílica cinza sobre emboço aplicado em alvenaria de blocos de concreto durante período de fluxo positivo de calor positivo em região sem exposição direta a irradiação solar durante o período da manhã. Na inspeção visual (A) foi constatada a existência de fissura no revestimento (textura e emboço).

Complementarmente, foi executado ensaio de percussão na região onde se verificou som cavo ao longo de toda a região da fissura e também na região abaixo da fissura. A anomalia identificada no termograma é característica da presença de umidade e em conjunto com a constatação da fissura do revestimento e descolamento do revestimento, pode-se inferir que há a presença de umidade na região inferior, entre o emboço e a alvenaria de blocos de concreto.

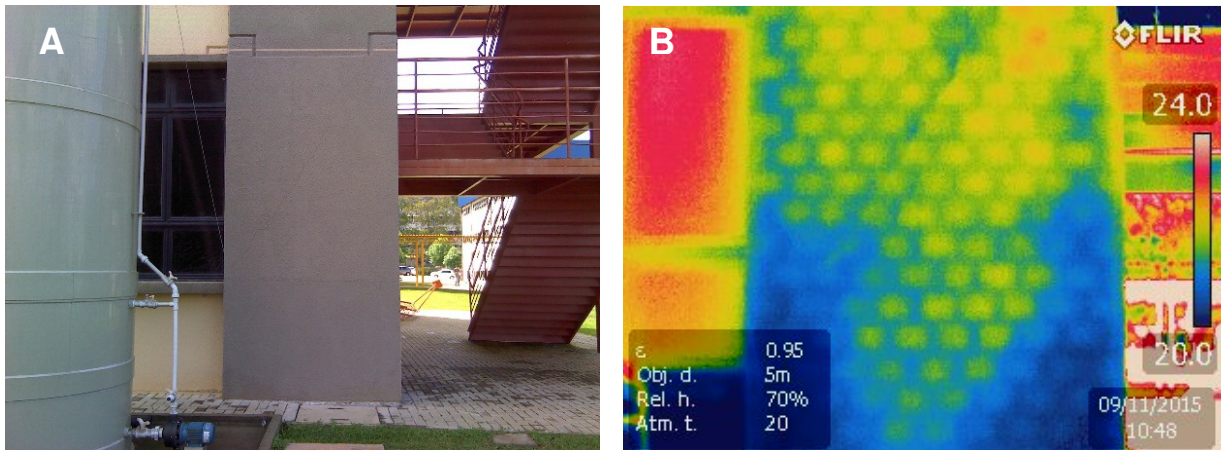


Figura 15 – Anomalia térmica em trecho da fachada do Bloco C constituído de textura acrílica cinza sobre emboço. Constatação visual de fissura e presença de umidade através do termograma.
Fonte: Acervo próprio

Área de estudo 4: No termograma (B) da figura 16, identifica-se anomalia térmica em trecho de fachada executada com revestimento em textura acrílica cinza sobre emboço aplicado em alvenaria de blocos de concreto durante período de fluxo positivo de calor em região sem exposição direta a irradiação solar durante o período da manhã. Na inspeção visual (A) não foi possível identificar nenhuma manifestação patológica. A anomalia térmica identificada na região inferior do termograma é característica da presença de umidade ascendente. É possível notar também a interferência do sombreamento da passarela no termograma que apresentou em sua parte superior, temperaturas mais elevadas na região sem sombreamento. Este tipo de situação deve ser levada em consideração a fim de evitar erros de interpretação dos termogramas.

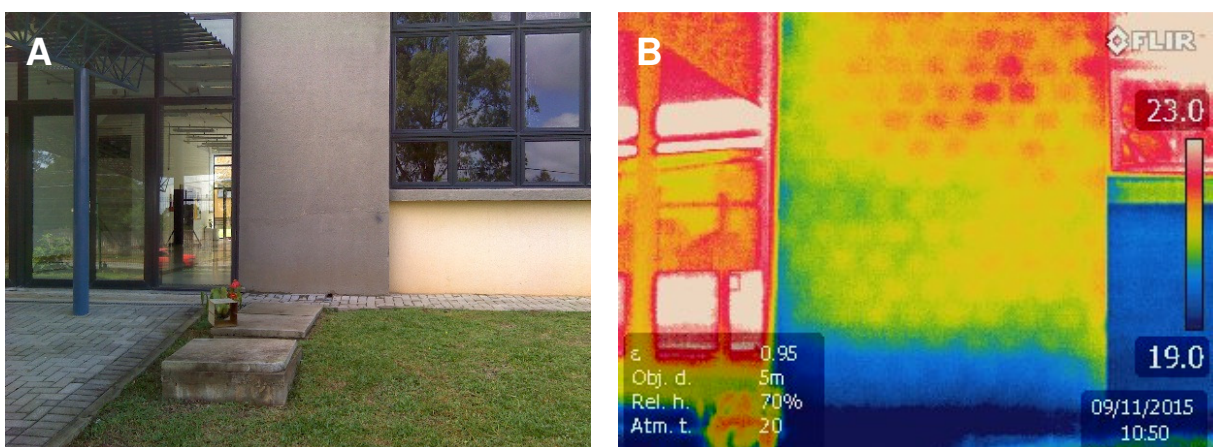


Figura 16 – Anomalia térmica em trecho da fachada do Bloco C constituído de textura acrílica cinza sobre emboço. Evidência da presença de umidade ascendente na alvenaria obtida pelo termograma.
Fonte: Acervo próprio

Área de estudo 5: No termograma (B) da figura 17, identifica-se anomalia térmica em trecho de fachada executada com revestimento em textura acrílica cinza sobre emboço aplicado em alvenaria de blocos de concreto durante período de fluxo positivo de calor positivo em região sem exposição direta a irradiação solar durante o período da manhã.

A anomalia identificada pelo termograma na região de encunhamento é característica da presença de umidade.

É possível identificar também os elementos estruturais, cintas de amarração da alvenaria de blocos de concreto e a temperatura mais elevada na região da platibanda a qual está exposta a irradiação solar.

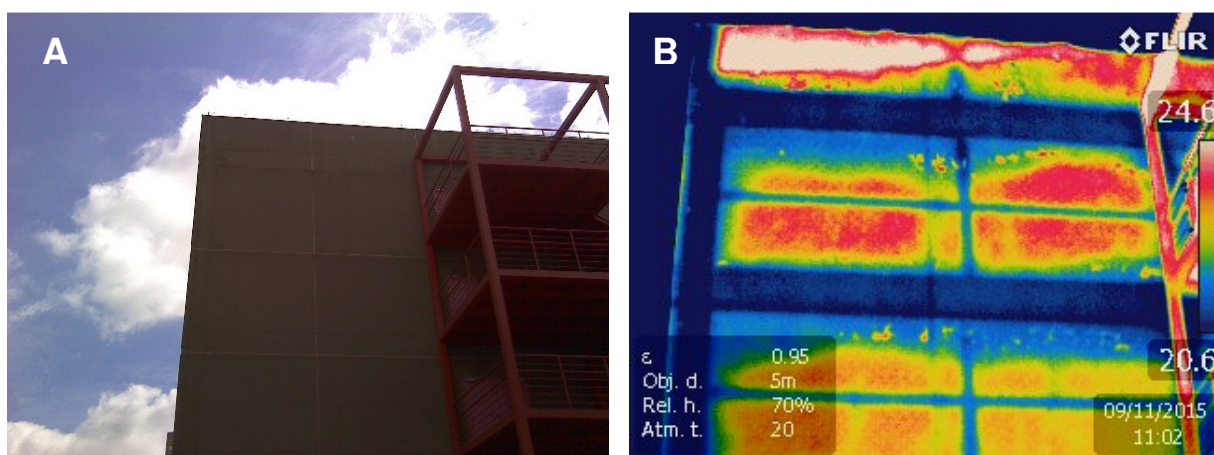


Figura 17 – Anomalia térmica em trecho da fachada do Bloco B constituído de textura acrílica cinza sobre emboço. Indício de umidade na região de encontro da alvenaria com estrutura na região do encunhamento obtida no termograma.

Fonte: Acervo próprio

Área de estudo 6: No termograma (B) da figura 18, identifica-se anomalia térmica em trecho de fachada executada com revestimento em textura acrílica cinza sobre emboço aplicado em alvenaria de blocos de concreto durante período de fluxo positivo de calor em região com exposição direta a irradiação solar durante o período da manhã. Foi possível identificar visualmente (A) a presença de fissuras e umidade na região. O termograma auxiliou na identificação da extensão da presença de umidade na região fissurada e também apresentou características de um potencial problema de descolamento do emboço.

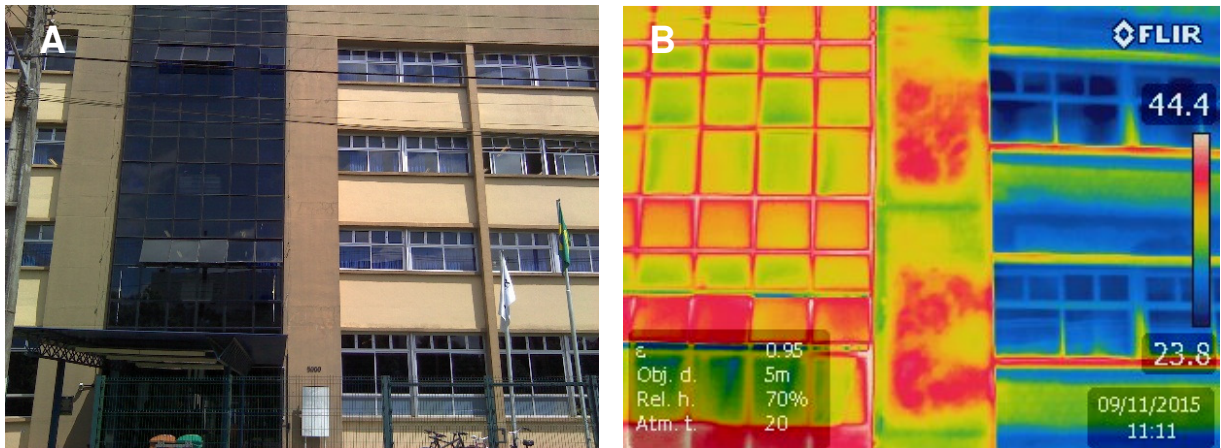


Figura 18 – Anomalia térmica na fachada do Bloco A constituído de textura acrílica cinza sobre emboço. Constatação visual de fissuras e umidade. Extensão do trecho afetado pela presença de umidade destacado no termograma. Possível problema de descolamento de emboço na região.
Fonte: Acervo próprio

Área e estudo 7: No termograma (B) da figura 19, identifica-se anomalia térmica em trecho de fachada com revestimento em textura acrílica cinza sobre emboço durante período de fluxo positivo de calor em região com exposição direta a irradiação solar durante o período da manhã. Este tipo de anomalia térmica pode estar associada a um possível descolamento do emboço. No exame visual da região (A) não foi possível notar descolamentos evidentes. Não foi possível realizar ensaio de percussão no local.

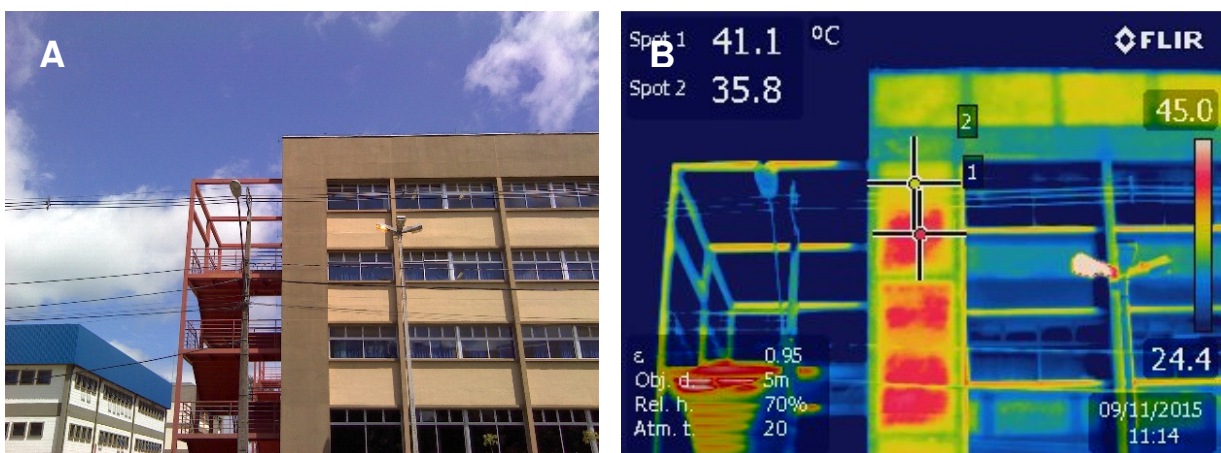


Figura 19 – Anomalia térmica em trecho da fachada do Bloco A constituído de textura acrílica cinza sobre emboço. Possível descolamento do emboço identificado através do termograma.
Fonte: Acervo próprio

Área e estudo 8: No termograma (B) da figura 20, identifica-se anomalia térmica em trecho de fachada com revestimento em textura acrílica cinza sobre emboço durante período de fluxo positivo de calor em região com exposição direta a

irradiação solar durante o período da manhã. Este tipo de anomalia térmica está associada a um possível descolamento do revestimento cerâmico. No exame visual da região (A) não foram notados descolamentos e não foi possível realizar ensaio de percussão.

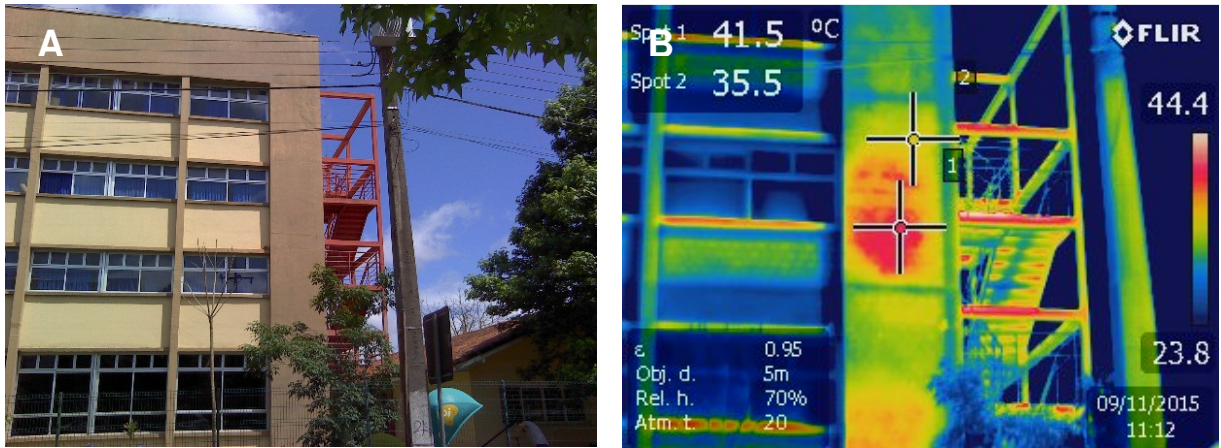


Figura 20 – Anomalia térmica em trecho da fachada do Bloco A constituído de textura acrílica cinza sobre emboço. Possível descolamento do emboço identificado através do termograma.

Fonte: Acervo próprio

Área e estudo 9: No termograma (B) da figura 21, identifica-se anomalia térmica em trecho de fachada executada com pintura branca sobre blocos de concreto durante período de fluxo positivo de calor em região sem exposição direta a irradiação solar. As anomalias identificadas pelo termograma na região superior e lateral é característica da presença de umidade. É possível identificar também os elementos estruturais, cintas de amarração da alvenaria de blocos de concreto.

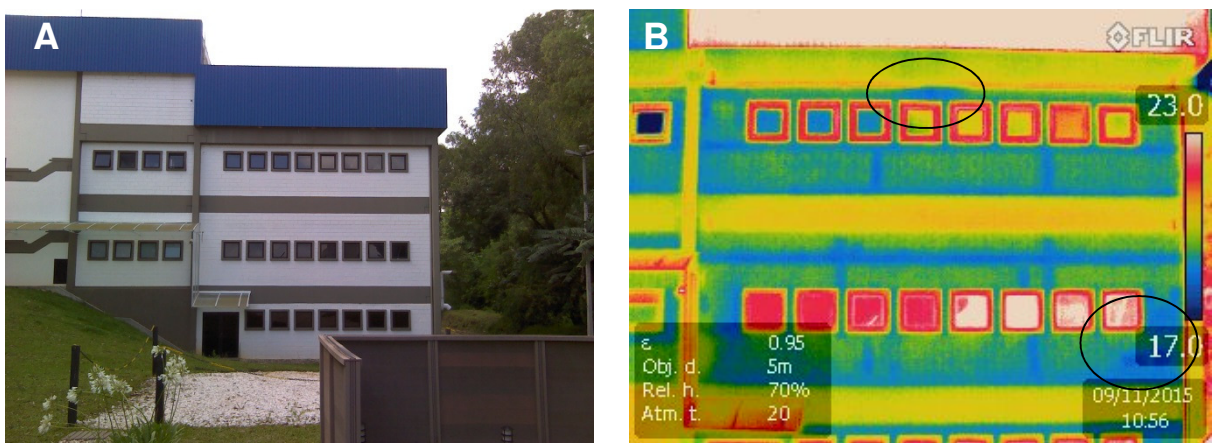


Figura 21 – Anomalia térmica em trecho da fachada do Bloco II constituído de pintura branca sobre blocos de concreto. Identificação da presença de umidade através do termograma.

Fonte: Acervo próprio

Área e estudo 10: No termograma (B) da figura 22, identifica-se anomalia térmica na região dos requadros das janelas com revestimento cerâmico durante período de fluxo positivo de calor em região com exposição direta a irradiação solar durante o período da tarde. Este tipo de anomalia térmica pode estar associada a um possível descolamento do revestimento cerâmico. No exame visual da região (A) não foi identificado descolamentos/estufamento do revestimento cerâmico nem falhas nos rejuntas. Complementarmente, foi executado ensaio de percussão onde se verificou som cavo na região dos requadros das janelas.

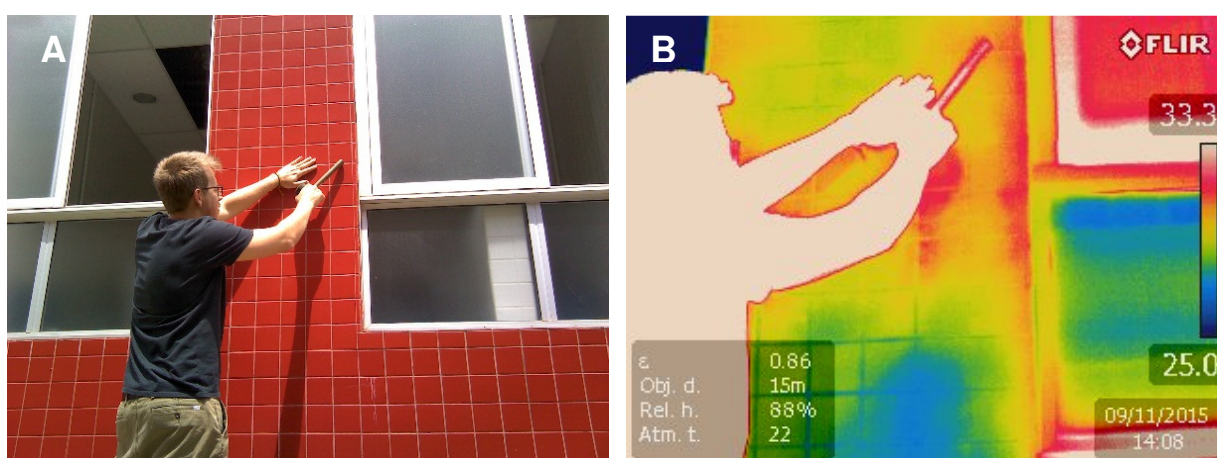


Figura 22 – Anomalia térmica na região do requadro das janelas característica de problemas com descolamento de revestimento cerâmico. Constatado som cavo no ensaio de percussão.

Fonte: Acervo próprio

3.1 Determinação dos parâmetros de calibração do Termovisor

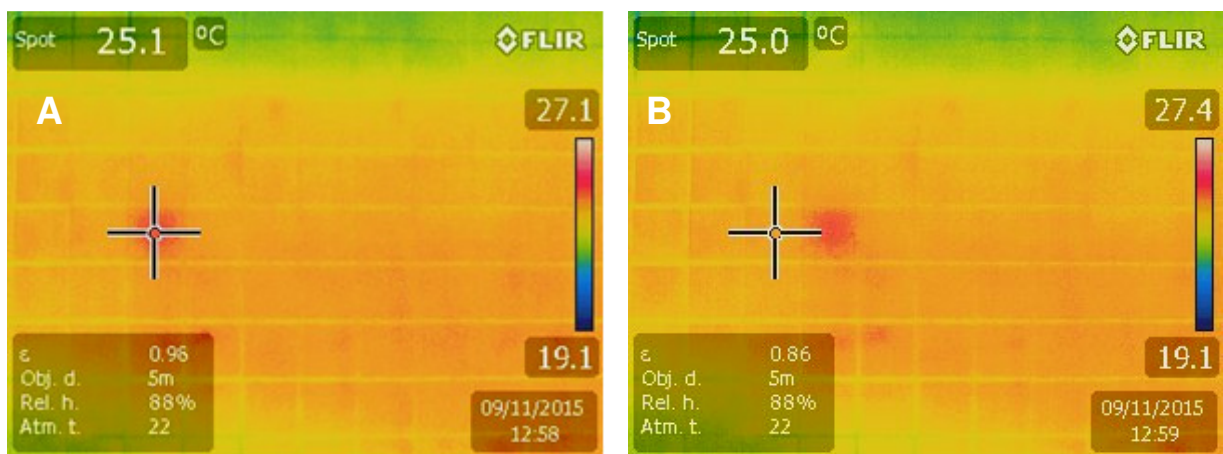
Definidas as áreas de estudo, foram realizados ensaios de campo a fim de determinar a emissividade dos materiais encontrados. Os ensaios consistiram na determinação da emissividade dos materiais das fachadas através da comparação das suas temperaturas superficiais com as temperaturas de um material com emissividade conhecida e em estabilidade térmica com a superfície analisada.

Para a realização do ensaio de determinação da emissividade dos materiais, foram utilizados pedaços de fita isolante preta aderidos a superfície. Enquanto se esperava a estabilização da temperatura entre o revestimento e a fita isolante, configurou-se os parâmetros de calibração do Termovisor.

- Distância da medição: 5m.
- Temperatura ambiente: 22 °C

- Umidade Relativa do Ar: 88%
- Emissividade da fita isolante: 0,96.

O ensaio consistiu na medição da temperatura na superfície da fita isolante, já em estabilidade térmica com a superfície (A) e, em seguida, na medição da temperatura na região do material a ser analisado (B), alterando-se o parâmetro de emissividade do Termovisor até que a sua temperatura seja igual a medida na superfície da fita isolante.



**Figura 23 – Determinação da emissividade do emboço com revestimento cerâmico vermelho. Emissividade do material $\epsilon=0,86$.
Fonte: Acervo próprio**

Este procedimento foi realizado para todos os revestimentos encontrados nas áreas de estudo e os valores de emissividade encontrados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Valores obtidos nos ensaios de campo para a emissividade dos materiais das áreas de estudo.

Superfície	Emissividade
Textura acrílica cinza	0,80
Revestimento cerâmico vermelho	0,86
Revestimento cerâmico azul	0,86
Pintura branca sobre blocos de concreto	0,70

Fonte: Autoria própria.

Como o parâmetro de emissividade utilizado no estudo exploratório era fixo, a inspeção termográfica desta etapa foi qualitativa pois os valores absolutos da temperatura das superfícies não refletiam os seus valores reais. Apesar disto, os termogramas obtidos no estudo exploratório foram plenamente capazes de identificar gradientes de temperatura característicos das anomalias térmicas nas regiões inspecionadas.

Com base na caracterização das áreas de estudo, foram atualizados os parâmetros de emissividade do Termovisor para a execução do estudo confirmatório. Com os valores de emissividade atualizados, além da identificação dos gradientes de temperatura nas superfícies, será possível obter leituras corretas da temperatura absoluta das superfícies investigadas.

3.2 Estudos confirmatórios com o Termovisor

Com base nas informações obtidas nas inspeções visuais e termográficas no estudo exploratório, foram identificadas nas áreas de estudo regiões com potenciais manifestações patológicas associadas às anomalias térmicas. Algumas delas ficaram evidentes durante o estudo exploratório pois, as informações obtidas na inspeção visual e no termograma obtido, já fornecem subsídios suficientes para a sua caracterização. Nos locais onde não foi possível obter subsídios suficientes ao diagnóstico, foram realizadas a inspeção termográfica durante o período de fluxo negativo de calor.

O estudo confirmatório buscou obter informações complementares sobre a dinâmica do fluxo de calor das superfícies das áreas de estudo 1, 3, 5, 7 e 8 a fim de confirmar as suspeitas preliminares sobre as potenciais Manifestações Patológicas ocultas apontadas (descolamento de emboço e revestimentos cerâmicos).

O retorno às áreas de estudo foi realizado durante o anoitecer do mesmo dia utilizando o termovisor em caráter quantitativo (identificação de gradientes de temperatura e temperaturas reais das superfícies), com o parâmetro de emissividade obtidos na tabela 2 e os parâmetros de temperatura ambiente (22°C) e umidade relativa do ar (88%) inseridos no equipamento.

A seguir, serão apresentados os quadros com os termogramas obtidos no estudo exploratório (fluxo de calor positivo) e na campanha confirmatória (fluxo de calor negativo) acompanhadas de uma breve análise do comportamento do fluxo de calor nas áreas de estudo e das manifestações patológicas associadas.

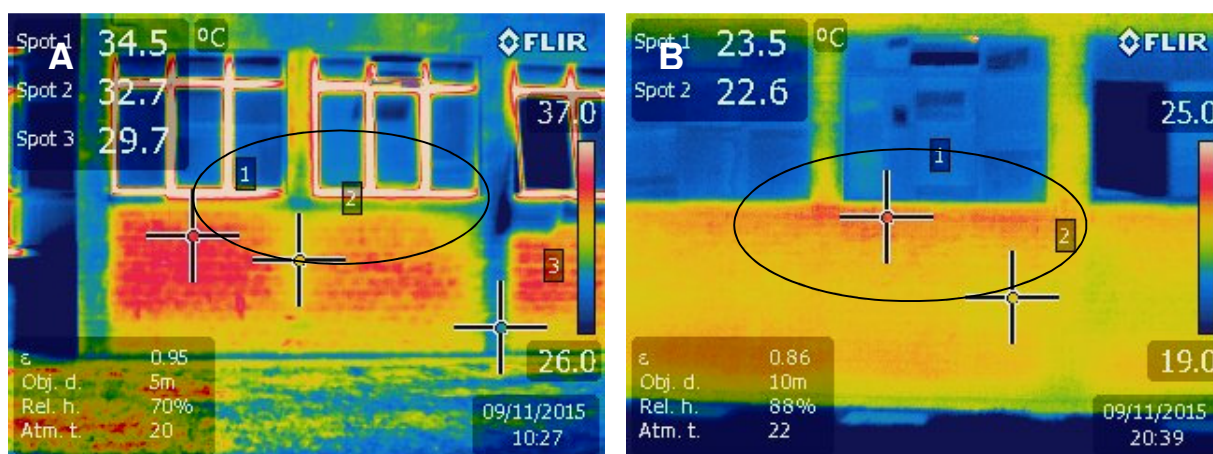


Figura 24 – Comparação da anomalia térmica em trecho da fachada do Bloco C na área de estudo 1. Possível descolamento do emboço ou do revestimento cerâmico associado presença de umidade presente abaixo do revestimento cerâmico.

Fonte: Acervo Próprio

Área de estudo 1: No termograma (B) da figura 24, identifica-se anomalia térmica em trecho de fachada executada com revestimento cerâmico durante período de fluxo negativo de calor. Este tipo de anomalia térmica pode ser associada a um possível descolamento com presença de umidade abaixo do revestimento cerâmico na região do requadro das janelas pois a presença de umidade (água) na região tem por característica manter as temperaturas mais elevadas nos termogramas durante o período de fluxo negativo de calor em comparação com a região não afetada. Esta hipótese é reforçada pela identificação de pontos com rejunte danificado entre os revestimentos cerâmicos na região do requadro das janelas. Também é possível notar no termograma (A) que durante o período de fluxo positivo de calor as temperaturas na região dos requadros é menor devido à evaporação da água.

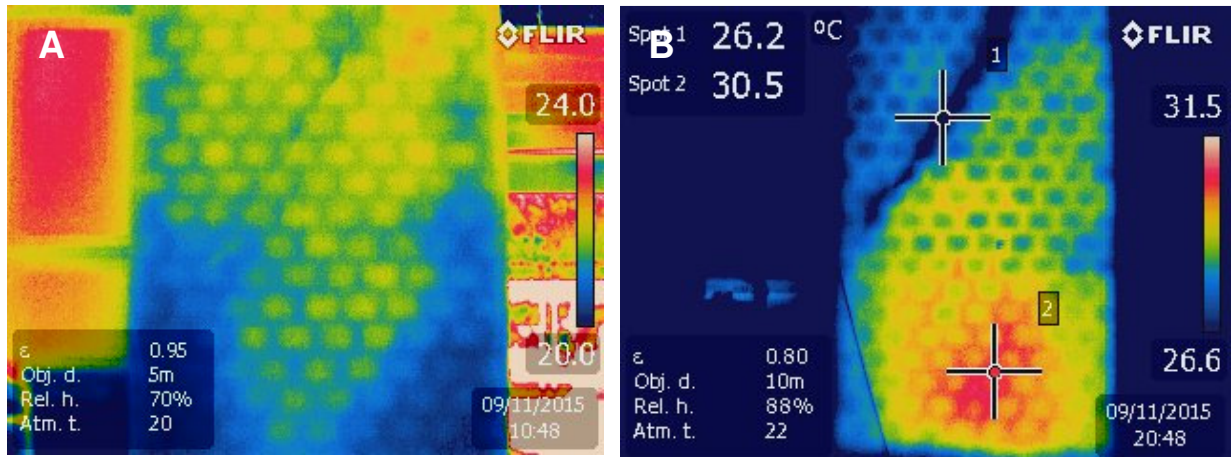


Figura 25 – Anomalia térmica em trecho da fachada do Bloco C na área de estudo 3 constituído de textura acrílica cinza sobre emboço. Termograma destaca a região fissurada e a presença de descolamento do emboço com presença de umidade na região abaixo da fissura

Fonte: Acervo Próprio

Área de estudo 3: No termograma (B) da figura 25, identifica-se anomalia térmica em trecho de fachada executada com revestimento em textura acrílica cinza sobre emboço aplicado em alvenaria de blocos de concreto durante período de fluxo de calor negativo. O termograma destaca a região da fissura (ponto 1) e a região com descolamento do emboço em conjunto com a presença de umidade (ponto 2), com maior temperatura devido a maior capacidade da água em reter calor durante o período de fluxo negativo de calor quando comparada a dos materiais constituintes do revestimento. Nota-se o grande destaque nas anomalias térmicas no termograma (B) quando comparado com o termograma obtido inicialmente (A).

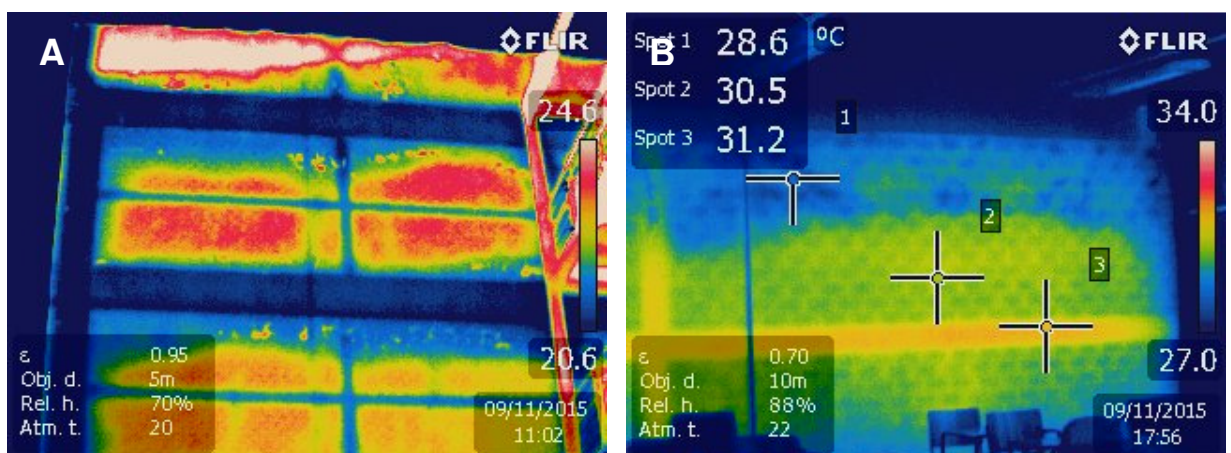


Figura 26 – Anomalia térmica em trecho da fachada do Bloco B constituído de textura acrílica cinza sobre emboço. Região de infiltração confirmada através de termograma do lado interno da região afetada (Sala de aula EB 302)

Fonte: Acervo Próprio

Área de estudo 5: No termograma (B) da figura 26, identifica-se anomalia térmica na região interna do trecho de fachada do terceiro pavimento na região do encunhamento. Na parte interna ficou evidente a presença de umidade pela presença de bolor nas paredes na região com presença de umidade identificada no termograma. Complementarmente, foi realizada inspeção visual na região externa, devido a possibilidade de acesso pela escada de emergência, onde foi constatada fissura em toda a extensão do encunhamento da região afetada, descontinuidade esta que permite a infiltração de água para o interior da edificação.

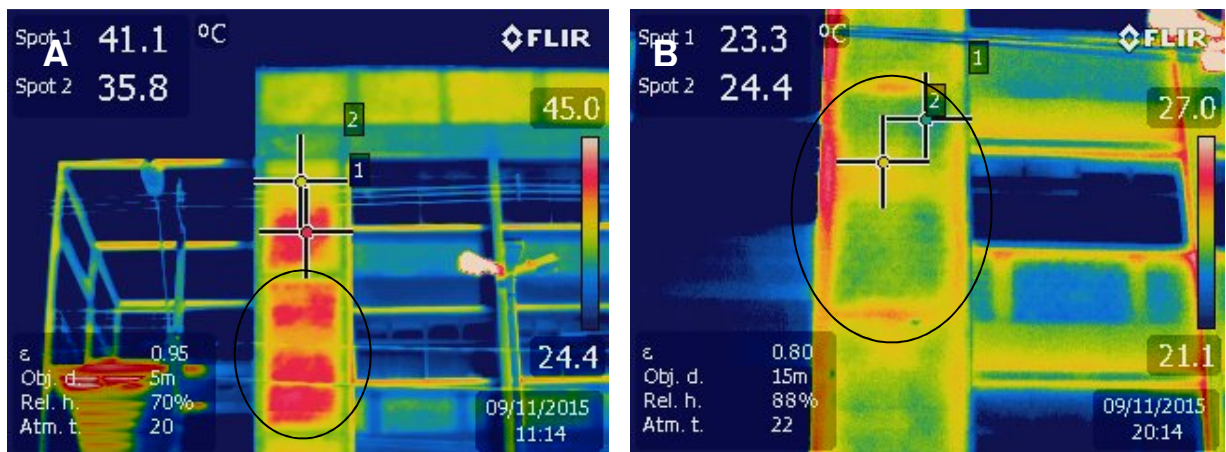


Figura 27 – Anomalia térmica em trecho da fachada do Bloco A constituído de textura acrílica cinza sobre emboço. Possível descolamento do emboço confirmado através do termograma realizado no período de fluxo negativo de calor

Fonte: Acervo Próprio

Área e estudo 7: No termograma (B) da figura 27, identifica-se anomalia térmica em trecho de fachada com revestimento em textura acrílica cinza sobre emboço durante período de fluxo negativo de calor. Este tipo de anomalia térmica confirma um possível descolamento do emboço pois, a região com temperatura mais elevada durante o período de fluxo positivo de calor (A), apresentou temperaturas mais baixas no período de fluxo negativo de calor (B).

Área e estudo 8: No termograma (B) da figura 28, identifica-se anomalia térmica em trecho de fachada com revestimento em textura acrílica cinza sobre emboço durante período de fluxo negativo de calor. Este tipo de anomalia térmica confirma um possível descolamento do emboço pois, a região com temperatura mais elevada durante o período de fluxo positivo de calor (A), apresentou temperaturas mais baixas no período de fluxo negativo de calor (B).

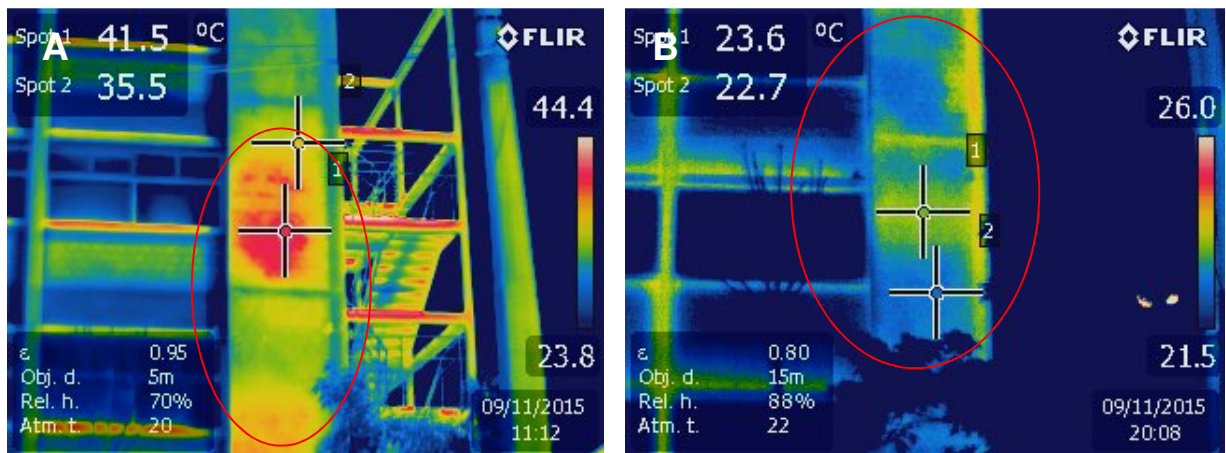


Figura 28 – Anomalia térmica em trecho da fachada do Bloco A constituído de textura acrílica cinza sobre emboço. Possível descolamento do emboço identificado através do termograma.

Fonte: Acervo Próprio

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A capacidade de identificar anomalias térmicas associadas a Manifestações Patológicas ocultas, que nem sempre são possíveis de identificar somente com as inspeções visuais, através da Termografia agilizam o processo de inspeção e permitem que sejam caracterizadas as áreas que devem ser submetidas a investigações mais criteriosas, seja pela execução de estudos termográficos confirmatórios ou pela utilização de outros ensaios de campo ou laboratoriais.

Apesar de ser relativamente simples utilizar o Termovisor para obter termogramas durante as inspeções, se não forem levadas em consideração as interferências e as condições ambientais nas quais foram obtidos, a análise e a interpretação dos termogramas podem levar a conclusões equivocadas. Para que isto não ocorra, o embasamento teórico e a experiência no uso do equipamento para a identificação das anomalias térmicas, características das manifestações patológicas investigadas, são fundamentais para que o Inspetor consiga obter os subsídios adequados para sua interpretação e, conseqüentemente, consiga associar corretamente as suas características com as manifestações patológicas correspondentes.

Quanto aos parâmetros de calibração do Termovisor, os valores de emissividade e demais parâmetros ambientais devem ser determinados para cada situação de inspeção quando se pretende obter termogramas com medidas precisas de temperatura das superfícies analisadas, ou seja, em análises quantitativas. Já para a identificação de anomalias de forma qualitativa, estes parâmetros não apresentam influências que prejudiquem a identificação de gradientes de temperatura em superfícies de um mesmo material, fato este, confirmado no estudo exploratório. Entretanto, a determinação dos parâmetros corretos sempre deve ser realizada ao se adquirir subsídios que fundamentem a análise e interpretação das anomalias térmicas para o diagnóstico de manifestações patológicas em Relatórios e Laudos no âmbito da Engenharia Diagnóstica.

A dinâmica do comportamento dos fluxos de calor das superfícies e os desvios associados a determinadas Manifestações Patológicas também são fatores que requerem atenção durante a inspeção e análise dos termogramas afim de obter um correto diagnóstico. A determinação dos melhores períodos e/ou condições de

inspeção podem auxiliar na obtenção de termogramas que deixem evidentes as anomalias térmicas que podem estar associadas as Manifestações Patológicas.

Quanto a determinação da gravidade e extensão das patologias existentes, a termografia permite identificar a região de influência e também a sinergia deletéria de manifestações patológicas conjuntas. Um exemplo desta situação é a associação da presença de umidade e descolamentos em uma mesma região, condição esta que potencializa a evolução de ambas as patologias e, conseqüentemente, apresentam um potencial elevado de prejuízo ao desempenho e durabilidade dos sistemas de revestimentos de fachadas.

Algumas limitações operacionais puderam ser identificadas durante as inspeções. A resolução dos termogramas (320x240 pixels) é relativamente baixa e a identificação das anomalias térmicas com precisão adequada a sua interpretação pode não ser possível quando as regiões analisadas se encontram a grandes distâncias. Outro potencial fator limitante na obtenção dos termogramas é a possível variação dos resultados devido ao ângulo de observação entre a câmera e a região de estudo. Nos estudos de campo esta situação pode ser contornada ao se aumentar a distância das observações para evitar tomada de imagens em ângulos superiores a 45°, conforme recomendações encontradas na literatura e no manual do equipamento, no entanto, para edificações mais altas ou com restrições de afastamento para a tomada das imagens, isto não seria possível.

5. CONCLUSÕES

As inspeções realizadas nas fachadas do campus Ecoville da UTFPR utilizando a termografia de infravermelho como complemento das inspeções visuais na investigação das manifestações patológicas demonstraram o grande potencial de aplicação deste END na Engenharia Diagnóstica de Edificações.

Com base nos resultados obtidos nas inspeções, foi possível caracterizar as manifestações patológicas com base nas inspeções termográficas e visuais, complementadas com os ensaios de percussão nos locais onde o acesso foi possível. A confirmação das regiões com suspeita de descolamento identificadas com a termografia se deu através das duas maneiras possíveis: ensaio de percussão ou através da inspeção confirmatória durante o fluxo negativo de calor, ambas confirmaram a eficiência da termografia de infravermelho na identificação de descolamentos de revestimentos em fachadas.

A interpretação dos termogramas baseada nas características das anomalias térmicas e fluxos de calor associadas a cada uma das Manifestações Patológicas referidas na literatura permitiu a identificação de patologias ocultas e também a identificação da sua real extensão; da mesma forma, identificou-se a interação e extensão de manifestações patológicas passíveis de identificação visual tais como a presença de umidade e situações de sinergia entre diferentes Manifestações Patológicas.

Os resultados obtidos neste trabalho confirmam a viabilidade da termografia como END aplicável a inspeção de revestimentos de fachadas com grande potencial de utilização no âmbito da Engenharia Diagnóstica e também, no monitoramento da evolução das manifestações patológicas com grandes vantagens quanto a agilidade das inspeções e confiabilidade dos resultados, quando comparada com as técnicas usuais de inspeção de fachadas, diminuindo a subjetividade de inspeções exclusivamente fotográficas, eliminando os riscos de segurança para trabalhos em altura e viabilizando a manutenção preditiva e preventiva dos sistemas de revestimentos de fachadas.

6. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Devido ao grande número de possibilidades de aplicação da termografia na construção civil e também ao número reduzido de estudos acadêmicos sobre o tema, sugere-se que trabalhos futuros sejam dirigidos aos seguintes temas:

- Análise da influência das variações de espessura de revestimentos de argamassa nos gradientes de temperatura dos termogramas.
- Análise da dinâmica do fluxo de calor em sistemas de revestimento de fachada através da técnica de *Time-Lapse* com o objetivo de identificar os períodos ótimos de identificação de anomalias térmicas.
- Sistematização e padronização das investigações termográficas e da análise das anomalias térmicas vinculadas a manifestações patológicas em sistemas de revestimentos de fachadas.
- Utilização das temperaturas superficiais dos revestimentos de fachadas obtidas nos termogramas para modelagem da dilatação térmica de revestimentos utilizando elementos finitos.

7. REFERÊNCIAS

ANTUNES, G. R. **Estudo de manifestações patológicas em revestimento de fachada em Brasília – Sistematização da incidência de casos**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, UnB. Brasília, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-15575:2013** Norma de Desempenho - Edificações, Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 14653:2001**
Avaliação de Imóveis, Rio de Janeiro, 2001.

BAUER, E., **Condicionantes das medições termográficas para avaliação de temperatura em fachadas**. Artigo, X Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Fortaleza, 2013.

BAUER, E., FREITAS, V. P., MUSTELIER, N., BARREIRA, E., FREITAS, S., **Infrared Thermography – Evaluation of the results reproducibility**. Structural Survey, v. 31, n. 3, p. 181,-193, 2015.

BAUER, L.A.F. **Materiais de Construção**. São Paulo: Livros Técnicos e Científicos Editora – 2 volumes – 5ª Edição – 1994.

BRASIL. Lei 8078 de 11 de setembro de 1990. – Dispões sobre a proteção do consumidor e dá outras providencias - Código de Defesa do Consumidor (CDC). Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8078.htm> Acesso em: 19 de junho de 2015.

BRASIL. Resolução CONFEA nº 345 de 27 de julho de 1990. Dispõe quanto ao exercício por profissional de Nível Superior das atividades de Engenharia de Avaliações e Perícias de Engenharia. Disponível em: <<http://normativos.confea.org.br/ementas/visualiza.asp?idEmenta=393>> Acesso em: 19 de junho de 2015.

CAMPANTE, E. F. E SABBATIN, F. H., **Metodologia para diagnóstico, recuperação e prevenção de manifestações patológicas em revestimento cerâmico de fachada.** Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2001.

CARASEK, H. **Argamassas.** In: Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. ISAIA,G.C. (Organizador/Editor).São Paulo: IBRACON,2007 p863-804

CARVALHO, JR., A. N.; SILVA, A. P.; NETO, F. M. **Perícias em patologias de revestimentos de fachadas.** In: Congresso brasileiro de engenharia de avaliações e perícias, X COBREAP. Porto Alegre: IBAPE, 1999.

CINCOTTO, M. A., SILVA, M. A. C., CARASEK, H. **Argamassas de revestimento; Características, propriedades e métodos de ensaio** (Publicação IPT 2378). 1.ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995. 118p.

CORTIZO, E. C., BARBOSA, M. P., SOUZA, L. A. C., **Estado da arte da termografia,** Fórum Patrimônio, Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, v .2, n.2, p 158 – 193, mai/ago. Belo Horizonte, 2008

COSTA, M. S. (2014). **Identificação de Danos em Fachadas de Edificações por meio de Imagens Panorâmicas Geradas por Plataforma Robótica Fotográfica.** Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM-007/14, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 184p.

EDIS, E., FLORES-COLEN, I., BRITO, J. **Passive thermographic detection of moisture problems in façades with adhered ceramic cladding.** Construction and Building Materials, Elsevier, 2014.

FLORES-COLEN, I. **Metodologia de Avaliação do Desempenho em Serviço de Fachadas Rebocadas na Óptica da Manutenção Preditiva.** Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico. Lisboa, Junho 2009.

FONTENELLE, A. M., **Revestimento cerâmico em fachadas – Estudo das causas das patologias**. Relatório de pesquisa, Comunidade da Construção, Fortaleza, 2004.

GOMIDE, T.L.F. **Engenharia Legal - Estudos**, São Paulo: Editora Leud. 2002.

GOMIDE, T.L.F. **Perícias de engenharia em fachadas de edificações**, Artigo, São Paulo: IBAPE-BR. 2006.

HALLIDAY, D.; KRANE, K. S.; RESNICK, R. **Física 2**. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

HASHIMOTO, R. F., **Visão e Processamento de Imagens**, Notas de aula, Disciplina de Sensoriamento Remoto, USP, São Paulo, 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE PERÍCIAS E AVALIAÇÕES. **Diretrizes Técnicas de Vistoria em Edificações**. São Paulo: IBAPE-SP. 2015.

KEMPNER, D.B. **A importância da prova pericial**, ISSN 2179-5568 – Revista Especialize On-line IPOG - Goiânia - 5ª Edição nº 005 Vol.01/2013 – julho/2013

LICHTENSTEIN, N. B. **Patologia das Construções: Procedimentos para Diagnóstico e Recuperação**. In: Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP - Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 1986.

MALDAGUE, X. **Infrared and Thermal testing: Nondestructive testing handbook**. 3th ed, Columbus, OH: Patrick O. Moore, 2001.

MALDAGUE, X.; MARINETTI, S. **Pulse phase infrared thermography**. Journal Applied Physics., New York, v. 79, p. 2694-2698, 1996.

MENEZES, A., GOMES, M. G., FLORES-COLEN, I. **In-situ assessment of physical performance and degradation analysis os rendering walls.** Construction and Building Materials, Elsevier, 2015.

OLIVEIRA, D.F. **Levantamento de Causas de Patologias na Construção Civil.** Escola de Engenharia da UFRJ, 2013.

OLIVEIRA, R.F. **Engenharia Legal: Interface Direito – Engenharia. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização).** Escola de Engenharia da UFMG, 2009.

PAVÓN, E., **Teremografia de infravermelho na identificação e avaliação de manifestações patológicas em edifícios.** Concreto & Construções, p. 93-98, IBRACON, 2015.

RIBEIRO, A. R., BARROS, M. M. S. B. **Juntas de movimentação em revestimentos cerâmicos de fachadas.** São Paulo, Editora Pilni, 2010.

SANTOS, S. S., **Patologia das Construções.** Instituto de Pós-Graduação e Graduação - IPOG, Revista *On Line* IPOG Especialize, Curitiba, 2013

SOARES, T. C. R., **Termografia na avaliação do desempenho higratérmico de edifícios – análise de sensibilidade.** Tese de Mestrado em Engenharia de Construção e Reabilitação, Instituto Politécnico de Viseu, Santa Maria (Portugal), 2014.

SOUZA, M.F. **Patologias ocasionadas pela umidade nas edificações. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) –** Escola de Engenharia da UFMG, 2008.

TINOCO, J. E. L. **Mapa de Danos – Recomendações Básicas.** Centro de Estudos Avançados da Conservação Integrada. Texto para discussão, Volume 43. Série 2. Gestão de Restauro. Olinda, 2009.

FLIR SYSTEMS, **The Ultimate Infrared Handbook for R&D Professionals**,
FLIR, 2012