

ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS ATRAVÉS DA TERMOGRAFIA POR INFRAVERMELHO - ESTUDO DE CASO NOS EDIFÍCIOS DA UNIVERSIDADE DO GURUPI - TO

Mahara Crystina Cabral de Abreu¹

<https://orcid.org/0009-0000-1819-0023>

Arthur Aviz Palma e Silva²

<https://orcid.org/0000-0001-5686-5984>

RESUMO

Este trabalho utiliza a termografia infravermelha para realizar uma inspeção predial não destrutiva no campus de Gurupi da Universidade UNIRG - campus I, visando identificar manifestações patológicas e estabelecer correlações com as condições climáticas, como exposição à radiação solar e chuva dirigida. Utilizou-se o software WUFI para obter dados sobre o comportamento hidrotérmico, relacionando-os à incidência de radiação solar, ciclos de chuva, horários do dia e localização das fachadas. A metodologia adotada inclui a definição da área de estudo, inspeção preliminar, inspeção detalhada, diagnóstico e aplicação do método GUT para estabelecer uma ordem de prioridades de intervenção. Os resultados apontam para uma correlação entre incidência de radiação solar e manifestações patológicas nas unidades vistoriadas, o que pode auxiliar na proposição de alternativas mais viáveis para a durabilidade das fachadas na cidade.

Palavras-chave: Termografia Infravermelha, Manifestações Patológicas, Fachadas, WUFI®

Submetido em: 30/07/2024 – Aprovado em: 06/09/2024 – Publicado em: 06/09/2024

¹ Discente no curso de Engenharia Civil da Universidade do Gurupi - TO. email: maharacrystina1@hotmail.com

² Docente no curso de Engenharia Civil da Universidade do Gurupi - TO. email: eng.aviz@gmail.com



ANALYSIS OF PATHOLOGICAL MANIFESTATIONS THROUGH INFRARED THERMOGRAPHY - CASE STUDY OF BUILDINGS AT THE UNIVERSITY OF GURUPI - TO

ABSTRACT

This work uses infrared thermography to conduct a non-destructive building inspection at the Gurupi campus of UNIRG University - Campus I, aiming to identify pathological manifestations and establish correlations with climatic conditions such as exposure to solar radiation and driven rain. The WUFI software was used to obtain data on hygrothermal behavior, relating them to solar radiation incidence, rain cycles, times of the day, and facade locations. The adopted methodology includes defining the study area, preliminary inspection, detailed inspection, diagnosis, and application of the GUT method to establish a priority order for interventions. The results indicate a correlation between solar radiation incidence and pathological manifestations in the inspected units, which can assist in proposing more viable alternatives for the durability of the facades in the city.

Keywords: Infrared Thermography, Pathological Manifestations, Facades, WUFI®

1 INTRODUÇÃO

Os edifícios desempenham um papel essencial no conforto e na segurança dos ocupantes. No entanto, a exposição prolongada às condições climáticas e a outros agentes externos pode levar ao surgimento de patologias que comprometem tanto a funcionalidade quanto a estética dessas estruturas (Silva & Souza, 2017). Diante disso, a inspeção predial surge como uma prática indispensável para assegurar a durabilidade das edificações. Antes de se realizar qualquer intervenção de manutenção, é fundamental que se conduza uma inspeção visual detalhada, conforme destacado por Melo et al. (2017). A norma ABNT NBR 15575:2013, da Associação Brasileira de Normas Técnicas, estabelece parâmetros rigorosos para assegurar que as características projetuais das edificações sejam mantidas (ABNT, 2013), esta norma garante que as ações de manutenção, sejam preventivas ou corretivas, sejam fundamentadas nos resultados das inspeções. Assim, assegura-se o uso contínuo, o conforto e a integridade estrutural das edificações ao longo de sua vida útil (Souza & Silva, 2018).

Para que as inspeções em ambientes ocupados possam ocorrer sem perturbar a rotina dos ocupantes, é necessário o emprego de metodologias não invasivas e não destrutivas. A termografia infravermelha se destaca nesse contexto como uma tecnologia poderosa, capaz de revelar problemas ocultos sob a superfície (Fernandes et al., 2019). A detecção não destrutiva da termografia infravermelha permite mapear temperaturas com precisão milimétrica, identificando anomalias como infiltrações, fissuras e descolamentos, muitas vezes invisíveis a olho nu (Costa & Almeida, 2018).

Esta técnica possibilita uma análise detalhada das influências climáticas, como a radiação solar e a precipitação, sobre o comportamento hidrotérmico das fachadas, contribuindo para a identificação de problemas estruturais (Gomes & Freitas, 2019). A caracterização precisa das condições ambientais que afetam as fachadas é fundamental para a interpretação correta dos resultados obtidos, evitando erros de diagnóstico (Fernandes et al., 2019).

Embora altamente tecnológica, a termografia infravermelha enfrenta desafios, como variações climáticas em curtos períodos, que podem influenciar os resultados e exigir uma análise crítica e detalhada (Lima & Rodrigues, 2020). Para maximizar o sucesso desta técnica, é necessário integrá-la a outros métodos investigativos, como inspeções visuais e análises laboratoriais, proporcionando uma visão holística das patologias e suas causas (Oliveira & Marques, 2020).

Em suma, a inspeção predial utilizando termografia infravermelha configura-se como uma ferramenta essencial para assegurar a saúde, segurança e longevidade das edificações. Através da detecção precoce de problemas e da análise detalhada das fachadas, é possível prolongar a vida útil do patrimônio, otimizar os custos de manutenção e garantir o bem-estar dos ocupantes.

Investir em inspeções regulares é uma decisão estratégica que protege o patrimônio e contribui para a construção de cidades mais seguras e sustentáveis (Ribeiro et al., 2022).

O presente estudo tem como objetivo identificar manifestações patológicas nas fachadas da Universidade Unirg Campus 1, localizado no município de Gurupi no estado do Tocantins. Utilizando a técnica de termografia infravermelha, busca-se realizar uma análise das fachadas, mapeando possíveis anomalias e contribuindo para uma avaliação abrangente das condições do edifício.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Manifestações Patológicas em Edificações e Patologias em Fachadas

As edificações, para além de meros espaços físicos, representam investimentos significativos em termos financeiros e sociais. Entretanto, ao longo do tempo, estão sujeitas a diversas manifestações patológicas que podem comprometer sua integridade estrutural e funcionalidade (França et al., 2011). Tais manifestações frequentemente resultam de mecanismos de degradação, potencializados por falhas de execução e manutenção, afetando a segurança e durabilidade das edificações (França et al., 2011).

As fachadas, como elementos externos das edificações, enfrentam diretamente os elementos climáticos e ambientais, tornando-se particularmente vulneráveis a patologias. A norma ABNT NBR 15575-4 estabelece requisitos específicos para os sistemas de vedações verticais internas e externas, visando garantir a durabilidade das fachadas (ABNT, 2013). Tais diretrizes são fundamentais para assegurar a resistência das fachadas às intempéries e para a seleção adequada de materiais, contribuindo para a prevenção de danos.

Essa norma proporciona um mapeamento detalhado dos requisitos para a durabilidade das fachadas, revelando os segredos que garantem a longevidade e a estética desses elementos essenciais. Destacam-se entre os principais aspectos abordados:

Resistência à intempérie: A fachada deve suportar as variações climáticas, resistindo à chuva, vento, sol e outros agentes agressivos.

Durabilidade dos Materiais: A seleção de materiais adequados é crucial para garantir a resistência ao longo do tempo.

Manutenção: A manutenção regular da fachada é essencial para identificar e solucionar problemas antes que se tornem mais graves.

Desempenho a Longo Prazo: A fachada deve manter suas características e funcionalidades ao longo da vida útil da edificação.

Rios (2019) destaca a importância da análise das condições climáticas locais na compreensão do comportamento das fachadas e na identificação de possíveis problemas.

Estratégias como o dimensionamento adequado das juntas de dilatação e o uso de revestimentos impermeabilizantes podem contribuir significativamente para a prevenção de danos causados pela radiação solar e pela chuva dirigida.

Dentre as principais patologias encontradas em fachadas, destacam-se: fissuras, descolamento dos revestimentos, eflorescência, umidade, degradação por agentes biológicos e deterioração por agentes químicos. Essas manifestações patológicas demandam medidas corretivas e análises das causas subjacentes para garantir a estabilidade da estrutura (Araújo, 2009; Bastos, 2015; NBR 6118:2014; Pauletti, 2007; Soares, 2015; Souza & Ripper, 2005; Souza & Silva, 2018).

As fissuras em alvenarias são uma das manifestações patológicas mais comuns e preocupantes encontradas em estruturas construídas. Geralmente, essas fissuras são causadas por movimentações térmicas provenientes da falta de juntas de dilatação, sobrecargas atuantes e deformações das estruturas, entre outros fatores (Souza & Ripper, 2005). A ausência de elementos como vergas e contravergas, além de movimentos nas fundações, também pode contribuir para o surgimento de fissuras nas alvenarias.

A gravidade das fissuras varia de acordo com sua origem e extensão. Em casos mais extremos, as fissuras podem comprometer não apenas a estética da estrutura, mas também sua integridade e estabilidade. Portanto, é fundamental adotar medidas corretivas adequadas para evitar danos mais graves à edificação (Souza & Ripper, 2005).

Uma das principais medidas corretivas para fissuras em alvenarias envolve o reforço estrutural por meio da construção de vergas e contravergas. Esses elementos são projetados para absorver as cargas atuantes e redistribuí-las de forma a minimizar o impacto das movimentações na estrutura (Souza & Ripper, 2005). Além disso, é importante realizar uma análise detalhada das causas das fissuras para evitar sua recorrência no futuro.

O deslocamento dos revestimentos em alvenarias é uma manifestação patológica que ocorre quando há perda de aderência entre o revestimento e a alvenaria. Essa condição pode ser causada por diversos fatores, incluindo a umidade, a movimentação estrutural e a aplicação inadequada dos materiais de revestimento (Souza & Ripper, 2005).

O descolamento dos revestimentos não apenas compromete a estética da edificação, mas também pode indicar problemas mais graves, como infiltrações e danos estruturais. Portanto, é essencial identificar e corrigir essa manifestação patológica o mais rápido possível para evitar danos adicionais à estrutura (Souza & Ripper, 2005).

Uma das medidas corretivas mais comuns para o deslocamento dos revestimentos em alvenarias é a substituição do revestimento danificado. Isso envolve a remoção cuidadosa do revestimento solto e a aplicação de novos materiais com aderência adequada à superfície da alvenaria (Souza & Ripper, 2005). Além disso, é importante investigar e corrigir as causas subjacentes do deslocamento, como problemas de umidade ou movimentação estrutural, para evitar a recorrência do problema.

A eflorescência é uma manifestação patológica comum em alvenarias, caracterizada pela formação de depósitos de sais minerais na superfície dos materiais de construção, geralmente sob a forma de manchas esbranquiçadas. Esses depósitos são compostos principalmente por sais solúveis, como sulfatos, carbonatos e cloretos, que são transportados pela água até a superfície da alvenaria, onde evaporam e abandonam os cristais de sal (Souza & Ripper, 2005).

As causas da eflorescência podem variar, mas geralmente estão relacionadas à presença de umidade na estrutura. Infiltrações de água, capilaridade ascendente, falta de impermeabilização e problemas com drenagem são algumas das principais causas desse fenômeno (Souza & Ripper, 2005). Além disso, a qualidade dos materiais de construção e o processo de cura do concreto também podem influenciar na ocorrência da eflorescência.

Para corrigir a eflorescência em alvenarias, é importante primeiro identificar e corrigir as causas subjacentes do problema. Isso pode envolver a impermeabilização das superfícies, a melhoria dos sistemas de drenagem e a correção de falhas na execução da obra, como a aplicação inadequada de argamassas e revestimentos (Souza & Ripper, 2005). Em casos mais graves, pode ser necessário remover os depósitos de sal da superfície da alvenaria por meio de métodos mecânicos ou químicos, seguido pela aplicação de tratamentos impermeabilizantes para evitar a recorrência do problema.

A eflorescência não apenas afeta a estética da edificação, mas também pode indicar problemas mais sérios, como infiltrações e deterioração dos materiais de construção. Portanto, é essencial abordar essa manifestação patológica de forma adequada e preventiva para garantir a durabilidade e a integridade da estrutura (Souza & Ripper, 2005).

A degradação por agentes biológicos é uma manifestação patológica que pode ocorrer em alvenarias quando há a presença e proliferação de organismos vivos, como fungos, bactérias, algas e líquens, sobre a superfície dos materiais de construção. Esses organismos são frequentemente encontrados em ambientes com alta umidade, onde encontram condições favoráveis para o seu desenvolvimento (Souza & Ripper, 2005).

A presença de agentes biológicos em alvenarias pode causar uma série de danos, incluindo manchas, descoloração, crescimento de vegetação indesejada e até mesmo a deterioração dos materiais de construção. Além disso, esses organismos podem comprometer a integridade estrutural da alvenaria ao penetrar em suas fissuras e poros, facilitando a infiltração de água e acelerando processos de degradação (Souza & Ripper, 2005).

Para prevenir e corrigir a degradação por agentes biológicos em alvenarias, é importante adotar medidas que controlem a umidade e reduzam as condições favoráveis ao desenvolvimento desses organismos. Isso pode incluir a melhoria da ventilação e da drenagem no ambiente, o uso de revestimentos impermeabilizantes e a aplicação de tratamentos químicos para eliminar e inibir o crescimento de fungos e bactérias (Souza & Ripper, 2005).

Além disso, é fundamental realizar uma inspeção regular da estrutura para identificar e corrigir precocemente qualquer sinal de infestação biológica. A remoção mecânica dos organismos e a limpeza das superfícies afetadas também podem ser necessárias para restaurar a integridade estética e estrutural da alvenaria (Souza & Ripper, 2005).

De acordo com Araújo (2009), a degradação por agentes biológicos em alvenarias é um problema comum em regiões com alta umidade relativa do ar, onde as condições ambientais favorecem o crescimento de fungos e bactérias. O autor destaca a importância da impermeabilização adequada das estruturas e da ventilação adequada dos ambientes para prevenir a proliferação desses organismos.

Bastos (2015) ressalta que a presença de agentes biológicos em alvenarias pode comprometer não apenas a estética da estrutura, mas também sua integridade e durabilidade. O autor destaca a importância da manutenção preventiva e da inspeção regular das estruturas para identificar e corrigir problemas relacionados à degradação por agentes biológicos.

Soares (2015) destaca que a escolha dos materiais de construção adequados também desempenha um papel fundamental na prevenção da degradação por agentes biológicos em alvenarias. Materiais como tijolos cerâmicos, que possuem baixa porosidade e absorção de água, são menos suscetíveis ao crescimento de fungos e bactérias e, portanto, mais resistentes à degradação biológica.

Por fim, Pauletti (2007) enfatiza a importância da educação e conscientização dos proprietários e usuários das edificações sobre a importância da prevenção da degradação por agentes biológicos. A implementação de práticas de manutenção adequadas e o uso de produtos específicos para combater o crescimento de fungos e bactérias podem ajudar a preservar a integridade das estruturas de alvenaria ao longo do tempo.

A carbonatação é uma das manifestações patológicas mais comuns em estruturas de concreto armado e é causada pela reação entre os componentes de hidratação do cimento e o dióxido de carbono (CO₂) presente na atmosfera (Souza & Ripper, 2005). Esse processo químico resulta na redução do pH do concreto, o que compromete a camada passivadora das armaduras metálicas e aumenta sua suscetibilidade à corrosão (NBR 6118:2014).

Conforme Araújo (2009), a carbonatação do concreto é um fenômeno que ocorre naturalmente ao longo do tempo, mas pode ser acelerado por fatores como a exposição a ambientes de alta umidade e a presença de agentes agressivos, como cloretos e sulfatos. A profundidade da carbonatação depende da porosidade e da permeabilidade do concreto, sendo mais pronunciada em regiões com elevada concentração de CO₂.

Para mitigar os efeitos da carbonatação em estruturas de concreto armado, são adotadas diferentes medidas corretivas. Souza & Ripper (2005) mencionam a restauração da alcalinidade do concreto como uma opção viável, que pode ser realizada por meio de técnicas como a realcalinização química, realcalinização eletroquímica ou fluxo eletro-osmótico.

Esses processos visam restabelecer o pH alcalino do concreto, aumentando a resistência à corrosão das armaduras.

Além disso, a aplicação de revestimentos protetores também é uma medida comum para prevenir a carbonatação em estruturas de concreto. Bastos (2015) destaca que revestimentos à base de epóxi ou poliuretano podem criar uma barreira física que impede a penetração do CO₂ no concreto, protegendo as armaduras da corrosão. No entanto, é importante ressaltar que a eficácia desses revestimentos depende da sua aplicação adequada e da manutenção regular da estrutura.

Em suma, a carbonatação é uma manifestação patológica que requer atenção e medidas preventivas para garantir a durabilidade e a segurança das estruturas de concreto armado. A combinação de técnicas de restauração da alcalinidade do concreto e aplicação de revestimentos protetores pode ajudar a minimizar os efeitos desse processo corrosivo, prolongando a vida útil das edificações (Pauletti, 2007).

A corrosão das armaduras é uma das principais preocupações em estruturas de concreto armado e ocorre quando as armaduras metálicas são expostas a um meio agressivo que compromete a camada apassivadora do concreto, permitindo a sua oxidação (NBR 6118:2014). Esse processo de degradação pode ser desencadeado por diversos fatores, incluindo a presença de íons cloreto, a umidade, a carbonatação do concreto e a exposição a ambientes marinhos ou industriais (Araújo, 2009).

De acordo com Soares (2015), a corrosão das armaduras pode comprometer significativamente a capacidade de carga e a durabilidade das estruturas de concreto, aumentando o risco de colapso e colocando em perigo a segurança dos ocupantes. Por isso, é fundamental adotar medidas preventivas para minimizar os efeitos desse processo corrosivo e garantir a integridade das edificações.

Uma das medidas corretivas mais comuns para combater a corrosão das armaduras é o revestimento das armaduras expostas com tintas anticorrosivas. Esses revestimentos formam uma barreira física que protege as armaduras da ação dos agentes agressivos, impedindo a sua oxidação (Bastos, 2015). No entanto, em casos mais graves em que a corrosão compromete a integridade estrutural das armaduras, pode ser necessário substituir as partes danificadas para garantir a estabilidade da estrutura (Pauletti, 2007).

2.2 Termografia infravermelha

A termografia infravermelha tem se destacado como uma ferramenta valiosa na engenharia civil para a identificação de patologias em edificações e estruturas. Por meio da captura e análise da radiação térmica emitida pelos diversos componentes das construções, essa técnica oferece uma abordagem não invasiva e precisa para detectar anomalias como umidade, infiltrações, falhas de isolamento térmico e outros problemas ocultos (Maldague, 2001).

O principal benefício da termografia infravermelha reside na sua capacidade de fornecer uma avaliação visual e quantitativa das variações de temperatura em diferentes áreas das estruturas (Silva et al., 2019). Essa análise permite a identificação precoce de problemas, antes mesmo que se tornem visíveis a olho nu ou causem danos estruturais significativos. Além disso, proporciona uma vantagem considerável em relação a métodos tradicionais de inspeção, pois não requer a interrupção das operações ou a remoção de revestimentos para avaliar a condição das superfícies (Pimenta et al., 2015).

Ao realizar inspeções termográficas periódicas, é possível monitorar a evolução das condições das edificações ao longo do tempo e adotar medidas preventivas para garantir sua segurança, durabilidade e eficiência energética (Pimenta et al., 2015). Além disso, a termografia infravermelha possibilita uma avaliação abrangente das construções, fornecendo informações detalhadas sobre o desempenho térmico dos materiais, a eficácia do isolamento e a presença de pontes térmicas, contribuindo para a otimização do projeto e a redução do consumo de energia (Maldague, 2001).

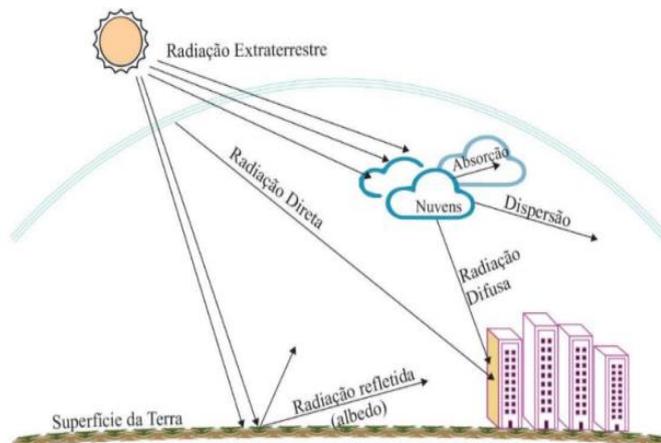
2.3 Condicionantes Climáticos

2.3.1 Radiação Solar

De acordo com Lamberts et al (2013), a radiação solar representa a principal fonte de energia térmica do planeta, que a partir de sua trajetória e interação com a atmosfera, incide sobre a terra e divide-se em três partes: direta, difusa e refletida.

A radiação direta é aquela que atinge a atmosfera em uma trajetória direta, sem ser dispersa ou refletida. Já a radiação difusa é dispersa pela atmosfera e chega à superfície de várias direções. A radiação refletida atinge a superfície e é refletida sem ser absorvida pela atmosfera. Rios (2019) afirma que no estudo de fachadas é importante o conhecimento da radiação e trajetória solar, devido às suas diferentes orientações recebem distintas quantidades de radiação solar e calor que uma fachada recebe, sendo que essas características influenciam diretamente em seu desempenho a longo prazo. Segundo Zanoni (2015), a radiação solar nas superfícies interfere diretamente a temperatura do ar, uma vez que a radiação solar aquece os solos e superfícies por meio do processo de convecção, isso traz uma influência para o surgimento de patologias ligadas à expansão térmica, além de ser relevante também ao estudo da termografia, por se tratar de uma técnica que utiliza a radiação térmica para visualizar e analisar variações de temperatura em superfícies conforme ilustrado na figura 1.

Figura 1. Componentes da radiação solar

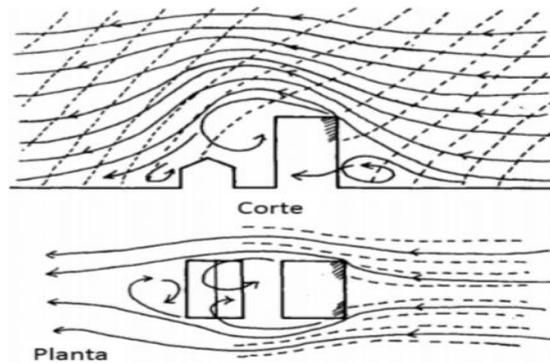


Fonte: (ZANONI, 2015).

2.3.2 Chuva Dirigida

A chuva dirigida é um fenômeno climático composto pela chuva em junção com a ação do vento, fazendo com que a precipitação seja projetada na superfície das fachadas. Segundo Straube e Burnett (2000), a chuva dirigida é considerada a maior fonte de umidade que as fachadas podem receber do meio externo, devido a possibilidade de infiltração de água nos revestimentos, em virtude disso, a chuva dirigida reflete diretamente no desempenho global da edificação, por propiciar o surgimento de manifestações patológicas ligadas a umidade. O processo de atuação da chuva é dirigido sobre as fachadas de edifícios, que formam uma parábola de molhagem, que surge em função da chuva dirigida, demonstrando como a chuva atua quando impulsionada pelo vento, podendo causar surgimento de manifestações patológicas provenientes da umidade. Bauer (1987) afirma que a penetração da água na fachada depende da natureza do material exposto à umidade, sendo que materiais porosos estão mais suscetíveis à absorção de umidade proveniente da chuva dirigida, conforme ilustrado na figura 2.

Figura 2. Ação da chuva dirigida



Fonte: adaptado de VALEJO, 1990

2.4 Software WUFI®

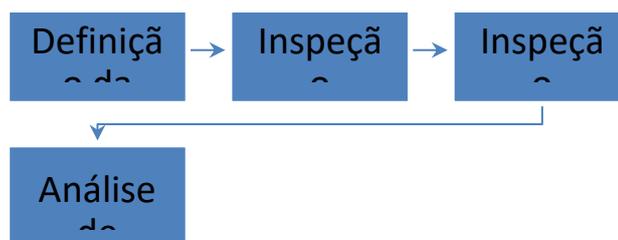
WUFI® é a sigla em alemão para Wärme Und Feuchte Transport Instation, que significa Transporte de Calor e Umidade Transitória em português. Esse é um software de simulação computacional desenvolvido pelo Instituto Fraunhofer na Alemanha. Sua função é determinar as propriedades higrotérmicas dos materiais e as condições climáticas ambientais em diferentes momentos do dia. O WUFI® analisa calor e umidade, levando em conta parâmetros como umidade, chuva e radiação solar.

O estudo das propriedades higrotérmicas usando o WUFI® é muito importante para a aplicação da técnica termográfica, pois essa técnica detecta calor e umidade nas superfícies. Além disso, as condições climáticas influenciam os resultados obtidos, tornando o uso do software essencial para estudos de termografia infravermelha.

3 METODOLOGIA

A metodologia empregada neste estudo baseou-se no procedimento proposto por Lichtenstein (1986) para inspeções prediais, que compreende uma sequência de etapas: inspeção preliminar, inspeção detalhada, diagnóstico, prognóstico e terapia. Demonstrado conforme a figura 3.

Figura 3. Fluxograma das etapas



Fonte: elaboração pelos autores

Inicialmente, foi realizada uma inspeção preliminar para identificar áreas de interesse e planejar a coleta de dados. Em seguida, foi conduzida uma inspeção detalhada, utilizando a termografia por infravermelho como principal técnica de análise. Esta técnica permitiu a obtenção de imagens térmicas das fachadas e estruturas das edificações estudadas.

A etapa de inspeção detalhada envolveu o processamento dos dados obtidos na inspeção preliminar. Foram analisadas fotos das fachadas em diferentes horários do dia, com o objetivo de relacionar a incidência solar ao surgimento de manifestações patológicas e identificar elementos estruturais ocultos. Para isso, foi utilizada uma câmera termográfica modelo Flir One Pro LT, juntamente com o software FLIR ONE para o processamento das imagens.

As análises termográficas foram realizadas por meio de visitas ao Campus I da UNIRG, localizado no município de Gurupi, Tocantins. Durante essas visitas, foram registradas as imagens termográficas das fachadas e elementos estruturais das edificações, com o objetivo de identificar possíveis anomalias térmicas relacionadas a patologias.

As etapas de prognóstico e terapia não serão abordadas pois o foco do trabalho é a identificação das manifestações para uma eficiência em sua caracterização, e que uma etapa de prognóstico teria que ser aliada a outros ensaios que não estão previstos no escopo desta pesquisa.

Após a coleta de dados, as imagens termográficas foram analisadas para identificar variações anormais de temperatura que pudessem indicar a presença de patologias nas estruturas. Com base nessas análises, foi possível realizar um diagnóstico das condições das edificações e propor medidas corretivas para a manutenção e preservação delas.

4 RESULTADOS

4.1 Área de estudo

O presente estudo buscou identificar manifestações patológicas por meio de um estudo de caso das fachadas do Campus I da Universidade Unirg, situado na Rua Antônio Nunes da Silva, 2195 - Residencial Parque das Acácias, no município de Gurupi. A edificação é composta por paredes de alvenaria, revestimentos argamassados e pintura, além de elementos estruturais de concreto armado e de aço. Vale ressaltar que a NBR 6118 categoriza as edificações de acordo com a classe de agressividade ambiental, onde considera as ações do ambiente para o dimensionamento de estruturas de concreto armado, sendo que a edificação estudada é de classe agressividade ambiental zona rural, com risco de deterioração insignificante.

Figura 4. Unirg - Campus I



Fonte: Google Earth

4.2 Bloco Administrativo

O bloco administrativo abriga as coordenações de cursos, bem como a sede da Reitoria e outras partes administrativas da universidade. Uma análise detalhada da estrutura revelou sua exposição a variações significativas de temperatura ao longo do dia, devido à presença de salas com formatos não retilíneos. Além disso, destaca-se que o edifício possui uma configuração curvilínea, o que contribui para sua exposição prolongada à radiação solar refletida pelo telhado de zinco das passarelas adjacentes, conforme ilustrado na figura 3.

Figura 5. telhado de zinco - bloco administrativo



Fonte: Autores

Nesta análise da face do bloco administrativo, não foram identificadas manifestações patológicas visíveis. No entanto, observou-se uma variação significativa de temperatura entre os diferentes pontos da estrutura, influenciada por diversos fatores, como a orientação em relação ao nascer do sol, a posição geográfica do edifício e a incidência direta e indireta dos raios solares. Notavelmente, os pontos onde a coloração laranja-amarelada é mais pronunciada correspondem às áreas com maior faixa termográfica, indicando uma exposição mais intensa à radiação solar. Essa diferença térmica pode ser atribuída à distribuição desigual de incidência solar ao longo do dia, uma vez que o lado esquerdo do prédio recebe luz solar direta durante toda a jornada, enquanto o lado direito não é exposto da mesma forma. Além disso, é importante ressaltar a presença de uma estrutura reflexiva, representada pelo alambrado metálico das passarelas adjacentes, que contribui para a emissão indireta de calor térmico para a estrutura do bloco administrativo.

Um aspecto peculiar observado neste bloco é a discrepância na distribuição da incidência térmica entre seus lados direito e esquerdo durante o período matutino. Enquanto o lado direito recebe uma quantidade significativa de calor solar, o lado oposto apresenta uma menor exposição, resultando em uma variação térmica de quase 10 graus Celsius entre as duas áreas. Essa discrepância térmica, considerando-se uma única estrutura, é um fenômeno interessante e sugere uma complexa interação entre os elementos arquitetônicos do edifício e os padrões de iluminação solar.

As imagens a seguir oferecem uma visão detalhada de cada uma das faces do edifício, permitindo uma análise mais aprofundada das variações térmicas observadas, Figuras 6 e 7.

Figura 6. Lado esquerdo - bloco administrativo



Fonte: Autor(es)

Figura 7. Lado Direito - bloco administrativo



Fonte: Autor(es)

4.3 Bloco F

O bloco F abriga uma variedade de espaços, incluindo salas de aula, biblioteca e laboratórios. Para esta análise, foram selecionados pontos que representam a maior e a menor incidência térmica na estrutura, sendo eles a biblioteca e o laboratório de desenho técnico, respectivamente. Inicialmente, focou-se na análise do laboratório de desenho técnico, que se caracteriza por uma exposição prolongada aos raios solares durante o período matutino, sem a presença de barreiras que limitem sua incidência direta, como observado em outros blocos do campus.

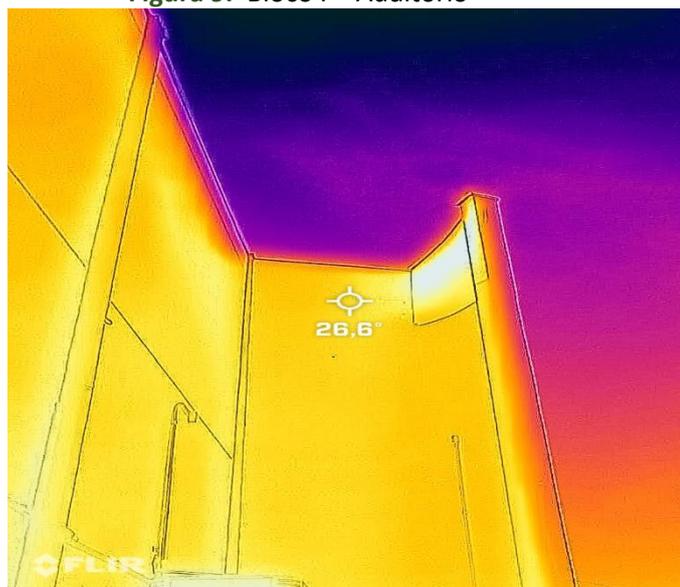
A análise termográfica revelou uma diferença significativa de temperatura entre o interior e o exterior do laboratório. Enquanto a temperatura média interna foi registrada em torno de 34 graus Celsius, a temperatura externa ultrapassou os 36 graus Celsius, indicando uma elevada exposição térmica. Além disso, observou-se uma disparidade na temperatura entre as paredes internas da sala: enquanto uma recebe exposição solar direta ao longo de todo o dia, a outra permanece relativamente abrigada. É importante destacar a intensidade da incidência térmica, especialmente durante as primeiras horas do dia, quando os primeiros raios solares atingem a estrutura. Esses resultados evidenciam os desafios enfrentados pelo laboratório de desenho técnico em relação à regulação térmica e ao conforto ambiental, conforme a Figura 8 e 9.

Figura 8. Bloco F - Parede externa



Fonte: Autor(es)

Figura 9. Bloco F - Auditório



Fonte: Autor(es)

A biblioteca, situada em uma posição oposta ao laboratório de desenho técnico, experimenta uma exposição térmica menor e por um período reduzido em comparação com o primeiro. No entanto, durante a análise termográfica, foram identificados alguns pontos de deterioração na estrutura, possivelmente causados por infiltrações decorrentes do sistema de ar-condicionado. A diferença térmica entre o interior e o exterior da biblioteca é expressiva, com uma variação de temperatura de mais de 10 graus Celsius, conforme observado nas Figuras 10 e 11.

Figura 10. Bloco F - Biblioteca área externa



Fonte: Autor(es)

Figura 11. Bloco F - Biblioteca

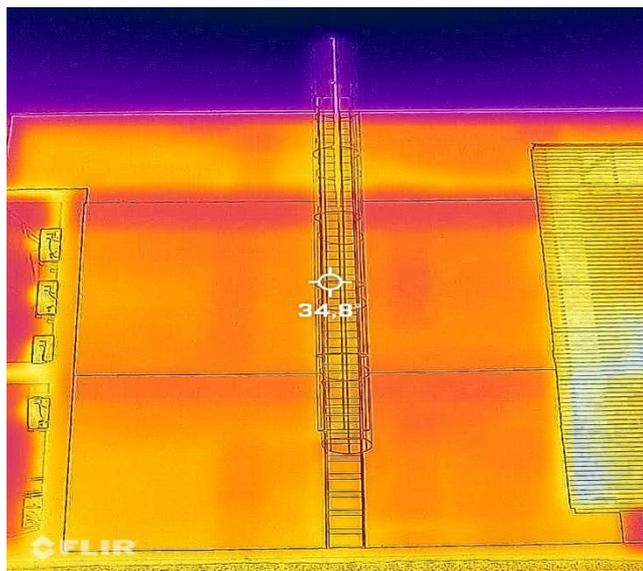


Fonte: Autor(es)

Esses resultados ressaltam a importância de abordar não apenas a exposição direta aos raios solares, mas também outros fatores, como infiltrações, que podem afetar a integridade e o desempenho térmico das edificações. A identificação precoce desses problemas é fundamental para implementar medidas corretivas eficazes e garantir um ambiente interno seguro, confortável e durável.

As salas do bloco F apresentaram um comportamento térmico sem variações bruscas de temperatura entre as áreas internas e externas, apesar da alta incidência de radiação solar durante todo o período da manhã, conforme demonstrado na Figura 12.

Figura 12. BLOCO F - Salas



Fonte: Autor(es)

4.4 Redomas

Nos blocos, existe um complexo em semicírculo onde uma das estruturas apresenta maior exposição a diferenças térmicas em comparação com as outras duas. Essa variação térmica significativa contribui para a presença de fissuras aparentes, resultantes dos processos de dilatação e retração, que afetam especialmente as vigas presentes na estrutura.

Apesar das reformas realizadas, as fissuras permanecem visíveis, indicando que os ciclos térmicos de expansão e contração continuam a exercer uma influência considerável sobre a integridade estrutural. Além das fissuras, é perceptível também um possível destacamento da estrutura, sugerindo que as intervenções realizadas até o momento não foram suficientes para resolver completamente os problemas causados pela variação térmica.

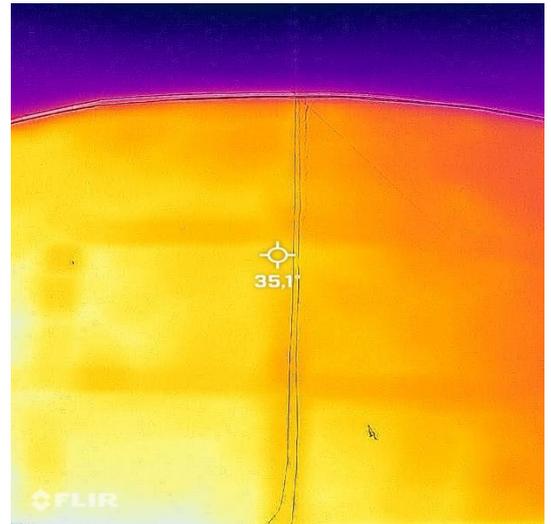
Um aspecto notável é a presença de diferentes radiações térmicas dentro de uma mesma estrutura. Essa diversidade de condições térmicas pode ser atribuída à orientação das fachadas, à qualidade do isolamento térmico e às características dos materiais utilizados na construção. A análise termográfica revelou que as áreas expostas ao sol apresentam temperaturas mais elevadas, enquanto as áreas sombreadas mantêm temperaturas mais baixas. Essa variação acentua o estresse térmico nas estruturas, contribuindo para o surgimento e a propagação de fissuras e outros danos. As Figuras 13 e 14 evidenciam ainda o surgimento da fissura relativa a uma interface entre elemento estrutural e alvenaria de vedação no elemento construído, evidenciando um gradiente térmico severo, que degrada o elemento.

Figura 13. Redoma 1



Fonte: Autor(es)

Figura 14. Redoma 1



Fonte: Autor(es)

Figura 15. Redoma 2



Fonte: Autor(es)

Figura 16. Redoma 2

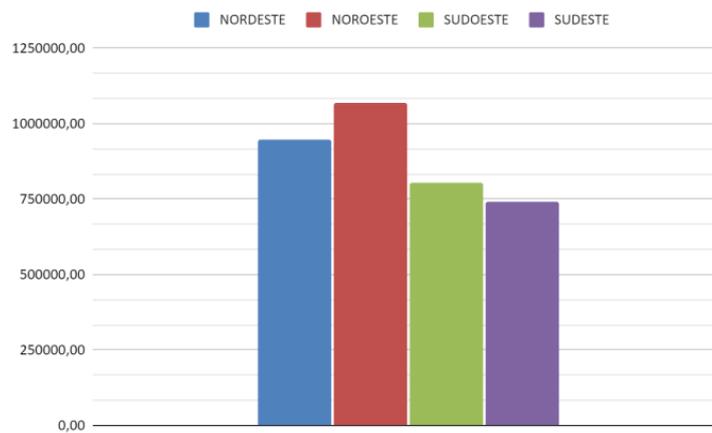


Fonte: Autor(es)

4.5 Resultados WUFI®

Os resultados obtidos das análises no software WUFI® forneceram informações, destacadas nas figuras subsequentes: Figura 17, que apresenta dados sobre a chuva anual acumulada em cada fachada.

Figura 17. Gráfico de Chuva Anual Acumulada (mm).

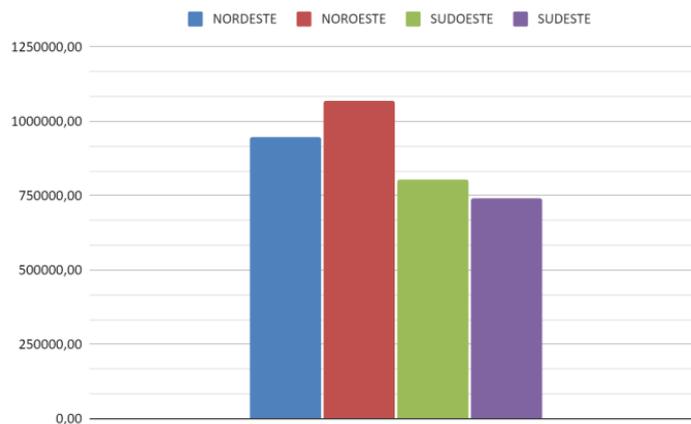


Fonte: Autor(es)

A Figura 17 apresenta um comparativo da incidência anual acumulada de chuva dirigida em cada uma das direções das fachadas. Foram obtidos os seguintes dados de precipitação: nordeste com 91,06 mm; noroeste com 83,38 mm; sudoeste com 42,01 mm; e sudeste com 37,28 mm. A precipitação na fachada nordeste é 9,22% maior do que a da fachada noroeste, 116,76% maior que a do sudoeste e 144,26% superior à da sudeste. Esses dados indicam que as fachadas voltadas para o nordeste são mais propensas ao surgimento de manifestações patológicas relacionadas à umidade, por receberem a maior parte das chuvas dirigidas ao longo do ano, o que foi de fato detectado na inspeção de campo.

A figura 18 ilustra os resultados de análises de radiação ao longo do ano para a região em questão.

Figura 18. Gráfico de Radiação Total Acumulada Anual (w/m²)



Fonte: Autor(es)

A radiação total acumulada anual, medida em W/m^2 , é a quantidade total de radiação solar recebida por uma determinada área ao longo de um ano. Esse valor depende de fatores como localização geográfica, orientação e inclinação das fachadas, presença de sombras e obstáculos, além das condições climáticas específicas da região. Observou-se que as fachadas que recebem maior incidência de radiação total acumulada anual, em ordem decrescente, são: noroeste, nordeste, sudoeste e sudeste. A fachada noroeste recebe a maior incidência solar, sendo 36,76% maior do que a nordeste, 142,35% maior que a sudoeste e 260,45% maior do que a sudeste. Esta fachada também sofre a maior incidência de chuva dirigida, o que evidencia a importância das medidas de prevenção de manifestações a serem adotadas por profissionais da região nesta orientação.

Figura 19. Gráfico de Radiação Direta Acumulada Anual (W/m^2)



Fonte: Autor(es)

A radiação direta acumulada anual, medida em w/m^2 , representa a quantidade total de radiação solar direta que atinge uma área específica ao longo de um ano. Com base na figura 16, pode-se afirmar que as fachadas noroestes recebem maior radiação solar direta no decorrer do ano, sugerindo uma maior exposição dessas superfícies aos efeitos potenciais de degradação dos materiais, e comparada às demais, a fachada noroeste recebe maior radiação solar direta acumulada anual, representando 12,95% superior à fachada nordeste; 33,43% superior à fachada sudoeste e 44,55% superior à fachada sudeste.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho evidenciou a relevância da aplicação de técnicas de termografia infravermelha na inspeção de edificações, destacando sua eficácia na detecção precoce de patologias construtivas. A termografia infravermelha mostrou-se uma ferramenta não invasiva e precisa, capaz de identificar anomalias como umidade, infiltrações e falhas de isolamento térmico. Esses problemas podem ser diagnosticados com precisão, permitindo uma análise visual e quantitativa das variações de temperatura nas superfícies das edificações.

A utilização do software WUFI para a análise do comportamento hidrotérmico das fachadas, correlacionando dados climáticos como radiação solar e ciclos de chuva, revelou-se fundamental para um diagnóstico mais completo das patologias construtivas. Esta abordagem metodológica proporcionou uma compreensão mais profunda das influências ambientais sobre as edificações, enriquecendo o estudo com dados precisos e relevantes.

Conclui-se que, ao aliar as técnicas de termografia com a análise climática com o software WUFI, é possível identificar a fachada noroeste como a mais propensa à degradação. Esta orientação deve ter sua manutenção preventiva otimizada, com a finalidade de aumentar a durabilidade das edificações em questão.

A adoção da termografia infravermelha na engenharia civil representa um avanço significativo na manutenção preditiva e na gestão da qualidade das construções. A detecção precoce de problemas e a análise detalhada das fachadas são fundamentais para garantir a durabilidade, a segurança e o conforto das edificações. Portanto, recomenda-se fortemente a incorporação dessa tecnologia em programas de manutenção de edificações, especialmente em instituições educacionais, onde a preservação das condições estruturais é crucial para o bom andamento das atividades acadêmicas.

REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 15575: **Edificações habitacionais — Desempenho**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013.

Araújo, J. B. **Patologia das construções: conceitos, métodos e aplicação**. Oficina de Textos, 2009.

Bastos, P. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. Pini, 2015.

Costa, R. S., & Almeida, J. P. "**Termografia na engenharia civil: Aplicações e benefícios**." *Revista de Tecnologia e Construção*, 12(2), 85-97, 2018.

Fernandes, P. R., et al. "**Aplicações da termografia infravermelha na inspeção de edificações**." *Revista Engenharia Estrutural*, 18(4), 223-234, 2019.

Gomes, L. A., & Freitas, S. M. "**Manutenção preditiva em edificações: Técnicas e resultados**." *Revista de Manutenção e Gestão Predial*, 10(1), 33-45, 2019.

Lima, F. S., & Rodrigues, T. L. "**Planejamento de manutenção em edificações**." *Journal of Building Maintenance*, 25(2), 65-78, 2020.

Maldague, X. **Theory and Practice of Infrared Technology for Nondestructive Testing**. Wiley-Interscience, 2001.

Melo, A. C., et al. "**Importância da inspeção visual em edificações**." *Revista Técnica de Construção*, 14(3), 45-58, 2017.

NBR 6118:2014. **Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014.

Oliveira, R. M., & Marques, D. C. "**Inspeção predial: Diagnóstico e prognóstico**." *Revista de Engenharia Civil*, 21(1), 79-92, 2020.

Pauletti, R. **Patologia das estruturas de concreto armado**. PINI, 2007.

Pereira, C. R., & Santos, A. F. "**Prevenção de falhas estruturais em edificações.**" Revista de Estruturas e Construção, 17(2), 123-136, 2021.

Pimenta, S., Ramos, N., Micaelo, R., & Soares, N. "**Application of Infrared Thermography in Non-Destructive Evaluation of Structures.**" Procedia Engineering, 114, 678-685, 2015.

Ribeiro, P. A., et al. "**Inspeções regulares e a sustentabilidade urbana.**" Revista de Planejamento Urbano, 30(1), 45-58, 2022.

Silva, M. L., & Souza, V. F. "**Análise térmica na construção civil.**" Revista de Engenharia Térmica, 16(3), 201-210, 2017.

Silva, R. F., Pereira, A. F., & Oliveira, M. G. "**Application of infrared thermography for the inspection of reinforced concrete structures.**" Infrared Physics & Technology, 99, 76-89, 2019.

Souza, D. C., & Silva, A. P. "**Normas técnicas para inspeção e manutenção predial.**" Revista de Normas Técnicas, 8(4), 67-80, 2018.

Souza, H. A., & Ripper, T. **Patologia das construções.** Oficina de Textos, 2005.

Souza, P., & Silva, A. **Manual de inspeção predial.** Oficina de Textos, 2018.

VALLEJO, F. J. L. **Ensuciamiento de fachadas por contaminación atmosférica; análisis y prevención.** Valladolid: Universidad, Secretariado de Publicaciones, 1990.

WUFI Pro 5.3. IBP - Fraunhofer Institute for Building Physics. Holzkirchen, Germany, 2013.

ZANONI, V.A.G. (2015). **Influência dos agentes climáticos de degradação no comportamento higrotérmico de fachadas em Brasília.** Tese de Doutorado em Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, Brasília, DF, 293