

Autorização concedida ao Repositório Institucional da Universidade de Brasília (RIUnB) pelo organizador do evento e pelo autor para disponibilizar o trabalho, com os seguintes termos: disponível sob Licença Creative Commons 4.0 International, que permite copiar, distribuir e transmitir o trabalho, desde que seja citado o autor e licenciante. Não permite o uso para fins comerciais nem a adaptação desta.

REFERÊNCIA

MAXIMO, Marco Aurélio da Silva; PANTOJA, João da Costa. Aplicação da termografia infravermelha para identificar patologias em edifícios de arquitetura monumental. In: CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE PATOLOGIA E REABILITAÇÃO DE ESTRUTURAS - CINPAR 2017, 13., 2017, Crato, CE. **Anais eletrônicos...** Crato: URCA; UFCA; UVA; FAP, 2017. v. 3. p. 5-18. Disponível em:
<<http://www.urca.br/novo/portal/docs/pdf/2017/Eventos/CINPAR/CINPAR-Vol-III.pdf>>.
Acesso em: 18 dez. 2017.

Cinpar
2017

XIII CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE PATOLOGIA E REABILITAÇÃO DE ESTRUTURAS

Volume III Procedimentos

ISBN: 978-85-65425-32-2

07 a 09 de Setembro de 2017
Centro de Convenções do Cariri
Crato - Ceará - Brasil

REALIZAÇÃO



Universidade Regional
do Cariri - URCA



UNIVERSIDADE FEDERAL
DO CARIRI



UNIVERSIDADE ESTADUAL
VALE DO ACARAÚ



FAP
Faculdade Paraíso - CE

APRESENTAÇÃO

Para o especialista em patologia das construções é fundamental o conhecimento da tecnologia dos materiais utilizados, os métodos de ensaios a serem realizados, os sistemas de medições da geometria das estruturas, das diversas deformações e, obviamente, os recursos da resistência dos materiais e do cálculo estrutural. Muitos desses métodos apresentam uma acelerada evolução e é bastante intensa a velocidade com que aparecem novos materiais e técnicas para o estudo das patologias, assim como para a execução dos trabalhos de reabilitação e reforços. Considerando a importância do conhecimento das manifestações patológicas nas estruturas, suas causas e principais técnicas empregadas na recuperação destas estruturas, as instituições de ensino superior URCA, UFCA, UVA e FAP promoveram no período de 7 a 9 de setembro de 2017, o **XIII CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE PATOLOGIA E REABILITAÇÃO DE ESTRUTURAS - CINPAR 2017**.

O CINPAR 2017 representa uma importante etapa para aquisição de novos conhecimentos, técnicas e tecnologias que sejam de grande valia para a realização dos trabalhos de restauração e recuperação das estruturas. Tem por objetivo geral promover a divulgação de novos conhecimentos sobre as manifestações patológicas das estruturas, suas causas e efeitos, assim como os mais modernos procedimentos e materiais utilizados na recuperação das estruturas.

Dentre os pesquisadores/palestrantes que compartilharam seus conhecimentos, estiveram presentes:

- Prof. Angel Oshiro (Argentina)
- Prof. Eduardo Ballan Ballan (Espanha)
- Prof. Elton Bauer (Brasil)
- Prof. Esequiel Mesquita (Brasil)
- Prof. Gibson Meira (Brasil)
- Prof. Humberto Varum (Portugal)
- Profª Irani Clezar Mattos (Brasil)
- Prof. Jefferson Luiz Alves Marinho (Brasil)
- Prof. Marcelo Marquez Marambio (Chile)
- Profª Maria Positieri (Argentina)

COMITÊ ORGANIZADOR

Presidente Geral: Francisco Carvalho de Arruda – UVA – IEMAC (Brasil)

Vice-presidente: Humberto Varum – FEUP (Portugal)

Presidente Local: Jefferson Luiz Alves Marinho – ITEC – URCA (Brasil)

Janeide Ferreira Alencar de Oliveira – ITEC – URCA (Brasil)

Antonia Fabiana de Almeida – UFCA (Brasil)

Sofia Leão Carvalho – FAP (Brasil)

COMITÊ CIENTÍFICO

Presidente: Jefferson Luiz Alves Marinho – ITEC – URCA (Brasil)

Alexandre Araujo Bertini – UFC (Brasil)

Angel Oshiro – UTN – FRC (Argentina)

Antonia Fabiana de Almeida – UFCA (Brasil)

Antonio Nobre Rabelo – URCA (BRASIL)

Eduardo Ballán – UCJC (España)

Enio Pazini Figueiredo – ECC-UFG (Brasil)

Esequiel Mesquita – Universidade Do Porto (Portugal)

Francisco Carvalho de Arruda Coelho – UVA (Brasil)

Gibson Rocha Meira – IFPB (Brasil)

Humberto Varum – FEUP (Portugal)

Jefferson Heráclito Alves de Souza – URCA (Brasil)

José Luís Rangel Paes – Universidade Federal de Viçosa (Brasil)

Maria Josefina Positieri – UTN – FRC (Argentina)

Renato de Oliveira Fernandes – URCA (Brasil)

Soledad Gómez Lorenzini – PUC (Chile)



APLICAÇÃO DA TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA PARA IDENTIFICAR PATOLOGIAS EM EDIFÍCIOS DE ARQUITETURA MONUMENTAL

Infrared Thermography Application To Identify Pathologies On Monumental Architecture Buildings

Marco Aurélio da Silva MÁXIMO¹, João da Costa PANTOJA²

¹ Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional, Brasília, Brasil, marco.aurelio.maximo@gmail.com

² Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, joaocpantoja@gmail.com

Resumo: A termografia infravermelha representa a possibilidade de realizar registros gráficos da temperatura de objetos os mais variados. Ícones da arquitetura moderna e monumental, e também do uso do concreto armado no Brasil, vários edifícios em Brasília já têm mais de cinquenta anos e apresentam diversas manifestações patológicas. Este artigo traz um estudo da aplicação da termografia infravermelha para identificação de patologias e do estado de conservação nos elementos de concreto armado do Palácio da Justiça Raymundo Faoro. A partir dos registros termográficos foi possível avaliar o comportamento térmico de diversas patologias e compará-las com estudos anteriores que não usaram dessa técnica. Neste estudo a termografia infravermelha se mostrou útil como auxiliar capaz de proporcionar informações para a manutenção e conservação da edificação, evidenciando o comportamento térmico de elementos estruturais, o posicionamento de patologias em relação a elementos estruturais ocultos, a presença de infiltrações, manchas e os gradientes térmicos capazes de comprometer a estrutura.

Palavras-chave: Termografia infravermelha, patologia das edificações, arquitetura monumental, Palácio da Justiça Raymundo Faoro.

Abstract: Infrared thermography represents the possibility of making graphic records of the temperature of objects that are most varied. Icons of modern and monumental architecture, as well as the use of reinforced concrete in Brazil, several buildings in Brasilia are already more than fifty years old and present different pathological manifestations. This paper presents a study of the application of infrared thermography for the identification of pathologies and the state of conservation in the reinforced concrete elements of the Raymundo Faoro Palace of Justice. From the thermographic records, it was possible to evaluate the thermal behavior of several pathologies and to compare them with previous studies that did not use this technique. In this study infrared thermography proved useful as an aid capable of providing information for the maintenance and conservation of the building, showing the thermal behavior of structural elements, the positioning of pathologies in relation to hidden structural elements, the presence of infiltrations, spots and the thermal gradients capable of compromising the structure.

Keywords: Infrared thermography, buildings pathologies, monumental architecture, Palace of Justice Raymundo Faoro.



1. Introdução

Segundo a definição da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (2016), a termografia por infravermelho é o método de medição de temperatura, sem contato, que torna possível a obtenção de imagens térmicas, os chamados termogramas, de um componente, equipamento ou processo. Isso se dá a partir da radiação infravermelha emitida pelos objetos. A termografia pode ser ativa ou passiva: a primeira requer estímulo térmico adicional de uma fonte externa, e tal estímulo pode ser óptico, por ultrassom, indutivo, micro-ondas ou pelo uso de outra fonte de energia; a segunda mede a radiação infravermelha emitida pelos objetos sem a necessidade de estímulos térmicos adicionais de fontes externas. A detecção da radiação infravermelha ocorre por meio de câmera termográfica, que a converte em sinais eletrônicos, que são processados de modo a formar as imagens relacionadas à distribuição de temperatura aparente do objeto.

Ainda de acordo com ABNT (2016) as câmeras termográficas permitem a realização da inspeção termográfica, que é uma inspeção não destrutiva e não intrusiva, fornecendo informações relativas à condição operacional de um componente, equipamento ou processo. Enquanto as inspeções qualitativas são baseadas na análise de padrões térmicos para detectar as anomalias, as inspeções quantitativas são baseadas no uso de valores específicos de temperatura, para determinar a criticidade das anomalias e estabelecer prioridades de intervenção e reparos.

A termografia por infravermelho pode ser aplicada no monitoramento e no diagnóstico das condições dos edifícios, e ainda possibilita a identificação precoce de anomalias evitando o agravamento e o aumento de custos de reparo. Segundo FLIR (2011), a termografia aplicada aos edifícios pode ser fornecer informações sobre visualização de perdas de energia, detecção de falhas ou ausência de isolamento térmico, vazamento de ar, identificação de fontes de umidade, detecção de mofo, detecção das chamadas pontes térmicas, localização de infiltração, localização de tubulações, localização de elementos e estruturas ocultas, falhas construtivas e falhas em sistemas elétricos.

Na identificação de anomalias de edificações, principalmente nas fachadas, Cerdeira *et al.* (2011) ressalta ainda que o uso da termografia infravermelha apresenta vantagens em relação aos métodos tradicionais e inspeção visual, que requerem a instalação de estruturas temporárias, tais como andaimes, ou o uso de técnicas perigosas, como a escalada.

De acordo com Moreira (2007), os efeitos térmicos da variação de temperatura no concreto podem ser relevantes. Pelo fato do concreto possuir características de baixa resistência à tração, quando submetido a esse tipo de tensão, torna-se mais suscetível à ação da variação da temperatura. As tensões provocadas pelos gradientes térmicos, a depender da intensidade, podem atingir facilmente a resistência à tração do concreto, com possibilidade de provocar fissuração.

Para Lima e Morelli (2003) o comportamento da estrutura diante de diferenciais térmicos depende das dimensões dos elementos que se estabelecem um gradiente entre a estrutura e o ambiente. De modo geral, em diferentes partes através da estrutura o concreto não responde com a mesma intensidade às variações ambientais, em razão de sua baixa condutividade térmica e depende ainda das diferenças entre os extremos de



temperatura máxima e mínima em cada lugar. Essas variações térmicas, sejam diárias, mensais ou anuais, podem ser significativas, pois o concreto endurecido pode não ser capaz de absorver essas deformações provocadas pelo efeito térmico.

Este estudo avaliou a aplicação da termografia infravermelha para identificação de patologias e do estado de conservação nos elementos de concreto armado do Palácio da Justiça Raymundo Faoro, um dos ícones da arquitetura moderna e monumental, e também do uso do concreto armado no Brasil, em Brasília.

Medeiros e Ferreira (2012) afirmam que assim como em outros países, o reconhecimento da arquitetura modernista como objeto de preservação começa no Brasil pela eleição de ícones individuais. A Igreja de São Francisco de Assis na Pampulha (1947), o Catetinho (1959) e a Catedral Metropolitana de Brasília (1967) são edifícios que iniciaram um processo de social da construção do patrimônio moderno. O foco de uma prática de preservação passa então para outros bens culturais culminando com a inscrição de Brasília, a capital brasileira, em 1990 pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional - IPHAN, três anos após seu reconhecimento como Patrimônio Cultural Mundial pelas UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura. Conforme Schlee e Ficher (2010), o Palácio foi projetado pelo arquiteto Oscar Niemeyer em 1962. Localizado na Esplanada dos Ministérios, é a sede do Ministério da Justiça. Como sugerido por Lucio Costa, tanto o Palácio da Justiça como o Palácio Itamaraty, sede do Ministério das Relações Exteriores, foram projetados diferentemente dos demais ministérios, como forma de criar uma diferenciação na Esplanada.

Em termos arquitetônicos, Rosseti (2012) descreve que o Palácio da Justiça possui volumetria equivalente ao Palácio Itamaraty para equilibrar o conjunto arquitetônico da Esplanada e fazer o contraponto com os demais palácios e ministérios. Apresenta planta quadrada e arcada em concreto aparente, com espelho d'água e jardins aquáticos de Burle Marx. O edifício possui cinco pavimentos, com planta-livre que possibilita diversos arranjos para escritórios, salas, gabinetes e demais locais de trabalho. A superestrutura que define a forma do palácio possui uma singularidade, uma vez que cada uma das faces apresenta solução diferente. A fachada oeste possui um quebra-sol vertical com planos de concreto, a leste possui pilares retangulares, a fachada norte com arcos plenos e a fachada sul com semi-arcos e seis cascatas em concreto armado, num arranjo assimétrico, vertendo água sobre o jardim aquático, como parte dos recursos plásticos do edifício.

A Figura 1 mostra as emblemáticas fachadas oeste e sul, com os brises, as cascatas, o jardim aquático e os semi-arcos tão emblemáticos.



Figura 1 – Fachadas oeste e sul – Brises, cascatas, jardim aquático e os semi-arcos.

A construção do palácio começou em outubro de 1965, foi aberto somente em julho de 1972, após várias interrupções. Em 1985, Niemeyer fez uma importante intervenção no prédio exigindo o retorno do desenho original retirando o revestimento de mármore branco das fachadas, originalmente concebido em concreto liso, e a reformulação dos arcos da fachada principal de frente para a Esplanada (fachada sul), erroneamente construídos como arcos completos, pois o projeto original usava semi-arcos, Moreira (2007). Em 3 de julho de 2003, o Palácio foi renomeado para o Palácio da Justiça Raymundo Faoro em homenagem ao jurista e historicista brasileiro que morreu em 15 de maio de 2003.

Em termos estruturais, Moreira (2007) descreve o Palácio da seguinte forma: na fachada sul possui nove semi-arcos que ligam pilares extremamente esbeltos, espaçados a cada seis metros e meio. O *brise-soleil* da fachada oeste é formado por uma sequência de lâminas de concreto, indo do chão ao topo do edifício, com espessuras, angulações e vãos variáveis, conforme Figura 2. A fachada leste possui sete pilares esbeltos espaçados a cada treze metros. As lajes do núcleo foram projetadas como nervuradas, com vigas de meio metro de altura, com contra-flecha de três centímetros em alguns pontos. No terceiro pavimento, em razão do jardim interno, foram realizadas transições na estrutura. Pilares espaçados a cada quarenta e cinco centímetros formam um espécie de brise, iniciando na viga-faixa do terceiro pavimento indo até a cobertura, e recebendo as vigas do pergolado. Na cobertura existem vigas contínuas de um metro e trinta de altura no menor vão (de setenta e cinco metros) com vãos que chegam a dezoito e trinta e dois metros sobre o jardim interno e estão apoiadas em vigas-faixa com vão de treze metros. Na cobertura as contra-flechas chegam a cinco centímetros.

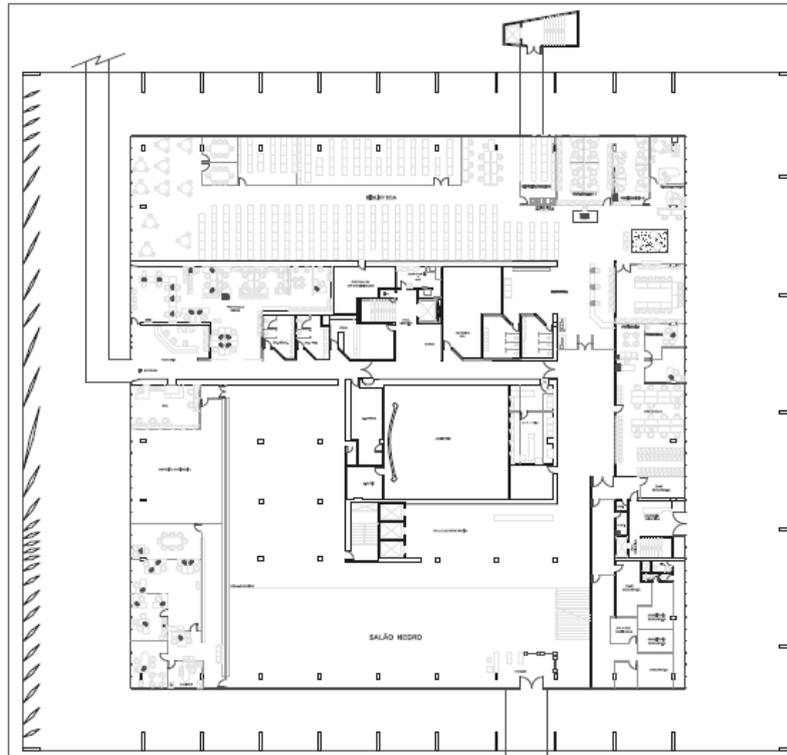


Figura 2 – Planta Baixa do térreo – posicionamento dos brises à esquerda, pilares e da varanda

Sobre o detalhamento de seus elementos, Inojosa e Buzar (2010) descrevem que o edifício consiste em um bloco retangular com dimensões de oitenta e quatro por setenta e cinco metros. O teto cria uma varanda que rodeia o edifício com duas larguras diferentes: sete metros nas fachadas leste e oeste e onze metros nas fachadas norte e sul. Esta varanda protege do sol um plano quadrado com sessenta e um metros e dez centímetros de lado, com cinco andares de altura e um subsolo.

A análise do Palácio da Justiça Raymundo Faoro com o uso da técnica de termografia infravermelha, de forma passiva e qualitativa, para a identificação de patologias e do estado de conservação nos elementos de concreto armado das fachadas, incluindo os brises, os pilares, vigas de bordo, laje da cobertura e as cascatas, permitiu identificar o comportamento térmico de diversas patologias já identificadas em estudos anteriores e no inventário do Palácio, identificar o posicionamento de algumas patologias em relação a elementos estruturais não visíveis e ocultos. Foi possível avaliar a contribuição da inspeção termográfica como técnica auxiliar na identificação de patologias presentes em estruturas de concreto armado, se mostrando uma ferramenta valiosa em inspeções de edifícios, permitindo a detecção de patologias e anormalidades na estrutura de forma rápida e prática.



2. Metodologia

O desenvolvimento do trabalho baseou-se em realização de uma revisão bibliográfica sobre a edificação e sobre o uso da termografia infravermelha como técnica não destrutiva e auxiliar no diagnóstico de patologias em estruturas, na visita *in loco* para a inspeção termográfica dos elementos estruturais das fachadas do edifício, reunião com o pessoal do setor de arquitetura e engenharia do Palácio para entrevista a fim de obter informações sobre históricos de intervenções, e na análise das imagens fotográficas, imagens térmicas (termogramas) e informações do inventário da edificação e do levantamento de dados patológicos de estudos anteriores.

3. Anamnese, Resultados e Discussões

Segundo o Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional - IPHAN (2013) o inventário realizado indicou que a estrutura do Palácio da Justiça Raymundo Faoro (edifício sede) apresentava diversas patologias, entre elas: infiltrações, manchas, fissuras e corrosões acentuadas das armaduras. Na laje de cobertura foi diagnosticado o acúmulo de água pluvial com formação de poças, manchas escurecidas, perda de camada impermeabilizante, trincas e corrosões acentuadas das armaduras. Concluiu ainda que a edificação apresentava graves problemas que deveriam receber tratamento imediato e urgente, além de indicar uma investigação mais aprofundada sobre os processos degenerativos.

Ao realizar a inspeção do Palácio para a aplicação da metodologia GDE/UnB para a quantificação do grau de deterioração de estruturas de concreto, Moreira (2007) já havia identificado diversas patologias nos elementos estruturais. Os elementos das fachadas, tais como pilares, vigas, brises, apresentavam grande variedade de patologias. Os pilares apresentavam incidência de manchas superficiais, corrosão de armaduras e deficiência de cobertura do concreto. As vigas de bordo da cobertura apresentavam problemas de corrosão de armaduras, deficiência no cobertura do concreto e presença de eflorescência. As lajes dos avarandados apresentavam fissuras, eflorescência e manchas. As cascatas por sua vez evidenciavam cobertura deficiente e corrosão de armaduras. Os semi-arcos sofriam com cobertura deficiente, corrosão de armaduras e manchas, assim como os arcos plenos da fachada norte.

Em entrevista realizada com o setor de arquitetura e engenharia do Palácio, em 10/05/2017, o mesmo informou que desde a realização do inventário em 2013 nenhuma intervenção significativa havia sido executada nos elementos de concreto armado da fachada. Portanto o estado de deterioração geral só piorou em comparação com a situação à época do inventário, o que pode ser comprovado durante as visitas e em comparação com as imagens do inventário.

Em outra visita técnica ao Palácio, 06/05/2017, a coleta das imagens (térmicas e comuns) se deu entre as 08:30h e 10:30h. Para a captura das imagens térmicas (termogramas) foi utilizado o termovisor FLIR E40 e para as imagens fotográficas a câmera NIKON D 300, cujas características estão no Quadro 1.

**Quadro 1** – Características do termovisor FLIR E40 e da câmera NIKON D300

Item	FLIR E40 Valores e Faixas	NIKON D300 Valores e Faixas
Resolução	160 x 120 pixels	12 Megapixel
Sensibilidade	< 0.07 °C	ISO de 03 do ISO 100 a ISO 6400
Precisão de leitura	+ - 2° C ou 2% de leitura	-
Faixa de temperatura	de - 20° C a 650° C	-
Lente	Padrão 25°	NIKKOR AF-S 18–200 mm, f 3.5-5.6, DX, ø 72
Sensor	-	CMOS 23.6 x 15.88 mm
Pontos de focagem	-	até 51 pontos

O termovisor foi ajustado com os seguintes parâmetros: emissividade igual a 0.95 (concreto seco); temperatura refletida igual a 28° C, umidade relativa igual a 60%; temperatura atmosférica igual a 20° C; distância até o objeto sendo variável de um a quinze metros. As condições climáticas foram inseridas a partir de dados climáticos para Brasília naquele dia a partir de informações disponíveis na *internet*.

Foi realizada inspeção qualitativa dos elementos externos da edificação, ou seja, baseada na análise de padrões térmicos para detectar anomalias. Na inspeção foi aplicada a técnica termográfica passiva, pois os materiais e elementos foram estimulados por uma fonte natural de calor, no caso a energia solar. A seguir foi realizada a análise dos termogramas, verificando a presença ou não de anormalidades nos perfis de distribuição da temperatura dos elementos da edificação.

A realização de termogramas em grandes fachadas e ambientes externos é um processo de tentativa e erro, pois é necessário um certo tempo para que a estrutura aqueça e que elementos e materiais com inércia térmica diferentes possam manifestar diferentes temperaturas e possam ser captados pelo termovisor. Com o passar do dia e do aquecimento de uma fachada, por exemplo, há a tendência de que todos os elementos atinjam a mesma temperatura, não sendo então uma condição favorável à captura das imagens.

Procurou-se identificar visualmente algumas patologias e situações de interesse (furos, ferragens expostas, manchas brancas e negras) e realizar então as imagens termográficas a fim de verificar como essas patologias e situações eram captadas pelo termovisor, ou seja, que tipo de informação era possível obter. Toda a vez que o objeto de interesse ou a distância do operador ao objeto de interesse eram mudados, se fazia necessário ajustar a informação do distanciamento para o equipamento, e tais distâncias variaram de um a quinze metros em média. Durante a previsualização da imagem no termovisor era verificado então que paleta de cores (preto e branco ou colorido) evidenciava melhor a patologia ou o elemento estrutural, conforme Figura 3.



Figura 3 – Fachada Norte – previsualização e escolha da paleta de cores

Considerando que a estrutura passou o período da noite resfriando, buscou-se inicialmente realizar os registros térmicos na fachada oeste (poente), onde estão localizados os brises, pois era de se esperar que a mesma estivesse num processo mais lento de aquecimento que a fachada leste, que já vinha recebendo os raios do sol desde as 06 horas da manhã daquele dia. O objetivo era poder captar melhor os gradientes de temperatura nos brises.

No entanto, conforme Figura 4, os reflexos dos vidros da fachada do edifício do Ministério das Comunicações estavam influenciando a leitura térmica nos brises, e não foi possível obter uma imagem mais ampla que captasse o comportamento térmico dos brises naquele momento.



Figura 4 – Fachada Oeste – reflexos dos vidros da fachada do Ministério das Comunicações influenciando as leituras nos brises

Em alguns casos as imagens em preto em branco evidenciavam melhor as diferenças de temperatura, às vezes as imagens coloridas funcionava. Ao comparar as fotos de estudos anteriores de Moreira (2007) e do inventário percebe-se que as manchas escuras nos brises continuam presentes, assim como o cobrimento deficiente e a corrosão das armaduras. As



manchas escuras são mais presentes nos brises mais próximos ao eixo monumental (próximos à fachada sul). Não foi possível verificar se as manchas escuras apresentam necessariamente um comportamento térmico diferente das áreas adjacentes. Essa característica é um ponto de partida para futuras investigações no âmbito da termografia para verificar se o aparecimento dessas manchas negras tem alguma relação com o gradiente diferencial de temperatura e com as dimensões dos brises. Para esse estudo pode ser necessário avaliar o comportamento térmico desses elementos ao longo de um período de 24 horas por exemplo, de modo a evidenciar o aquecimento e resfriamento durante um ciclo completo de um dia.

Considerando que o comportamento do concreto depende dos diferenciais térmicos, em razão das dimensões dos elementos, que a condutividade térmica acarreta respostas diferentes em diferentes partes da estrutura, e que o comportamento do concreto também é afetado pelas diferenças entre os extremos de temperatura máxima e mínima, a grande amplitude térmica nos brises pode indicar as causas das patologias.

Na Figura 5 é possível verificar que a amplitude térmica da imagem é de 4.1°C entre o centro e a extremidade do brise, onde o centro está numa temperatura mais elevada.

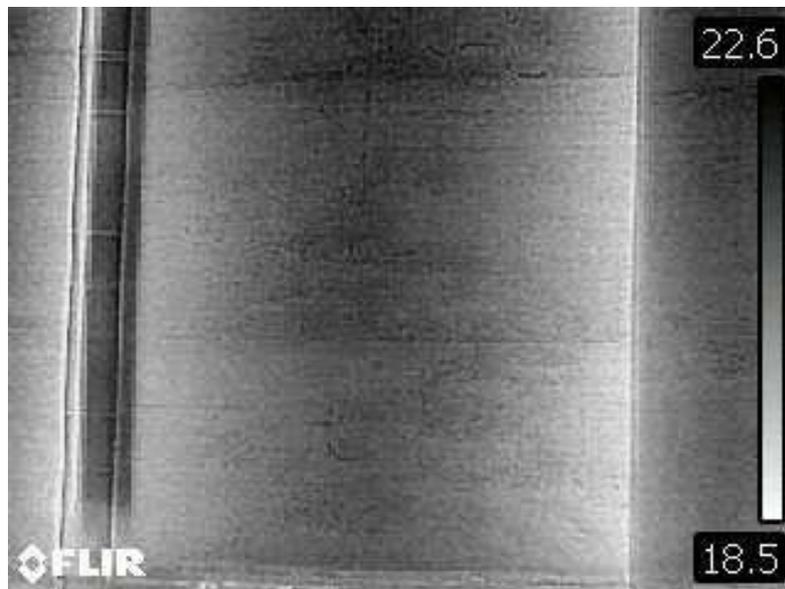


Figura 5 – Fachada Oeste – Brise de posição 13, da esquerda para a direita – concentração de calor na região central ao se comparar com as extremidades

Alguns termogramas evidenciaram elementos estruturais não visíveis a olho nu, tais como vigas invertidas da laje no avarandado da fachada leste. A diferença de temperatura possibilitou delimitar o vigaamento. Foi possível também captar o comportamento térmico e encaminhamento das manchas na laje, desse modo é possível estabelecer o posicionamento das manchas em relação às vigas invertidas (ocultas numa visualização de baixo para cima), o que pode auxiliar na determinação do encaminhamento de infiltrações, como na Figura 6. Como o projeto estrutural está disponível ao setor de arquitetura e engenharia do Palácio, os termogramas possibilitam a sua validação. Não dispondo de informações sobre o projeto e sobre o histórico de intervenções, a termografia contribui



para a identificação de estruturas ocultas, tais como em edifícios e prédios históricos. Estudos anteriores apontavam que as lajes dos avarandados apresentam fissuras, eflorescência e manchas. Os termogramas captaram tais patologias, pois as mesmas foram visíveis com comportamento térmico diferente das áreas adjacentes e sãs. A Figura 7 mostra a aplicação para mostrar estruturas ocultas na laje (as vigas invertidas).

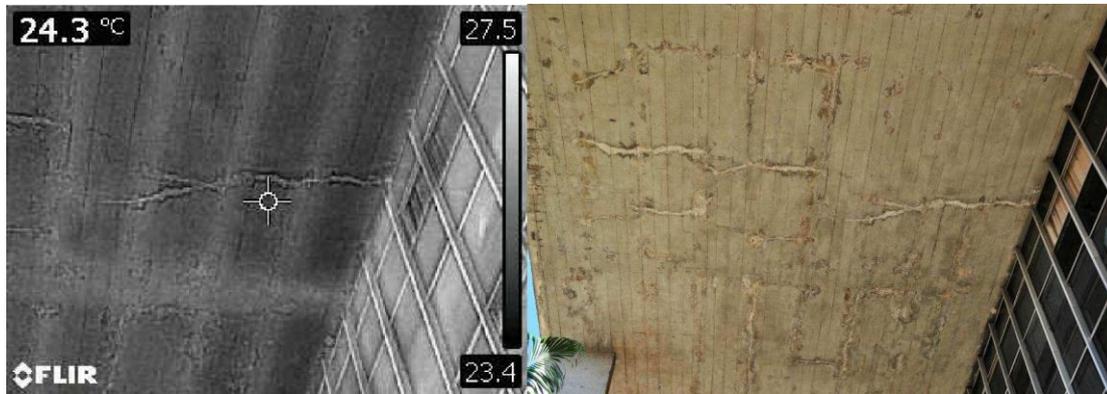


Figura 6 – Fachada Leste - Laje de cobertura/vista inferior – manchas brancas e posição das vigas



Figura 7 – Fachada Leste - Laje de cobertura – vista inferior

A Figura 8 mostra a possibilidade da aplicação da termografia para validação do projeto, na região do pilar P80. Manchas e deficiência no cobrimento foram identificados, conforme mostra a Figura 9.

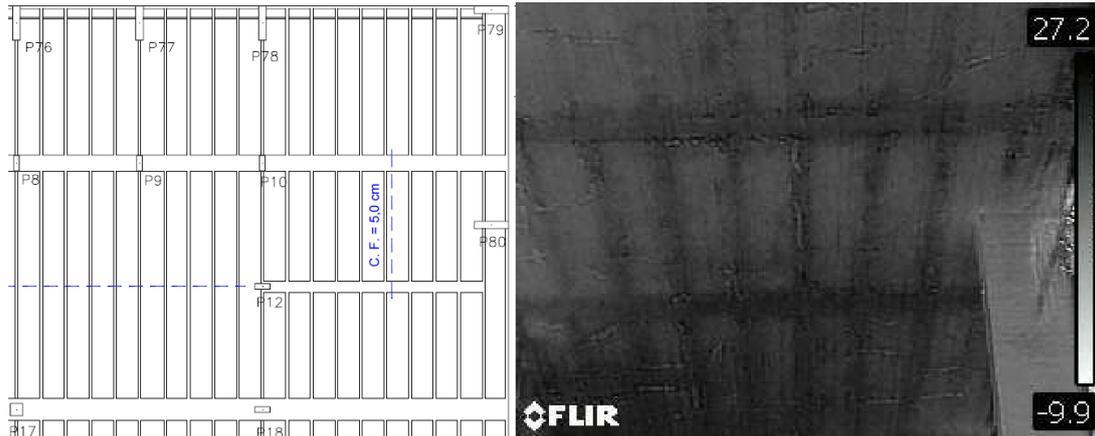


Figura 8 – Planta da cobertura – detalhe nas proximidades do pilar P80 e evidências das vigas em comparação com o projeto



Figura 9 – Fachada Leste – Laje – trecho de vídeo e fotografia - evidências de região com danos no recobrimento apresentando maior temperatura que entorno

O cobrimento deficiente e corrosão de armaduras das cascatas, além das manchas negras, também podem estar associados a regiões com comportamento térmico diferente das demais. A Figura 10 a seguir mostra uma região mais quente relacionada às manchas.

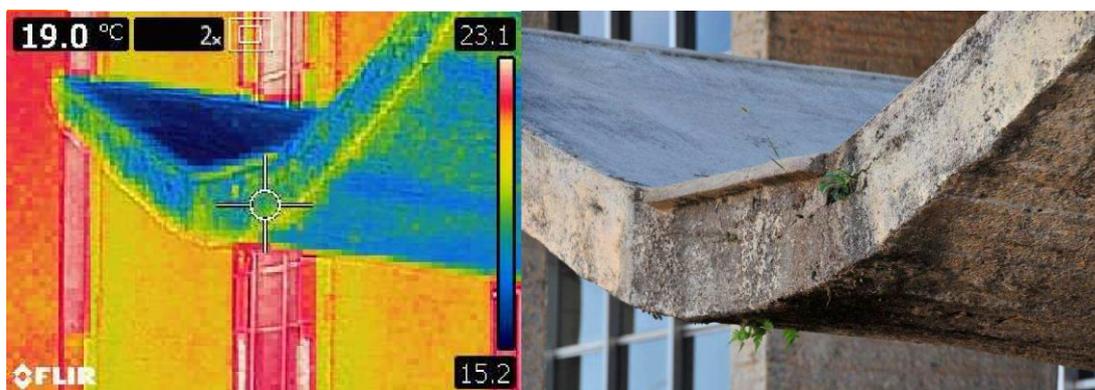


Figura 10 – Fachada Sul – Cascata



A deficiência no cobrimento do concreto nas vigas de bordo da cobertura e nos pilares foram captados como anomalias nas imagens, conforme Figuras 11 e 12. Em algumas situações não visíveis a olho nu, primeiramente foi feito o termograma que ao evidenciar anomalia, indicou a necessidade de fotografar a região para identificação da patologia, conforme Figura 12. Ressalte-se ainda que além da deficiência no cobrimento apresentar um comportamento térmico anômalo (trecho mais quente, em branco). Também foi possível identificar a região da junta entre a laje e os arcos dos pilares, uma vez que tal região apresentou comportamento térmico diferente das áreas adjacentes, tendo a junta uma temperatura mais elevada.

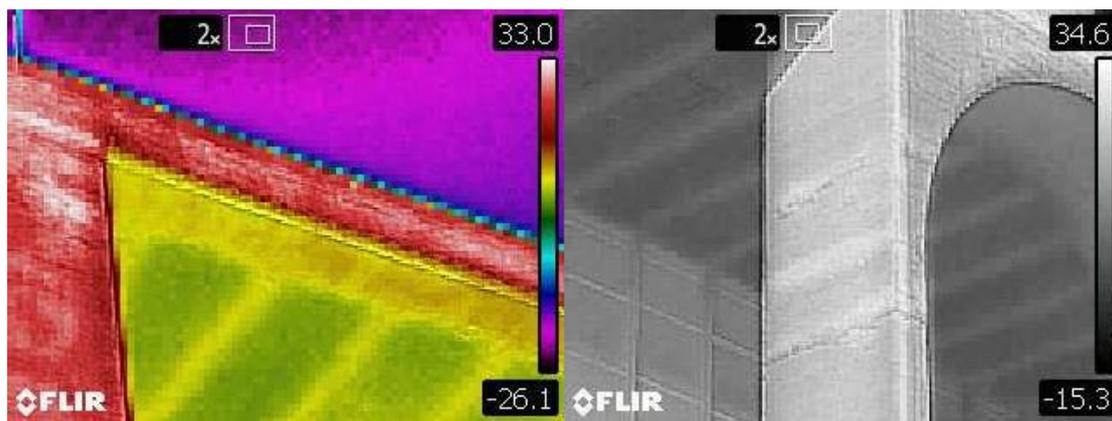


Figura 11 – Fachada Norte – Vigas de bordo e pilar – concentração de calor na junta entre a viga e o pilar, e na face com problemas de cobrimento

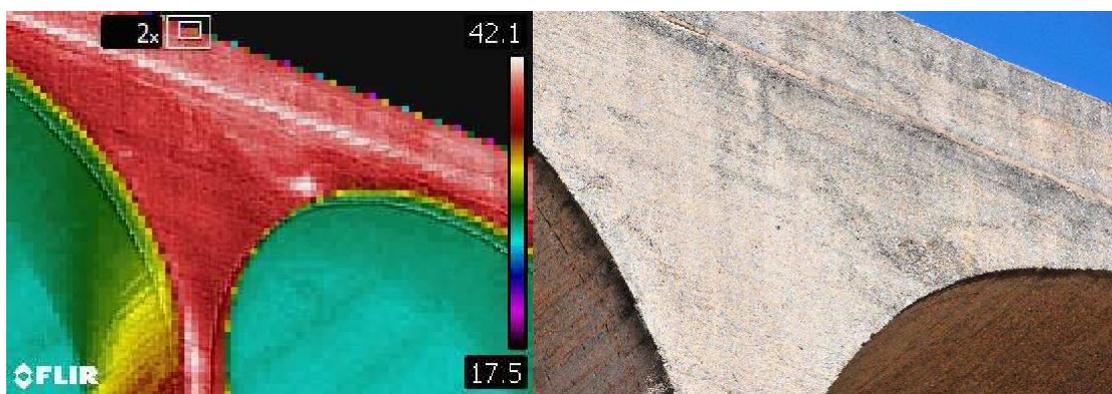


Figura 12 – Fachada Norte – Arco pleno – anomalia térmica e foto com evidências de região com danos no recobrimento

O Quadro 2 apresenta um resumo das principais patologias e anomalias verificadas.

Quadro 2 – Principais patologias e anomalias verificadas



Patologia	Local/Elemento
Danos de recobrimento	Lajes, pilares, vigas de bordo, arcos, cascatas
Manchas negras	Lajes, cascatas, brises, arcos, vigas de bordo, pilares
Manchas brancas	Lajes
Infiltrações	Lajes
Fissuras	Lajes
Corrosão de armadura	Lajes, pilares, vigas de bordo, cascatas, arcos

4. Conclusões

Este trabalho mostrou que a termografia infravermelha pode ser útil como auxiliar no estudo das patologias encontradas no Palácio da Justiça Raymundo Faoro, tanto na identificação das patologias como na avaliação do estado de conservação dos elementos de concreto armado das fachadas, incluindo os brises, os pilares, vigas de bordo, laje da cobertura e as cascatas.

A termografia infravermelha se mostrou uma técnica rápida e prática na inspeção da edificação, permitindo a detecção de patologias e anormalidades na estrutura, dispensando a instalação de estruturas temporárias, tais como andaimes, ou o uso de técnicas perigosas, como a escalada.

As imagens térmicas podem contribuir na busca da solução para sanar os danos patológicos, uma vez que podem indicar a origem do problema, auxiliando portanto na definição de ações de manutenção da estrutura física da edificação. A termografia infravermelha pode facilitar a execução de mapa de danos, etapa extremamente relevante no desenvolvimento de projetos de restauro, de projetos de recuperação e de ações de conservação e manutenção.

A inspeção realizada corroborou com os resultados dos estudos anteriormente realizados que identificaram diversos problemas patológicos no Palácio, tendo sido possível visualizar as patologias identificadas nesses estudos como um comportamento de anomalia térmica nos termogramas.

O uso da termografia infravermelha pode contribuir de modo positivo na busca de ações preventivas e corretivas em diversas edificações tombadas em Brasília, representantes da arquitetura moderna e monumental, do uso do concreto armado no Brasil, que já têm mais de cinquenta anos e que apresentam diversas manifestações patológicas.

Outros estudos específicos para a continuidade dessa linha de pesquisa podem ser desenvolvidos, tais como a avaliação do comportamento térmico ao longo de um período de 24 horas de elementos estruturais determinados, por exemplo um brise, um pilar ou um trecho da laje, a fim de verificar os gradientes térmicos e suas variações. Pode-se ainda avaliar o comportamento térmico de uma região específica contendo patologias graves, também por um período de 24 horas ou ao longo dos meses do ano, num horário específico, para avaliar os gradientes de temperaturas máxima e mínima.



Agradecimentos

Agradecemos o engenheiro Júlio César da Silva Máximo por seus trabalhos como termografista neste trabalho.

Referências Bibliográficas

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (2016). NBR 15424 - Ensaios não destrutivos – Termografia – Terminologia 2006.

Cerdeira, F., Vásquez, M., Collazo, J., Granada, E. (2011). Applicability of infrared thermography to the study of the behaviour of stone panels as building envelopes. *Energy and Buildings*, Oxford, v. 43, p. 1845-1851.

FLIR Systems (2011). *Thermal Imaging Guidebook for Building and Renewable Energy Applications*.

Inojosa, L. S. P., Buzar, M. A. R. (2010). O Sistema Estrutural na obra de Oscar Niemeyer em Brasília. In: Dvorkin, Eduardo. (Ed.) [et al] *Mecânica Computacional*. Vol XXIX, Buenos Aires, nov/2010, pp. 9903-9927.

Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional - Iphan (2013). *Inventário do Palácio da Justiça*.

Lima, M. G., Morelli, F. (2003). Degradação das estruturas de concreto devido à amplitude térmica brasileira. *Simpósio EPUSP sobre estruturas de concreto V*, São Paulo, Brasil; junho 2003.

Medeiros, A. E., Ferreira, O. L. (2012). A Forma Segue a Função? Uma contribuição ao estado atual da arte da conservação patrimonial no Brasil a partir de dois estudos de caso: O Touring Club e o Brasília Palace Hotel. *Seminário da rede Conservação*, Brasil, Recife, nov/2012.

Moreira, A. L. A. (2007). A estrutura do Palácio da Justiça em Brasília: Aspectos Históricos, Científicos e Tecnológicos de Projeto, Execução, Intervenções e Proposta de Estratégia para Manutenção. Dissertação de mestrado. Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasil.

Rosseti, E.P. (2012). *Arquiteturas de Brasília*, Instituto Terceiro Setor, Brasília.

Schlee, A. R., Ficher, S. (2010). *Brasília 50 anos: Guia de Obras de Oscar Niemeyer*. Câmara dos Deputados, Brasília.