



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Erwin Francisco Tochtrop Júnior

USO DA TERMOGRAFIA NA AVALIAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM LAJES DE SUBSOLO: Estudo de Caso em Edificação da Cidade de Palmas/TO

Palmas - TO

2023

Erwin Francisco Tochtrop Júnior

USO DA TERMOGRAFIA NA AVALIAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES
PATOLÓGICAS EM LAJES DE SUBSOLO: Estudo de Caso em Edificação da Cidade
de Palmas/TO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II
elaborado e apresentado como requisito
parcial para obtenção do título de bacharel
em Engenharia Civil pelo Centro
Universitário Luterano de Palmas
(CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Dr. Fábio Henrique de Melo Ribeiro

Palmas - TO

2023

Erwin Francisco Tochtrop Júnior

USO DA TERMOGRAFIA NA AVALIAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES
PATOLÓGICAS EM LAJES DE SUBSOLO: Estudo de Caso em Edificação da Cidade
de Palmas/TO

Projeto de Pesquisa elaborado e apresentado
como requisito para aprovação na disciplina
de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
II do curso de Engenharia Civil do Centro
Universitário Luterano de Palmas
(CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Dr. Fábio Henrique de Melo Ribeiro

Aprovado em: / /

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fábio Henrique de Melo Ribeiro

Orientador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Prof^a. Me. Kenia Parente Lopes Mendonça

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Prof. Dr. Roldão Pimentel de Araújo Junior

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO

2020

Só há duas maneiras de viver a vida.
A primeira é vivê-la como se os
milagres não existissem. A segunda
é vivê-la como se TUDO fosse um
milagre!

Albert Einstein

Dedico este trabalho à Ciça, que sempre me apoiou e teve paciência e determinação para suportar minhas paranoias durante a pandemia.

RESUMO

O presente trabalho apresenta os resultados obtidos com o uso de uma câmera FLIR acoplada ao *smartphone* CAT S62-PRO na detecção da percolação de água em lajes de cobertura de um subsolo em uma edificação da cidade de Palmas/TO. A edificação apresenta uma série de manifestações patológicas tanto na face superior quanto na face inferior das lajes. Com a intenção de identificar estas manifestações, este trabalho buscou verificar a eficiência do uso da termografia, ensaio não destrutivo que se baseia na detecção da emissividade e temperatura superficial através da irradiação na faixa de raios infravermelhos. Após a análise dos dados coletados, a termografia mostrou-se eficaz na identificação de anomalias existentes, podendo servir para uma ação de reparo efetiva das causas originárias.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto Armado: Manifestações Patológicas Termografia, Câmera FLIR, CAT S62 PRO

ABSTRACT

The present work presents the results obtained with the use of a FLIR camera coupled to the CAT S62-PRO smartphone in the detection of water percolation in reinforced concrete slabs covering a basement in a building in the city of Palmas/TO. The building presents a series of pathological manifestations both on the upper and lower faces of the slabs. With the intention of identifying these manifestations, this work sought to verify the efficiency of using thermography, a non-destructive test that is based on the detection of emissivity and surface temperature through irradiation in the range of infrared rays. After analyzing the collected data, thermography proved to be effective in identifying existing anomalies, which could serve to effectively repair the root causes.

KEYWORDS: Reinforced Concrete: Pathological Manifestations Thermography, FLIR Camera, CAT S62 PRO

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Tipos de onda eletromagnética em função do comprimento de onda
- Figura 2 – Emissividade de alguns não metais: água (1); terra (2); plástico (3)
- Figura 3 – Incidência não normal da radiação infravermelha
- Figura 4 – Variação da emissividade total com a temperatura de alguns não metais: borracha (1); porcelana (2); cortiça (3); papel (4); argila refratária (5)
- Figura 5 – Diagrama de Blocos simplificado de uma câmera de infravermelha.
- Figura 6 – Vazamento proveniente da rede coletora de esgoto
- Figura 7 – Smartphone CAT S62 – PRO
- Figura 8 – Aplicação de manta asfáltica sobre laje
- Figura 9 – Laje em vigota treliçada com revestimento em poliestireno expandido (EPS)
- Figura 10 – Corte lateral da edificação estudada.
- Figura 11 – Manifestação patológica na laje maciça próximo na divisa norte do lote, junto a uma viga.
- Figura 12 – Manifestações patológicas na parte central da laje maciça
- Figura 13 – Manifestações patológicas na laje maciça próximo na divisa leste do lote, junto a uma viga.
- Figura 14 – Manifestações patológicas na laje com vigotas treliçadas e revestimento de EPS, próxima à divisa oeste do lote, junto a vigas.
- Figura 15 – Calhas instaladas para evitar o gotejamento de do fluido resultante da lixiviação do concreto.
- Figura 16 – Disposição dos elementos de lazer no pavimento térreo (a) e localização das vagas de estacionamento no pavimento subsolo (b)
- Figura 17 – Localização das manifestações patológicas X no pavimento subsolo (b) e projeção no pavimento térreo (a).
- Figura 18 – Determinação da influência dos materiais sobre a emissividade e temperatura em uma parede da edificação.
- Figura 19 – Imagem termográfica de uma parede de unidade condominial com equipamentos instalados na edificação estudada
- Figura 20 – Modelo de relatório gerado pelo aplicativo MY FLIR
- Figura 21 – Influência do sombreamento sobre a emissividade dos componentes
- Figura 22 – Imagens termográficas do revestimento logo após precipitação (a) e após secagem por evaporação na superfície (b)

Figura 23 – Imagem termográfica do ralo para escoamento de água superficial existente no revestimento do pavimento térreo

Figura 24 – Imagem termográfica de junta de dilatação no revestimento do pavimento térreo

Figura 25 – Detecção de umidade na churrasqueira do prédio

Figura 26 – Imagem termográfica da caixa de gordura da churrasqueira

Figura 27 – Fissuras entre o revestimento e parede da churrasqueira

Figura 28 – Padrão de imagem termográfica em laje com vigotas e EPS não comprometida

Figura 29 – Imagem termográfica da laje junto com a caixa de gordura aparente no pavimento subsolo.

Figura 30 – Imagem termográfica em laje com vigotas e EPS com comprometimento próximo a canalização de esgoto no pavimento subsolo.

Figura 31 – Imagem termográfica em laje com vigotas e EPS com comprometimento próximo a viga.

Figura 32 – Imagem termográfica em laje com vigotas e EPS com comprometimento próximo a parede no pavimento subsolo

Figura 33 – Imagem termográfica em laje maciça com maior intensidade de emissividade no caminho preferencial da água de percolação no pavimento subsolo

Figura 34 – Imagem termográfica em laje maciça com maior intensidade de emissividade no caminho preferencial da água de percolação no pavimento subsolo

Figura 35 – Imagem termográfica em laje maciça com maior intensidade de emissividade no caminho preferencial da água de percolação no pavimento subsolo

Figura 36 – Comprometimento do revestimento e rejunte na área do deck molhado por falta de manutenção adequada

Figura 37 – Aparecimento de trincas no rejunte das pastilhas internas da piscina com padrão de 45°

Figura 38 – Desplacamento de pastilhas na face externa superior da piscina e aparecimento de trincas à 45 no reboco da estrutura.

Figura 39 – Desplacamento de pastilhas na face externa inferior da piscina e aparecimento de trincas à 45 no reboco da estrutura.

Figura 40 – Evidências de eflorescências na face externa da piscina sobre as pastilhas de revestimentos

LISTA DE TABELAS

Quadro 1 – Emissividade espectral do corpo negro, cinzento, real e espelho perfeito

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CEULP	Centro Universitário Luterano de Palmas
EPS	Expanded polystyrene (Poliestireno expandido, em português)
FLIR	Forward Looking Infra-Red
IR	Infravermelho
NBR	Normas Brasileiras

LISTA DE SÍMBOLOS

c	Velocidade de propagação da luz no vácuo (m/s)
f	Frequência da onda (s^{-1})
K	Grau Kelvin
nm	nanômetro
T	Período da onda (s)
λ	Comprimento de onda (m)
μm	micrômetro
ε	Emissividade
$^{\circ}\text{C}$	Grau Celsius

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	11
Objetivos.....	12
Objetivo Geral	12
Objetivos Específicos.....	12
Justificativa	12
REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
Manifestações Patológicas.....	13
Uso de Ensaios não Destrutivos na Construção Civil	13
Termografia Infravermelha.....	14
Espectro Eletromagnético	15
Emissividade de Radiação dos Materiais	16
Câmara Termográfica	19
Termografia em Edificações	22
METODOLOGIA	24
RESULTADOS	26
Determinação da emissividade do revestimento e fatores de influência	33
Rastreamento da superfície do pavimento térreo sobre laje maciça.....	35
Rastreamento da superfície do pavimento térreo sobre lajes com vigotas treliçadas e preenchimento EPS.....	38
Análise das imagens termográficas das lajes com vigotas treliçadas e preenchimento EPS.....	40
Análise das imagens termográficas das lajes maciças	43
Comprometimento de estruturas sobre a laje maciça	45
CONCLUSÃO	49
BIBLIOGRAFIA	50

INTRODUÇÃO

A execução de uma edificação tem como objetivo a permanência das características originais previstas no projeto, assim como sua durabilidade e desempenho no uso previsto, proporcionando segurança e conforto para os usuários. A Norma de Desempenho de Edificações ou NBR 15.575 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) estabelece uma série de exigências para todas as edificações habitacionais. Entretanto, há vários fatores que podem causar anomalias nas edificações, desde a escolha dos materiais, a execução dos serviços ou o processo de utilização da estrutura durante um determinado período.

Para a manutenção do conjunto de estruturas funcionando de acordo com o que foi projetado, a importância de uma manutenção preventiva nas edificações se traduz em redução de custos, valorização do imóvel e satisfação de moradores/usuários.

Dentro desse contexto é de extrema necessidade a utilização de técnicas que detectem as patologias de modo eficaz e com isso possam evitar maiores problemas. Uma técnica que vem sendo aplicada é a termografia de infravermelho como inspeção não destrutiva, sendo essencial para a manutenção preventiva das edificações. Este método tem como princípio básico a obtenção da radiação infravermelha emitida pelos corpos com intensidade proporcional a sua temperatura. A partir daí é possível detectar pontos ou zonas onde a temperatura não está de acordo com um padrão pré-estabelecido ou conhecido e assim correlacionar com prováveis problemas que possam vir a ocorrer nas edificações.

Este trabalho foi realizado em uma edificação de múltiplos pavimentos na região central da cidade de Palmas/TO com o objetivo de identificar manifestações patológicas em lajes de concreto armado de cobertura de estacionamento em subsolo. O estudo foi realizado através de inspeção visual, com suporte de uma câmera FLIR embutida em um *smartphone* modelo CAT S62 PRO.

OBJETIVOS

Objetivo Geral

Verificar do uso dispositivo FLIR do smartphone CAT S62 na determinação de possíveis causas de infiltração em concreto armado e alvenarias de revestimento.

Objetivos Específicos

Identificar áreas com manifestações patológicas através de documentação fotográfica;

Compreender os fundamentos do método de termografia de infravermelho.

Interpretar as imagens termográficas obtidas

Diagnosticar possíveis causas de infiltração e percolação de água na laje de cobertura, com auxílio de uma câmera termográficas.

Verificar a eficiência das análises feitas com câmera FLIR acoplada a um smartphone CAT S62 PRO.

JUSTIFICATIVA

Este trabalho baseia-se no uso da técnica de termografia infravermelha, uma técnica não destrutiva de análise de edificações que permite a avaliação das condições de conservação e a detecção de problemas causados pela deterioração de materiais e da estrutura, sem que haja necessidade de intervenções físicas.

Há uma diversidade de câmeras com sensores de raios infravermelhos para este fim, variando em preço e capacidade de resolução de imagens, entre outros. A utilização de um equipamento acoplado a um dispositivo smartphone pode trazer benefícios, porém deve ser checado no sentido de haver confiabilidade nos dados obtidos e nos relatórios gerados pelo aplicativo.

REFERENCIAL TEÓRICO

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Edificações estão sujeitas a alterações em suas estruturas em função da sua construção, uso e desgaste com o tempo. Essas alterações, quando comprometem a sua utilização ou oferecem perigos a sua estabilidade, são denominadas manifestações patológicas. Estruturas de concreto armado podem apresentar fissuras, manchas, rupturas, vesículas no revestimento etc.

A presença de umidade em estruturas pode causar o desenvolvimento de microrganismos (bolor), aparecimento de eflorescências, ou manchas com aspectos de sujidade na superfície. A continuidade do fator de geração da manifestação patológica sobre o elemento estrutural acarreta o comprometimento de outros materiais presentes na estrutura, como por exemplo o aço das armaduras e, em último caso, o colapso da estrutura. O conhecimento e a reparação da causa da manifestação patológica é, portanto, imprescindível para a resolução definitiva do problema (SENA, 2020).

USO DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Comumente, a inspeção e o diagnóstico do desempenho de estruturas de concreto armado estão relacionados com ensaios de resistência à compressão em testemunhos extraídos da própria estrutura, cujos ensaios danificam ou comprometem o desempenho desta estrutura.

A utilização de ensaios não destrutivos é uma alternativa mais atraente, uma vez que os métodos, com maior conhecimento da fundação científica e melhoria dos equipamentos, foram modernizados, aumentando a precisão de análise. As vantagens dos ensaios não destrutivos são: proporcionar pouco ou nenhum dano à estrutura, serem aplicados com a estrutura em uso e permitir que problemas possam ser detectados em estágio ainda inicial.

É comum a divisão em duas classes de métodos de ensaios não destrutivos para aplicação em estruturas de concreto. A primeira consiste em métodos utilizados para estimar a resistência do material, tais como ensaio de dureza superficial (esclerometria), resistência à penetração e método da maturidade. A segunda classe inclui métodos que medem características e defeitos internos do concreto, por meio de propagação de ondas e termografia infravermelha. Existem ainda outros métodos que fornecem informações sobre armaduras para localizar barras, especificar seu diâmetro e o potencial da corrosão (MEDEIROS, 2010).

TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA

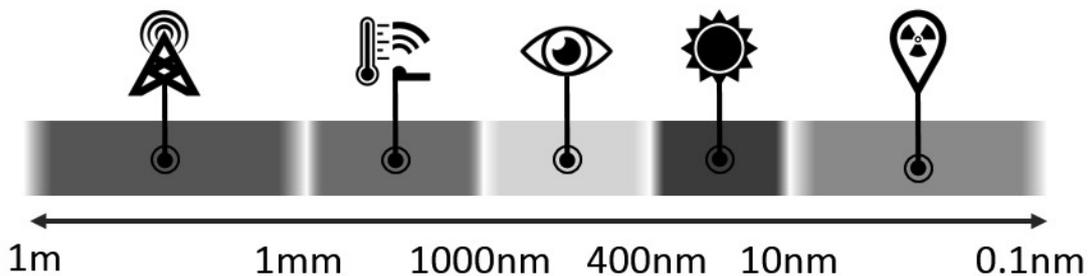
A termografia teve sua aplicação inicial voltada para fins bélicos, no decorrer da primeira metade do século XX. No entanto, o efeito térmico sempre foi o principal sintoma de anormalidade em máquinas, instalações e processos industriais, portanto a termografia proporciona uma valiosa e expressiva ajuda na identificação de falhas e causas. A utilização desses equipamentos de termografia na construção civil teve início na Europa devido ao clima favorável que possibilitou a obtenção de resultados coerentes (MMTEC, 2020).

A termografia é uma técnica de inspeção não destrutiva e não invasiva, que tem como base a detecção da radiação infravermelha emitida naturalmente pelos corpos com intensidade proporcional a sua temperatura; através desta técnica é possível identificar regiões, ou pontos, onde a temperatura está alterada com relação a um padrão pré-estabelecido com o objetivo de propiciar informações relativas à condição operacional de um componente, equipamento ou processo em qualquer dos sistemas de manutenção considerados (MMTEC, 2020).

A termografia infravermelha constitui na percepção da temperatura superficial de um corpo pelo mecanismo de transferência de calor (radiação), sendo possível detectar, com precisão, grandes defeitos e delaminações no interior de estruturas de concreto. Portanto a termografia se apresenta como uma técnica de inspeção extremamente útil, uma vez que permite realizar medições sem contato físico com a instalação ou equipamento, (MEDEIROS, 2010).

Espectro Eletromagnético

O espectro eletromagnético é uma escala de ondas eletromagnéticas emitidas em diferentes comprimentos de onda. Ao todo são sete diferentes tipos de ondas: ondas de rádio, micro-ondas, infravermelho, luz visível, ultravioleta, raios X e raios gama, variando em ordem crescente os diferentes comprimentos de onda de cada intervalo citado, conforme a figura 1.



Fonte: <https://www.subiter.com/post/termografia-infravermelha/>

Figura 1: Tipos de onda eletromagnética em função do comprimento de onda.

A classificação é determinada pela frequência e oscilação com que as ondas são emitidas que juntamente com o comprimento de onda determina a sua velocidade. No caso da velocidade da luz temos a relação:

$$c = \lambda \cdot f \quad (1)$$

onde:

c – velocidade de propagação da luz no vácuo

λ – comprimento de onda e

f – frequência da onda

sabendo que a frequência é o inverso do período da onda (T):

$$f = \frac{1}{T} \quad (2)$$

O olho humano tem capacidade distinguir os comprimentos de ondas limitadas entre 0.4µm (violeta) para 0.7µm (vermelho) na forma de cores. A radiação infravermelha, cujo espectro varia entre 700 e 50 000 nm, no entanto, não é visível ao olho humano, porém pode ser detectada com equipamentos que tenham sensores apropriados para este fim. Todo corpo com temperatura acima de -273°C (zero absoluto) tem capacidade de emitir radiação em diferentes níveis (CABALEIRO CORTIZO, 2007).

Emissividade de Radiação dos Materiais

A emissividade (ϵ) é a capacidade do material em radiar a energia quando comparada com um corpo negro perfeito. Corpo negro é o objeto que absorve a totalidade da energia, com qualquer comprimento de onda incidente sobre o objeto, e não reflete nenhuma radiação.

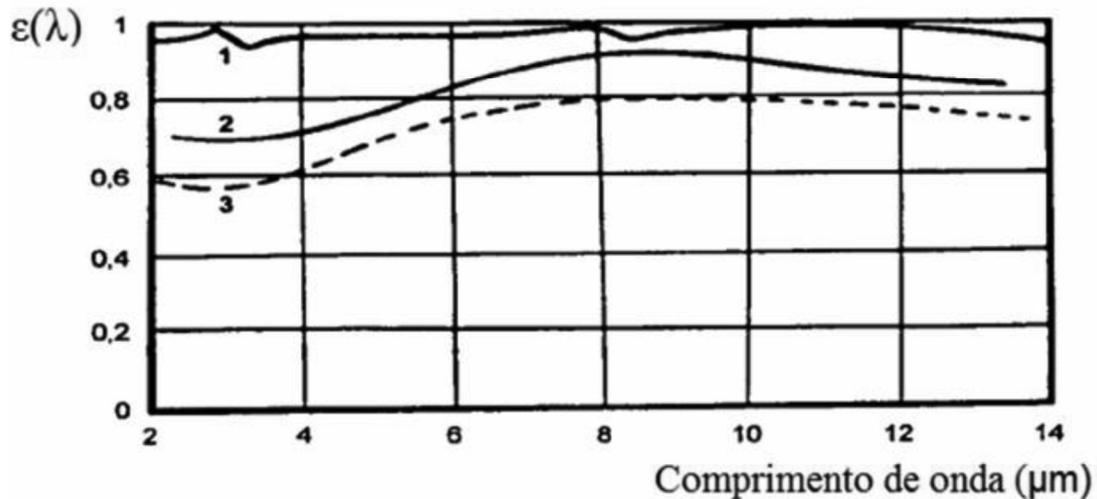
A emissividade de um material varia com a direção de observação relativa à superfície, com o comprimento de onda e com a temperatura. Os valores de emissividade vão de 0 (para um refletor perfeito) a 1 (para o emissor perfeito – Corpo Negro), conforme o quadro 1. (GAUSSORGUES, 1994 apud MARIO, 2011).

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

Fonte: (GAUSSORGUES, 1994 apud MARIO, 2011)

Quadro 1 - Emissividade espectral do corpo negro, cinzento, real e espelho perfeito

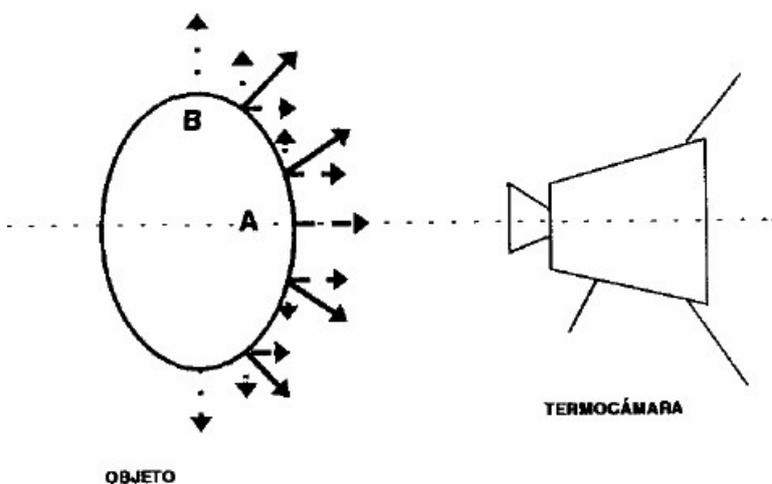
A variação da emissividade em função do comprimento de onda é considerada lenta para materiais sólidos e apresenta flutuação significativa em gases ou líquidos. Para os sólidos não metais a emissividade tende a aumentar com o aumento do comprimento de onda, conforme figura 2 (BARREIRA, 2004, apud MARIO, 2011).



Fonte: (BARREIRA, 2004 apud MARIO, 2011)

Figura 2: emissividade de alguns não metais: água (1); terra (2); plástico (3)

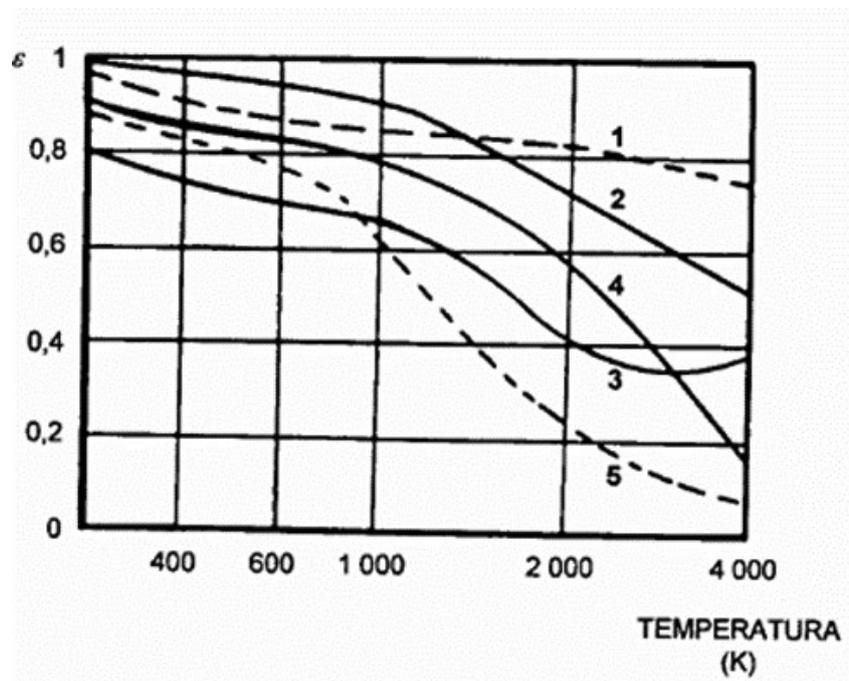
A posição de visualização da superfície analisada é importante porque a emissividade varia de acordo com o ângulo de observação. Superfícies não planas tendem a apresentar uma emissividade aparente em diferentes pontos para o mesmo material, em função desta característica. Para materiais não metálicos, por exemplo concreto, a variação da emissividade é praticamente nula em ângulos de observação perpendiculares à superfície entre 0° e 60° , (MARIO, 2011). Na figura 3, Moncó apud Mário (2011) ilustra a variação da componente de emissividade com a alteração do ângulo de captação.



Fonte: (MONCÓ, 2002 apud MARIO, 2011)

Figura 3: Incidência não normal da radiação infravermelha.

Finalmente, a temperatura também influencia na detecção da emissão por radiação de ondas infravermelhas dos corpos. Diversos materiais apresentam emissividade independente da direção da radiação e do comprimento de onda. Nestes materiais é possível considerar a emissividade constante para uma determinada temperatura (Figura 4). Objetos não metais apresentam uma emissividade total normalmente superior a 0,80, diminuindo com o aumento da temperatura, de forma mais significativa a partir de 1000 K. (MARIO, 2011).



Fonte: (BARREIRA, 2004, apud MARIO, 2011)

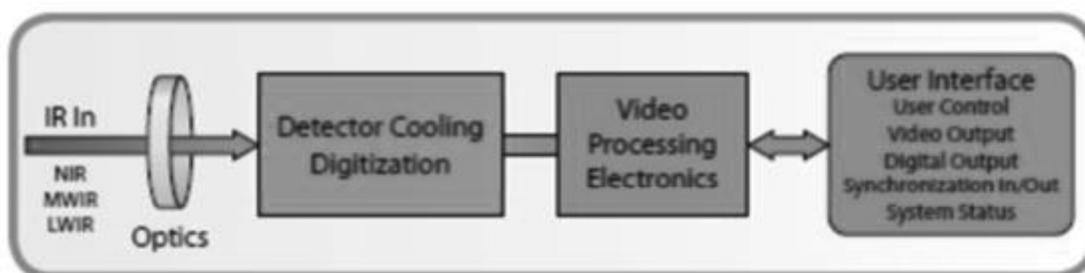
Figura 4: Variação da emissividade total com a temperatura de alguns não metais: borracha (1); porcelana (2); cortiça (3); papel (4); argila refratária (5)

A atmosfera presente entre a fonte emissora e o receptor pode originar perturbações a medição. Além disso, os gradientes térmicos e a turbulência alteram o índice de refração do ar provocando uma redução na qualidade da imagem. Contudo, a atenuação atmosférica é uma das maiores causas de problemas, pois gera um erro sistemático que é função da gama espectral utilizada, da distância de observação e das condições meteorológicas. Por isso, medições feitas com distância acima de 10 metros devem ser corrigidas (MARIO, 2011).

Câmera Termográfica

O comprimento de onda captado por um sistema de lente de câmeras, forma o começo da cadeia de medição, pois a lente recebe a energia infravermelha emitida pelo objeto inspecionado e a transmite a uma matriz de sensores infravermelhos. Esses sensores, chamados de sensores de visão frontal infravermelha, em inglês FLIR (Forward Looking Infra-Red) fornecem uma diferença de potencial proporcional à intensidade da radiação medida (FLIR, 2012).

Um sistema de lentes em câmeras específicas para este fim, pode receber a energia infravermelha emitida pelo objeto inspecionado e através de uma matriz de sensores infravermelhos, fornecer diferença de potencial proporcional à intensidade da radiação medida, conforme diagrama apresentado na figura 5. Estes valores diferenciais são transformados em pontos digitais dentro do espectro de visualização do olho humanos, obtendo-se assim uma imagem digitalizada (FLIR, 2012).



Fonte: (FLIR, 2012)

Figura 5 – Diagrama de Blocos simplificado de uma câmera de infravermelha.

A qualidade da imagem térmica depende de diversos fatores, segundo Novais (2020):

- Resolução - é a quantidade de pontos ou sensores que captam a radiação.
- Sensibilidade térmica - menor variação de temperatura medida pelo equipamento.
- Taxa de aquisição - a quantidade de imagens adquiridas por unidade de tempo (uma alta taxa de aquisição favorece gravação de fenômenos que ocorrem a altas velocidades).

Quando se estimula um objeto termicamente, essa energia recebida é conduzida

pelo interior da sua estrutura. No caso da ocorrência de alguma descontinuidade, como trincas, fissuras ou bolhas, a condução nessa região será alterada. A evolução de temperatura com o passar do tempo em regiões intactas é diferente da evolução de temperatura em regiões defeituosas. Dessa forma, é possível detectar irregularidades internas do material sem a necessidade de contato e sem comprometer a integridade da peça (NOVAIS, E. 2020).

Os objetos têm diferentes comportamentos, relacionados à transparência ao longo do espectro. O dióxido de enxofre é um gás tóxico, poluente, decorrente de alguns processos industriais e é incolor na faixa visível, mas pode ser capturado por uma câmera infravermelha. O vidro é transparente para comprimentos de ondas na faixa visível e opaco na faixa infravermelha, (NOVAIS, E. 2020).

As leituras de temperaturas aferidas pelo termovisor são dependentes da emissividade porque eles não medem diretamente a temperatura e sim a radiação emitida. Sendo assim a condição da superfície influencia na emissividade que significa a capacidade de uma superfície emitir mais ou menos radiação (SHIROZAKI CUNHA, 2016).

O termografista deve conhecer a emissividade da superfície e informar ao termovisor para que as temperaturas medidas estejam corretas. Isso pode ser feito medindo a emissividade da superfície antes de se realizar a medição. Para reduzir os erros relacionados com a emissividade, o termografista deve buscar fazer a medição de temperatura nas áreas da patologia onde a emissividade é maior. Áreas com oxidação, corrosão, sujeira ou cavidades apresentam um incremento da emissividade e consequente aumento na exatidão da medida de temperatura realizada pelo termovisor. É indicado também que o termografista tenha uma visão mais perpendicular da superfície analisada a fim de evitar os erros de emissividade devido ao ângulo de visão (SHIROZAKI CUNHA, 2016).

Hoje existem vários sistemas para a medição da temperatura, o mais usual é a câmera termográfica que captura a energia infravermelha emitida pelo objeto observado e converte esta energia em um sinal eletrônico por meio da lente que concentra toda a energia captada em um detector infravermelho. Este sinal é processado e exibido em um display ou monitor de vídeo na forma de imagem térmica (termogramas) onde é calculado a temperatura de cada pixel. Tendo assim como produto o termograma que representa a temperatura por meio das cores, e com o auxílio de uma escala que correlaciona cor e temperatura, é possível a obtenção de informações quanto a problemas ligados

diretamente ou indiretamente com a temperatura. A relação das cores e temperaturas é dada a partir do parâmetro de cores quentes e cores frias, ou seja, no círculo cromático a faixa do amarelo ao vermelho representa as cores quentes e a faixa do verde ao violeta são as cores frias. Portanto é possível associar as cores apresentadas nas imagens termográficas com as temperaturas com base neste princípio (SHIROZAKI CUNHA, 2016).

Câmera FLIR do *Smartphone* CAT S62 Pro

Os *smartphones* Cat S62 Pro detectam energia térmica invisível com até 30 metros de distância e capturam e medem qualquer mudança de temperatura como imagem térmica ou vídeo. Ambos os smartphones usam a câmera e a câmera de imagem térmica juntas, enquanto a tecnologia MSX proprietária da FLIR sobrepõe as imagens para criar uma imagem mais nítida que faz qualquer objeto ser reconhecível e com maiores detalhes.

As imagens térmicas podem ser usadas para resolver problemas em tempo real, desde encontrar um vazamento, uma lacuna no isolamento ou uma falha elétrica até localizar gado no escuro e muito mais. No entanto, as câmeras de imagem térmica não podem captar sinais de calor de alguns objetos, como materiais reflexivos e água, e embora possam ver através de elementos opacos como fumaça, não podem ver através das paredes, mas sim detectar mudanças na temperatura produzida por objetos atrás da parede.

O aplicativo MyFLIR no Cat S62 Pro permite gravar imagens estáticas, vídeos e vídeos com lapso de tempo em um formato de arquivo que pode ser imediatamente compartilhado por e-mail a partir do telefone. Posicione os medidores em pontos móveis e destaque uma área dentro da imagem para ver as diferenças de temperatura em imagens ao vivo e retrospectivamente em imagens térmicas salvas na galeria. Você também pode selecionar escalas de temperatura personalizadas para destacar objetos em uma faixa específica (CATERPILLAR, 2022).

TERMOGRAFIA EM EDIFICAÇÕES

A análise termográfica de uma edificação procura detectar a existência de incoerências nos padrões de temperatura dos elementos da construção, quando analisados nas mesmas condições. A ocorrência de diferenças nestes padrões é um indício de existência de problemas. As câmaras termográficas de infravermelhos permitem-nos, num exame não destrutivo, detectar e localizar problemas tão diversos como infiltrações em paredes e coberturas, falta de isolamento térmico em fachadas e coberturas, analisar o sistema e equipamentos elétricos, como disjuntores com elevada temperatura, entre outros. (GRUPOCHT, 2022?).

Na figura 6, é possível identificar diferentes tons de cores na fachada de um prédio e isso se deve a leitura realizada pela termografia. Nesse caso foi possível identificar um vazamento proveniente da rede coletora de esgoto presente no 5º pavimento (GRUPOCHT, 2022?).



Fonte: (GRUPOCHT, 2022?)

Figura 6 - Vazamento proveniente da rede coletora de esgoto

A termografia é hoje reconhecida como uma técnica de análise de edifícios rápida, econômica e extremamente potente e normatizada através ABNT, conforme as normas:

ABNT-NBR- 16747 /2020: Inspeção Predial – Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento.

ABNT-NBR-16292/2014 - Ensaio não destrutivo – Termografia – Medição e compensação da temperatura aparente refletida utilizando câmeras termográficas

ABNT-NBR-15718/2009 - Ensaio não destrutivo – Termografia – Guia para verificação de termovisores

ABNT-NBR-15424/2006 - Ensaio não destrutivo – Termografia – Terminologia

Trabalhos científicos recentes reforçam a importância da técnica não destrutiva de análise termográfica de manifestações patológicas em estruturas de concreto. Menezes et al. (2022) utilizaram uma câmera FLIR modelo E-60 para verificação de corrosão de armaduras em postes de concreto armado na cidade de Olinda-PE. Os resultados mostraram que a análise da corrosão em postes de concreto armado, de forma não destrutiva e sem contato, é satisfatória, apresentando-se dois padrões distintos de acordo com o estágio da manifestação patológica, tanto em uma fase inicialmente visível ou em estágio avançado.

Oliveira et al. (2020) investigaram o uso da termografia para detectar a armadura no inteiro de estruturas de argamassa armada. Através de estresse térmico, gerado por um equipamento de indução eletromagnética, foi fornecida energia para a barra de aço no inteiro dos corpos de prova, que por condução, transferiu energia para a superfície, sendo possível identificar o elemento metálico no interior dos corpos de prova, com o uso de uma câmera termográfica FLIR E 60.

Máximo e Pantoja (2020), por sua vez, aplicaram a técnica de análise termográfica para estudos em edificações monumentais. O estudo mostrou a aplicação da termografia infravermelha para identificação de manifestações patológicas e do estado de conservação nos elementos de concreto armado do Palácio da Justiça Raymundo Faoro. Como resultado, a termografia infravermelha foi útil para propiciar informações para a manutenção e conservação da edificação, evidenciando o comportamento térmico de elementos estruturais, o posicionamento dos danos em relação a elementos estruturais ocultos, a presença de infiltrações, manchas e os gradientes térmicos capazes de comprometer a estrutura.

Esses estudos recentes mostram o grande potencial do ensaio não destrutivo por termografia na identificação de manifestações patológicas em edificações, trazendo complementaridade aos processos convencionais.

METODOLOGIA

O presente trabalho teve como objeto de estudo uma edificação na cidade de Palmas, composta por um conjunto de apartamentos distribuídos em mais de 10 pavimentos e com um pavimento em subsolo utilizado como garagem, com aparentes sinais de infiltração. Este piso é coberto em parte por uma laje maciça e em outra área por vigotas treliçadas e EPS. Na parte superior tem-se a aplicação de manta de impermeabilização, contrapiso e revestimento, formando uma área de lazer com outros tipos de edificação.

Com o objetivo de detectar as possíveis manifestações patológicas, utilizou-se de um ensaio não destrutivo através do uso de uma câmera termográfica e com isto procurou-se identificar pontos com anomalias que não são visíveis ao olho nu e compará-los com evidências apresentadas na superfície, reportadas neste trabalho por material fotográfico colhidos pelo mesmo equipamento.

A inspeção visual da edificação seguiu a metodologia proposta pelo IBAPE, baseada na Norma ABNT-NBR- 16747 para constatar anomalias e falhas de manutenção, uso e operação, observados os requisitos de desempenho.

As medidas de distância e área foram feitas usando uma trena digital laser Bosch modelo Glm30c.

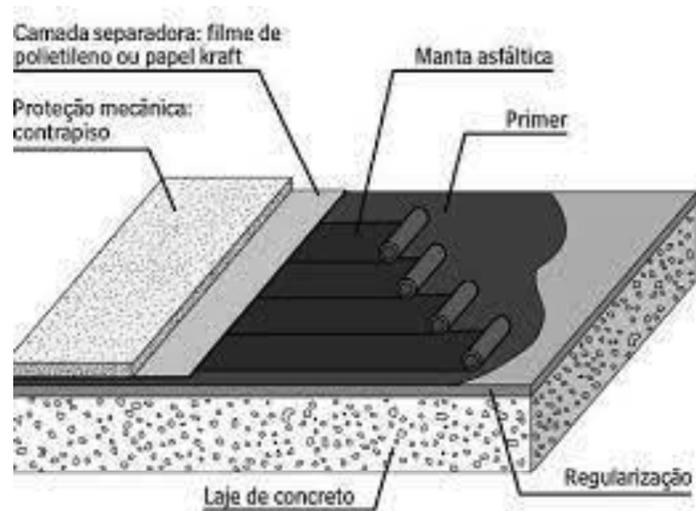
A técnica termográfica adotada foi a de obtenção de imagens através da câmera FLIR de um Smartphone Caterpillar S62 Pro (Figura 7), com tela de 5,7 polegadas e memória para 6 GB de RAM /128 GB de ROM. O sensor de radiação IR é um modelo de grau profissional FLIR Lepton 3.5, que oferece um aumento de 4 vezes do número de pixels térmicos.

Realizou-se este ensaio durante o período de chuvas da região (março e abril) primeiramente logo após a precipitação e após um período de secagem do revestimento superficial não superior a duas horas. Todas as imagens termográficas foram obtidas evitando-se diferenças de insolação/sombreamento. A fim de minimizar possíveis imprecisões nos resultados, foram realizados ensaios preliminares para dominar melhor o funcionamento do equipamento.



Figura 7 – Smartphone CAT S62 – PRO

Foram realizadas também observações nas pranchas do projeto arquitetônico, para a localização das áreas de maior incidência de percolação. Não foi possível obter informações do memorial descritivo da obra, utilizando dessa forma a ideia de uma solução padrão para o revestimento do elemento estrutural, conforme figura 8.

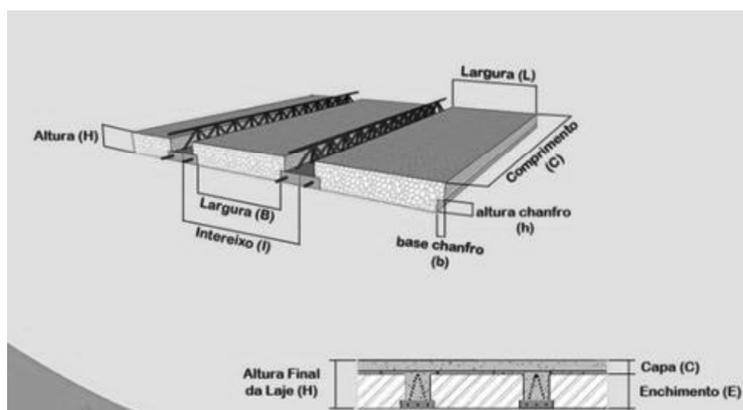


Fonte: (SCHEIDEGGER, G. M, 2019)

Figura 8 – Aplicação de manta asfáltica sobre laje

RESULTADOS

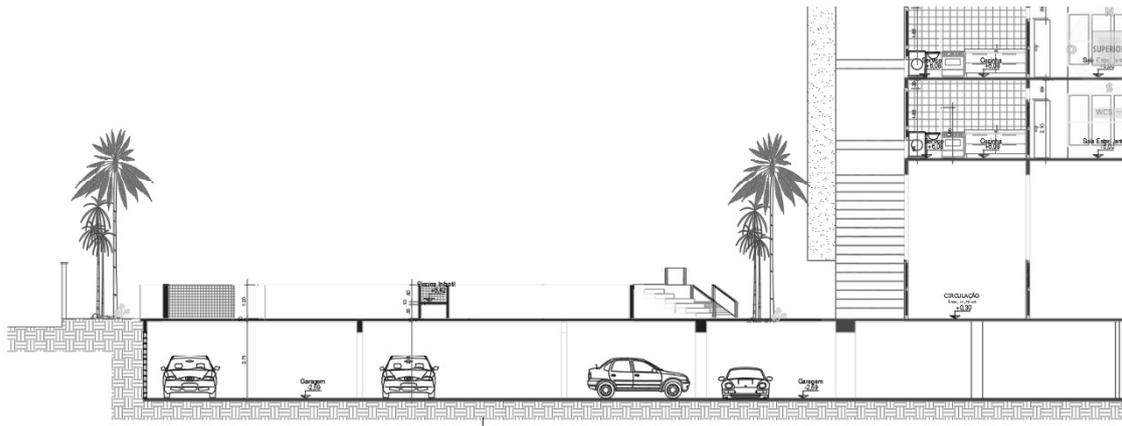
A laje de cobertura do subsolo da edificação estudada é composta de laje maciça em concreto armado sob deck da área molhada e área junto à divisa norte do lote e laje com vigotas treliçadas e revestimento de blocos de EPS, no restante da área de circulação (figura 9).



Fonte: <https://grupopresence.com.br/laje-trelicada>

Figura 9 – Laje em vigota treliçada com revestimento em poliestireno expandido (EPS)

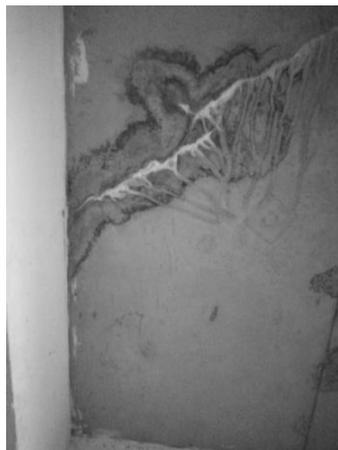
O corte lateral da edificação no projeto arquitetônico é apresentado na figura 10 e mostra a localização da área de lazer externa do prédio. O deck de área molhada encontra-se elevado em relação a superfície superior da laje maciça em concreto armado com orientação Norte-Sul, junto à divisa oeste do terreno. Na parte oeste, encontra-se uma edificação coberta, contendo uma churrasqueira e forno, bem como instalações hidráulicas, como pia e chuveiro. O pé direito do pavimento inferior é utilizado como garagem e possui pé direito de 305 cm. Existe ainda um poço inglês, junto à divisa oeste do terreno, para fim de ventilação da área de estacionamento em subsolo.



Fonte: Prancha 2 do Projeto Arquitetônico

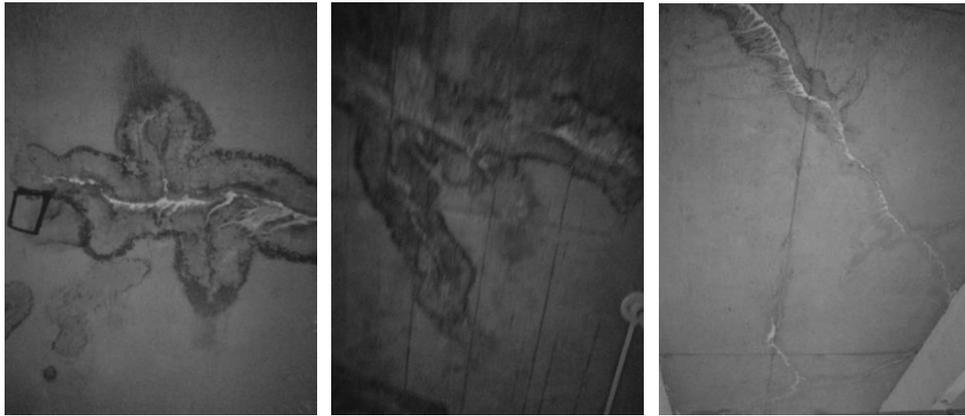
Figura 10 – Corte lateral da edificação estudada.

Os registros fotográficos do teto do estacionamento, mostrados na sequência de figuras 11 a 14, permitem identificar extensas áreas com a presença de fissuras, manchas de umidade e bolor, bem como a presença de eflorescências, resultantes da degradação do concreto pela percolação de água, através da solubilização dos compostos de Ca(OH)_2 presentes no concreto através do mecanismo de lixiviação e que formam estalactites de CaCO_3 pela presença de gás carbônico, oriundo da circulação de veículos. Não foram observadas fissuras resultantes da corrosão de armadura. Os tons marrons avermelhados são resultantes de resíduos de lamas presentes nas formas durante a execução da obra. As manchas de umidade e bolor são decorrentes do mecanismo de biodeterioração do concreto.



Fonte: Autoria Própria

Figura 11 – Manifestação patológica na laje maciça próximo na divisa norte do lote, junto a uma viga.



(a)

(b)

(c)

Fonte: Aatoria Própria

Figura 12 – Manifestações patológicas na parte central da laje maciça



(a)

(b)

(c)

Fonte: Aatoria Própria

Figura 13 – Manifestações patológicas na laje maciça próximo na divisa leste do lote, junto a uma viga.



(a)

(b)

(c)

Fonte: Autoria Própria

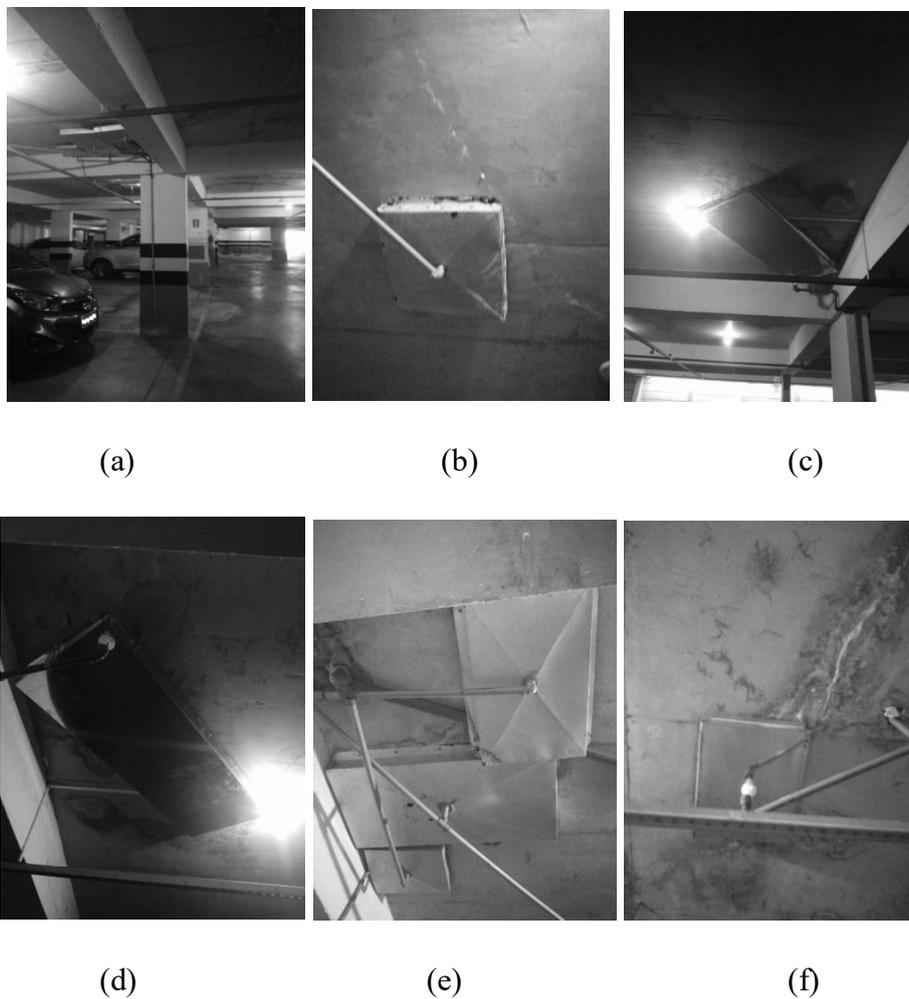
Figura 14 – Manifestações patológicas na laje com vigotas treliçadas e revestimento de EPS, próxima à divisa oeste do lote, junto a vigas.

O surgimento das eflorescências acarretou danos à lataria dos carros estacionados, o que fez a administração condominial anterior instalar calhas nos locais de gotejamento da solução lixiviante conforme pode ser visualizado na figura 15. A medida paliativa apenas serve para evitar problemas judiciais com os proprietários dos veículos, não apresentando solução para o problema de percolação. Esse tipo de arranjo, além de esteticamente inadequado, prolonga o tempo de deterioração do elemento estrutural, tornando mais cara a sua solução futura.

É possível identificar pelas figuras 15 - (c), (d) e (f) que ocorreu o alastramento das eflorescências para fora da área de coleta das calhas, tornando-as ineficazes também para a proteção dos veículos estacionados. Esses novos pontos de gotejamento têm gerado ao condomínio elevados custos de ressarcimento pelos danos causados nas latarias de veículos, pelas ações judiciais movidas pelos condôminos afetados.

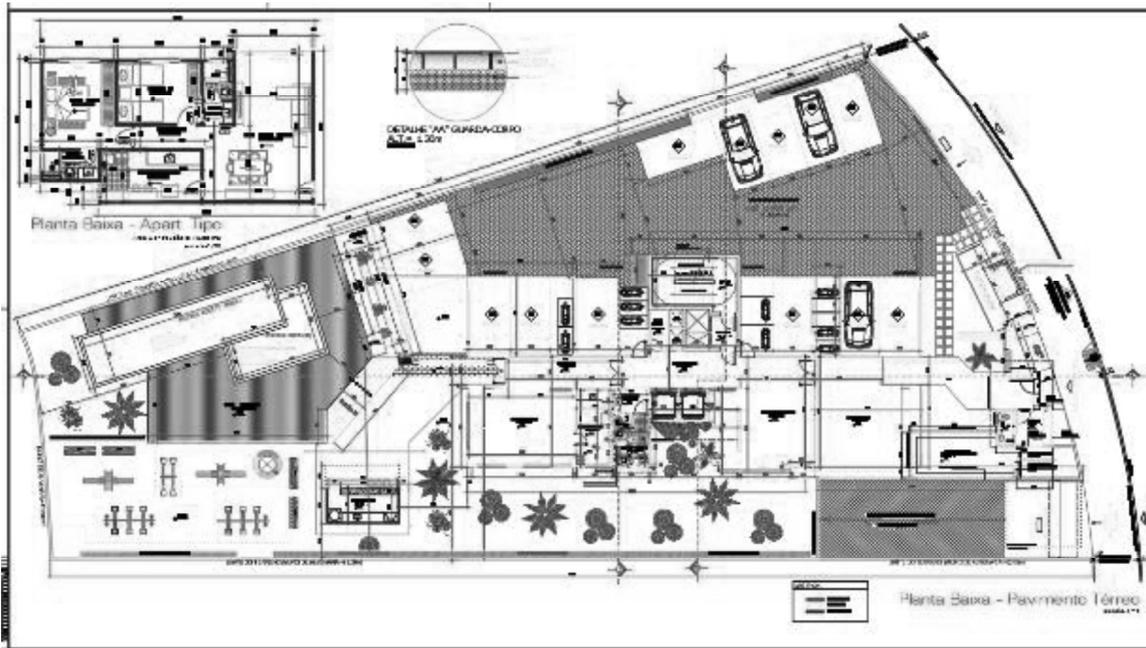
Através do mapeamento fotográfico realizado em subsolo, foi possível identificar nas plantas baixas dos pavimentos térreo e subsolo, as principais áreas de comprometimento dos elementos estruturais e, a partir destas localizações, buscar pelo rastreamento termográfico possíveis causas para a infiltração e percolação de água ao longo das lajes. A figura 16 (a) e (b) mostra a distribuição dos elementos previstos no pavimento térreo e a localização das vagas no pavimento subsolo e figura 17 (a) e (b) obtidas pela modificação das pranchas 1 e 2 do projeto arquitetônico, mostram que os principais pontos de infiltração estão localizados, abaixo da área de deck úmido e próximo

da edificação da área de lazer externa, designadas como elipse A na laje maciça e retângulo B na laje treliçada.

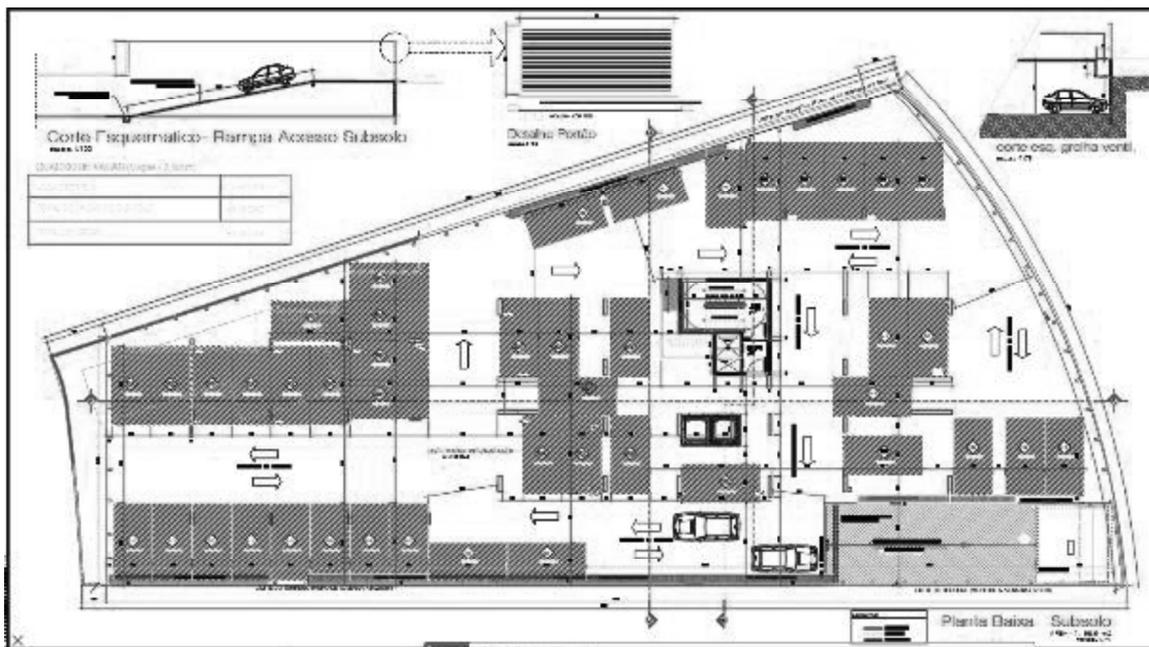


Fonte: Autoria Própria

Figura 15 – Calhas instaladas para evitar o gotejamento de do fluido resultante da lixiviação do concreto.



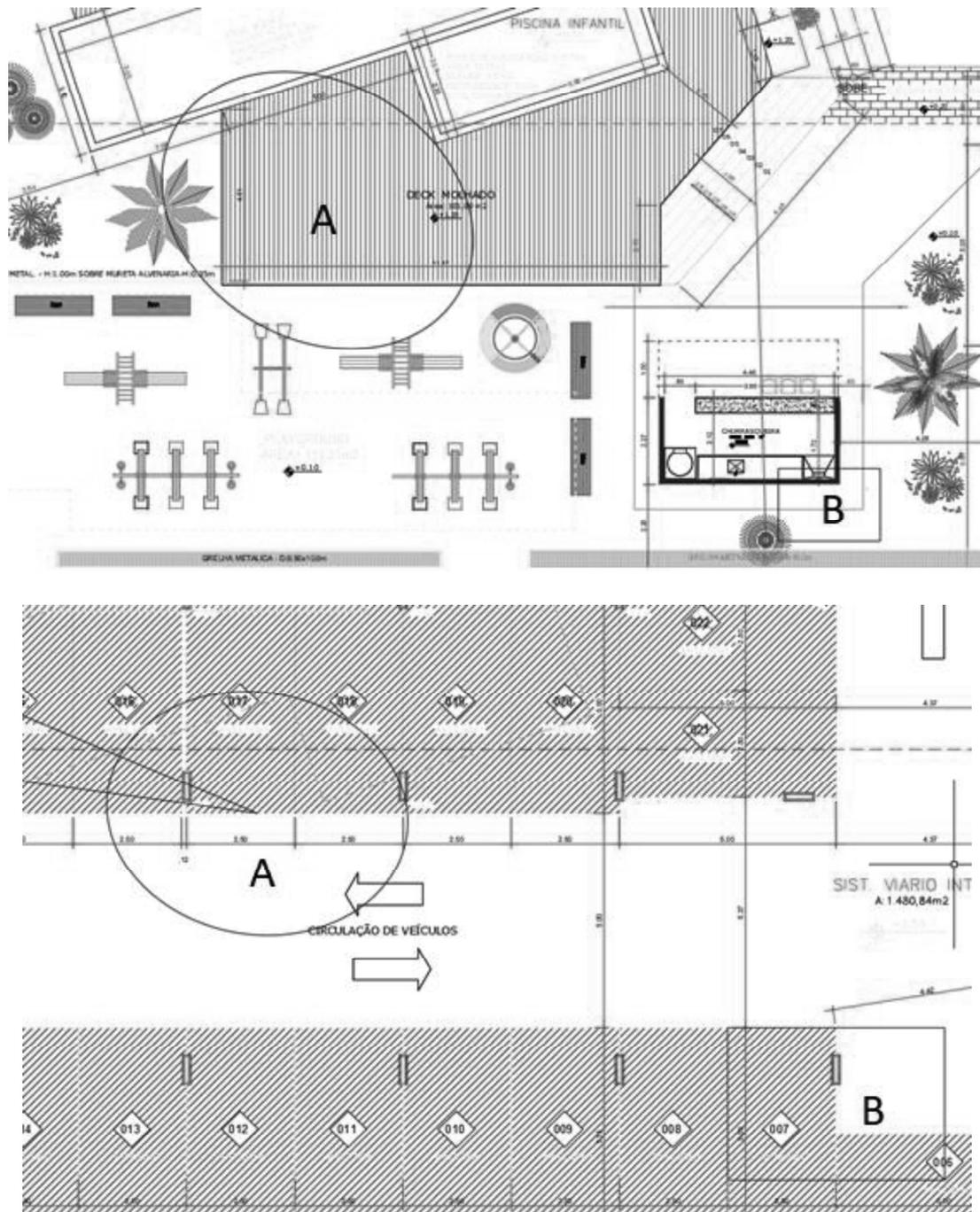
(a)



(b)

Fonte: Prancha 1 do Projeto Arquitetônico

Figura 16 – Disposição dos elementos de lazer no pavimento térreo (a) e localização das vagas de estacionamento no pavimento subsolo (b)



Fonte: Prancha 1 do Projeto Arquitetônico, modificado pelo autor

Figura 17 – Localização das manifestações patológicas X no pavimento subsolo (b) e projeção no pavimento térreo (a).

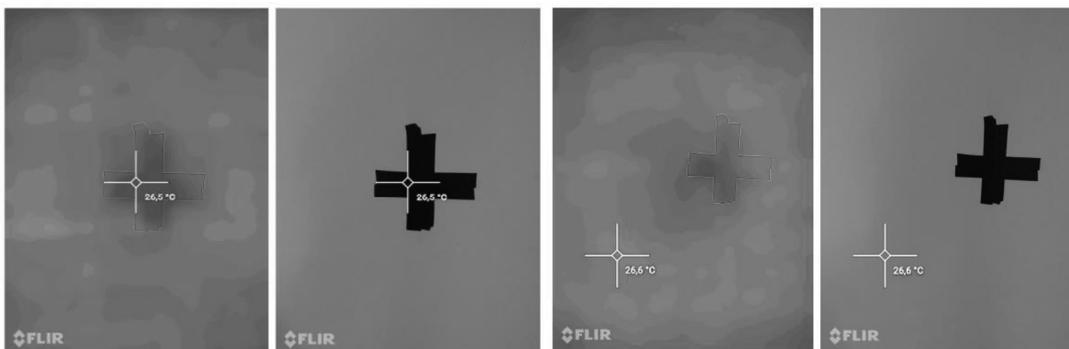
Como as manifestações patológicas se acentuam durante o período de chuvas na região (novembro-março) foi feito um rastreamento com imagens termográficas após o

período de precipitação e após um período que permitisse a secagem superficial do revestimento.

Determinação da emissividade do revestimento e fatores de influência

Apesar de existir tabelas com valores de emissividades para diversos materiais, estes valores devem ser usados apenas como referência (FLIR, 2009, p. 265). Assim, para calibrar o sensor do equipamento foi realizado um teste para obter a emissividade de um revestimento de argamassa do prédio utilizado um ensaio através do método da fita isolante.

Buscou-se um ponto na parede sem umidade aparente e que não apresentasse som cavo. Colocada a fita isolante de cor preta conforme a figura 18.



Fonte: Autoria Própria

Figura 18 – Determinação da influência dos materiais sobre a emissividade e temperatura em uma parede da edificação.

Nas imagens termográficas é possível visualizar uma variação de emissividade entre os diferentes corpos, mesmo estando ambos os pontos medidos expostos a mesma temperatura ambiente. Portanto as imagens produzidas pelo dispositivo poderão detectar a presença de alguma anomalia na forma de apresentação gráfica com variação de cor para superfícies iguais a mesma temperatura.

Para determinar o comportamento da câmera com sensor infravermelho e a detecção de estruturas não aparentes, foi feito um levantamento em uma unidade condominial da edificação estudada. Na figura 19, a imagem termográfica obtida permite a visualização do dreno de umidade condensada pelo evaporador e as diferenças de

emissividade dos diferentes tipos de materiais, a saber parede de alvenaria, madeira, ar frio, áreas quentes do evaporador e dreno embutido dentro da parede sem visualização externa.

Na figura 20 é mostrado o tipo de relatório gerado pelo aplicativo MY FLIR do smartphone CAT S62 Pro, com variação da paleta de cores para as diferentes emissividades captadas pelo sensor da câmera. Fica também mais clara a posição do dreno de umidade condensada, inclusive com o detalhamento do joelho para condução ao sistema de esgotamento sanitário. No informe é apresentado ainda a variação térmica do ambiente.



Fonte: Autoria Própria

Figura 19 – Imagem termográfica de uma parede de unidade condominial com equipamentos instalados na edificação estudada



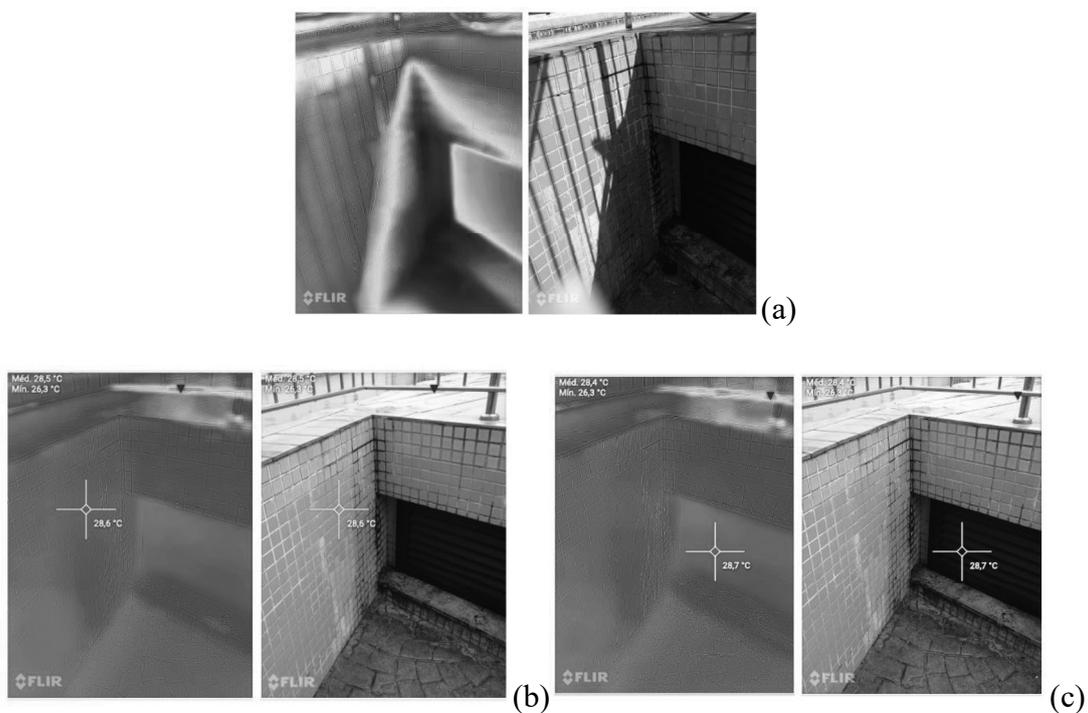
Fonte: Autoria Própria

Figura 20 – Modelo de relatório gerado pelo aplicativo MY FLIR

Outro estudo prévio realizado foi a influência da radiação solar sobre a qualidade da imagem termográfica, conforme é mostrado na figura 21. Na figura 21 (a) é possível verificar que a emissão detectada na mesma parede revestida de ladrilhos sofre a influência do sombreamento. A irradiação acarretada pelos raios solares é refletida sobre a superfície fotografada, gerando uma diferença de emissividade do mesmo material. Nas figuras 21 (b) e (c), feitas no mesmo quando o sombreamento era homogêneo, foi possível identificar as nuances de emissividade, detectando possíveis locais de infiltração da água da piscina. Nota-se também a mesma temperatura de superfície em toda a estrutura.

Rastreamento da superfície do pavimento térreo sobre laje maciça

O rastreamento da superfície externa das lajes foi feito durante o período de chuvas na região (março/abril de 2022). Para a identificação dos padrões de infiltração da água da chuva foram tomadas imagens termográficas logo após o final da precipitação e após um período de secagem superficial do revestimento.

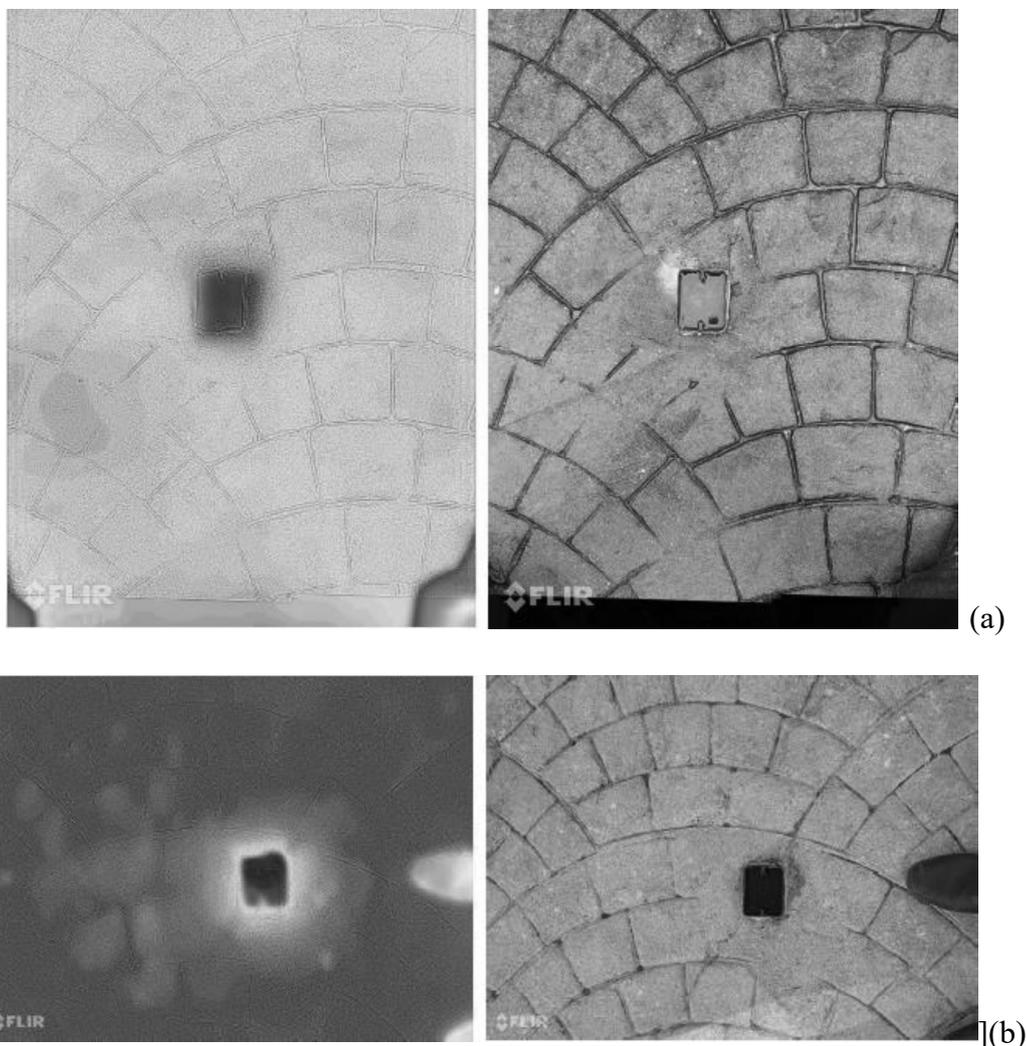


Fonte: Autoria Própria

Figura 21 – Influência do sombreamento sobre a emissividade dos componentes

A área de lazer do condomínio, apresenta estruturas em aço em número de cinco, cortadas junto ao piso, não sendo possível identificar o motivo de instalação destas peças. Na figura 22, obtida após o final da precipitação, nota-se que junto a superfície externa do elemento metálico, existe uma variação de intensidade da emissão de radiação IR em relação ao restante do piso, com coloração homogênea devido a sua molhabilidade, levando-se a deduzir que existe um foco de infiltração de água pluvial junto a esta face.

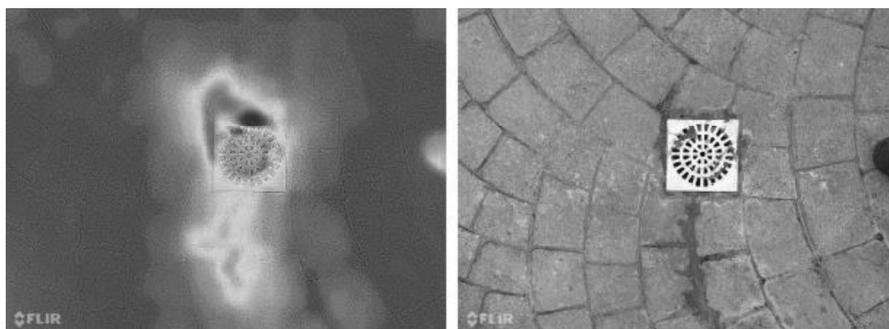
Após um período de secagem superficial é possível verificar que a imagem termográfica apresenta padrões de cor diferentes sobre a mesma área anteriormente molhada, permitindo supor que as manchas com coloração mais frias (nuances de azul) sejam locais em que a água acumulou sobre a manta de impermeabilização.



Fonte: Autoria Própria

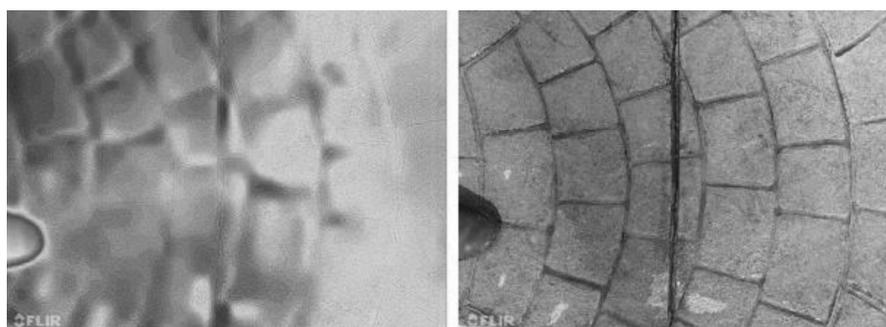
Figura 22 – Imagens termográficas do revestimento logo após precipitação (a) e após secagem por evaporação na superfície (b)

Outros pontos de verificação por rastreabilidade foram os ralos de escoamento da água acumulada na superfície e nas juntas de dilatação do piso, conforme figuras 23 e 24. Em ambos os casos, o padrão obtido após secagem é semelhante ao descrito anteriormente, com acúmulo de água em subsuperfície. No caso do ralo é possível detectar um agravante que é a presença de água junto às fissuras existentes no piso, próximo à área que deveria estar selada pela manta de impermeabilização.



Fonte: Autoria Própria

Figura 23 – Imagem termográfica do ralo para escoamento de água superficial existente no revestimento do pavimento térreo



Fonte: Autoria Própria

Figura 24 – Imagem termográfica de junta de dilatação no revestimento do pavimento térreo

Todas as áreas rastreadas ficam próximas das áreas de aparecimento das manifestações patológicas em subsolo (elipse A e retângulo B), caracterizando que estas infiltrações procuram um caminho de escoamento que percola a laje após alguma falha do sistema de impermeabilização. Evidente também que o selamento feito junto aos ralos não conduzem a água infiltrada para o interior de elemento de escoamento.

Rastreamento da superfície do pavimento térreo sobre lajes com vigotas treliçadas e preenchimento EPS

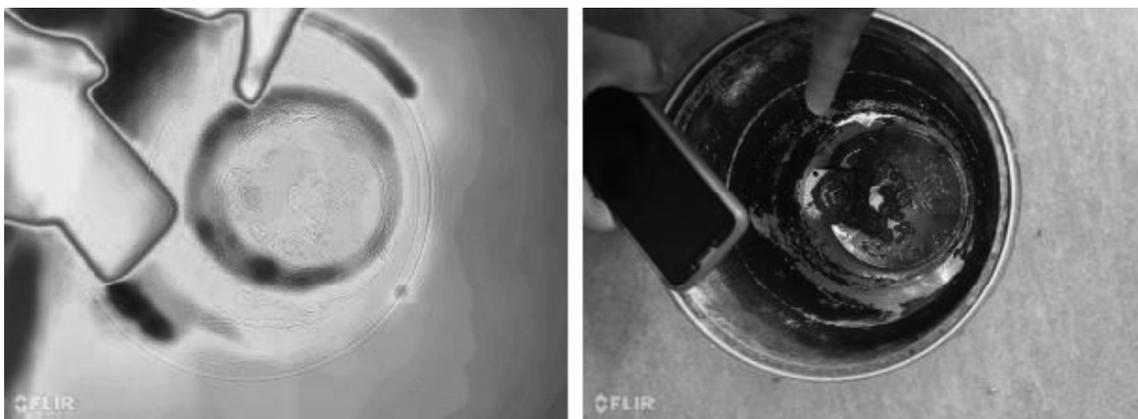
Outra área de detecção de umidade ocorreu junto à parede interna da churrasqueira, onde estão instalados uma pia e chuveiros para acesso à piscina, mostrada na figura 25. Esta região umedecida fica junto a caixa de gordura existe no local e encontra-se edificada sobre as vigas que suportam também as lajes com vigotas treliçadas.



Fonte: Autoria Própria

Figura 25 – Detecção de umidade na churrasqueira do prédio

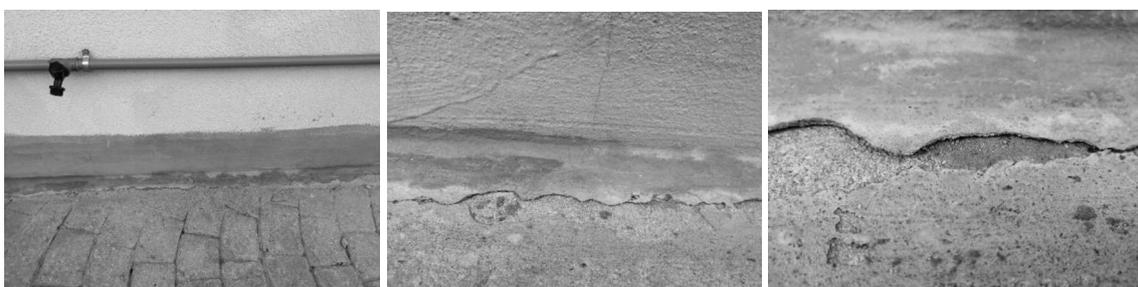
A análise da imagem termográfica da caixa de gordura existente permite identificar que, assim como os ralos descritos anteriormente, as caixas de gordura não apresentam um selamento apropriado para o escoamento de águas de percolação para o seu interior, como pode ser observado na figura 26.



Fonte: Autoria Própria

Figura 26 – Imagem termográfica da caixa de gordura da churrasqueira

Como não era possível afirmar que pudesse estar ocorrendo um vazamento pelos canos de esgotamento da pia, nem nos elementos de condução da água potável, verificou a possibilidade de comprometimento do revestimento no entorno da edificação. Na parede externa foram encontradas fissuras entre o revestimento e a parede (figura 27) compatíveis com a passagem de água e a detecção de umidade na parede interna da edificação. Após um período de secagem desta área e desaparecimento do gotejamento na face inferior da laje, foi feito um teste de carga com a torneira ligada que acarretou o gotejamento com elementos lixiviados sobre a área de estacionamento.

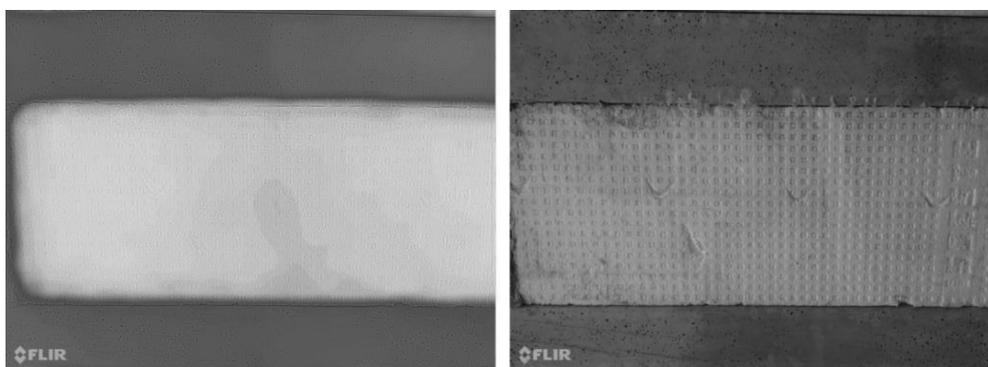


Fonte: Autoria Própria

Figura 27 – Fissuras entre o revestimento e parede da churrasqueira

Análise das imagens termográficas das lajes com vigotas treliçadas e preenchimento EPS

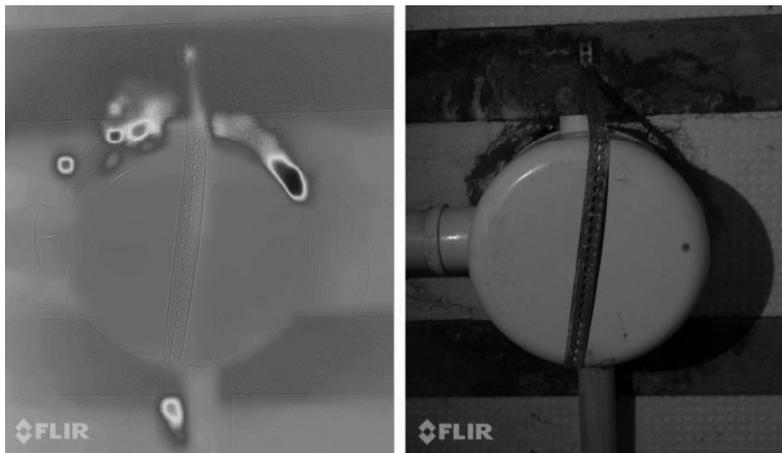
Para a análise das imagens termográficas no subsolo, foi feita a obtenção de uma imagem padrão, em uma área com vigotas e EPS não comprometidos, conforme mostrado na figura 28. Nesta imagem é possível verificar a detecção de diferenças de emissividade entre os materiais componentes do elemento estrutural.



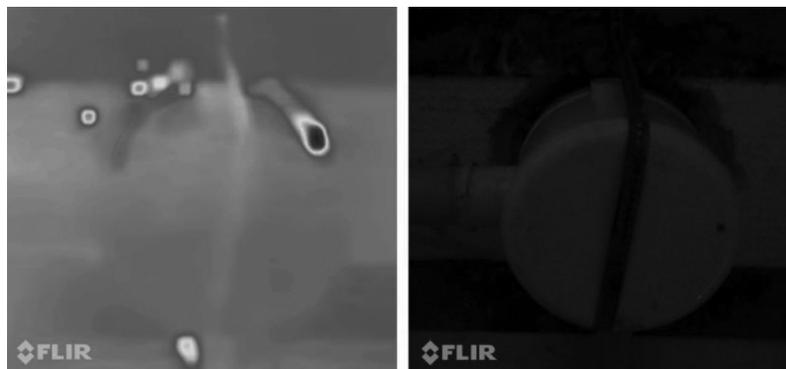
Fonte: Autorial Própria

Figura 28 – Padrão de imagem termográfica em laje com vigotas e EPS não comprometida

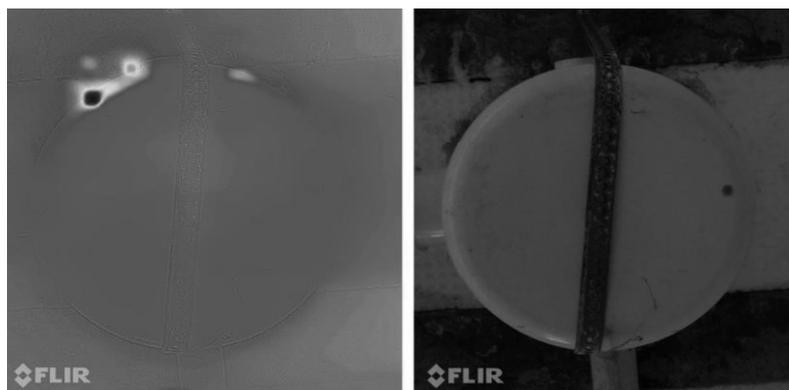
As imagens termográficas obtidas na parte inferior da laje próximas a caixa de gordura permitem identificar o escoamento da água de percolação pelo elemento estrutural, como mostrado nas figuras 29 (a), (b) e (c), quando comparadas à imagem padrão. Na sequência de fotos verifica-se uma variação na intensidade e área da cor azul escura, devido a diminuição do fluxo de água após o cessamento do teste de carga.



(a)



(b)

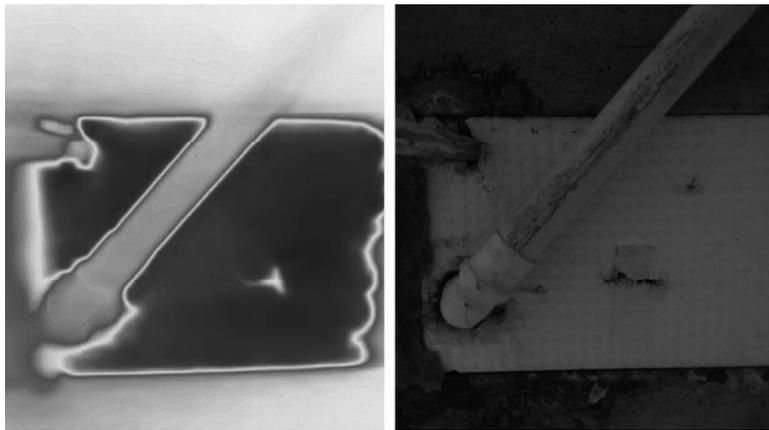


(c)

Fonte: Autorial Própria

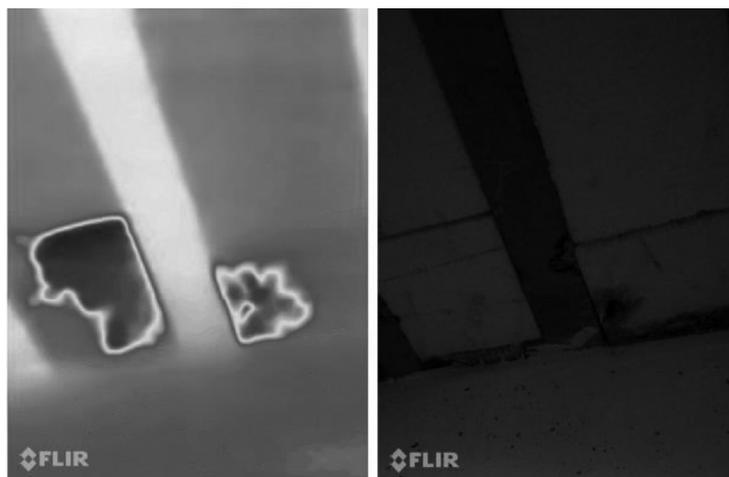
Figura 29 – Imagem termográfica da laje junto com a caixa de gordura aparente no pavimento subsolo.

A avaliação foi feita também em outros locais das lajes com o mesmo padrão construtivos permitindo identificar pontos de umedecimento e gotejamento tanto em canalizações aparente (figura 30), áreas em que ocorreram substituição/junção do elemento EPS (figura 31), ou ainda em áreas sem gotejamento aparente (figura 32). Os problemas relacionados ao aparecimento de umidade e gotejamento nesta área (retângulo B) parecem estar relacionadas a problemas de selamento da impermeabilização junto aos pontos de captura de águas servidas e pluviais.



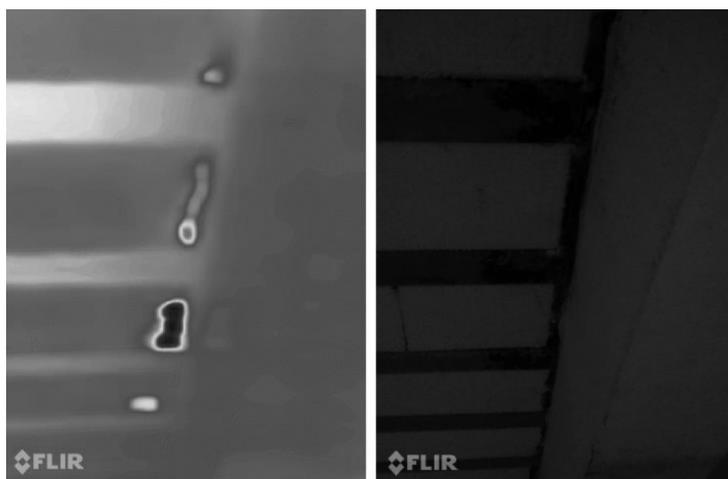
Fonte: Autorial Própria

Figura 30 – Imagem termográfica em laje com vigotas e EPS com comprometimento próximo a canalização de esgoto no pavimento subsolo.



Fonte: Autorial Própria

Figura 31 – Imagem termográfica em laje com vigotas e EPS com comprometimento próximo a viga.



Fonte: Autorial Própria

Figura 32 – Imagem termográfica em laje com vigotas e EPS com comprometimento próximo a parede no pavimento subsolo

Análise das imagens termográficas das lajes maciças

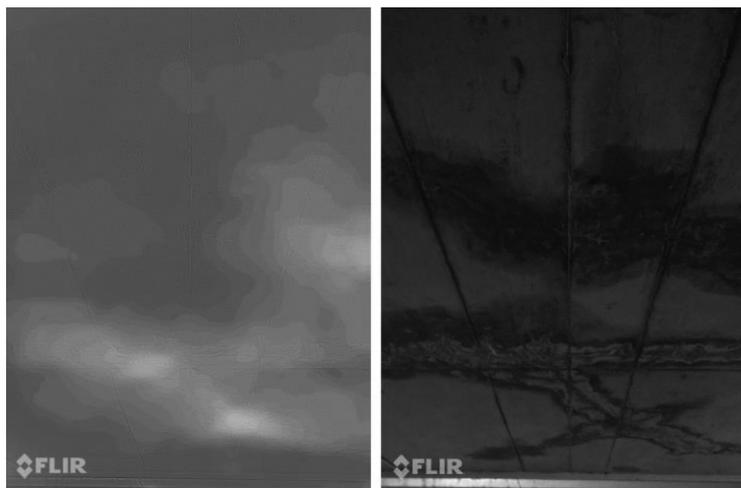
O principal comprometimento do pavimento subsolo é a extensão área de manifestações patológicas na superfície inferior da laje maciça. Além dos problemas já citados de gotejamento de material lixiviado sobre os veículos estacionados, a contínua ação da água, com a ocorrência da despassivação de armaduras do elemento estrutural, levará, com o tempo, a corrosão do aço. Esse fato irá elevar futuramente de forma substancial a correção dos problemas detectados. Deve-se também salientar que parte significativa da água de percolação é proveniente da piscina, que apresenta teores de íon cloro, ainda que baixos, age, concomitante com a presença de CO_2 , como agente mais agressivo de despassivamento.

As imagens obtidas, figuras 33 – 35, mostram o caminho preferencial da água perpendicular ao aparecimento de fissuras e a percolação lateral superficial menos intensa para os lados da zona de fissuramento. Neste mesmo alinhamento de fissuras ocorre o aparecimento de das eflorescências e estalactites, revelando perda de alcalinidade do concreto.



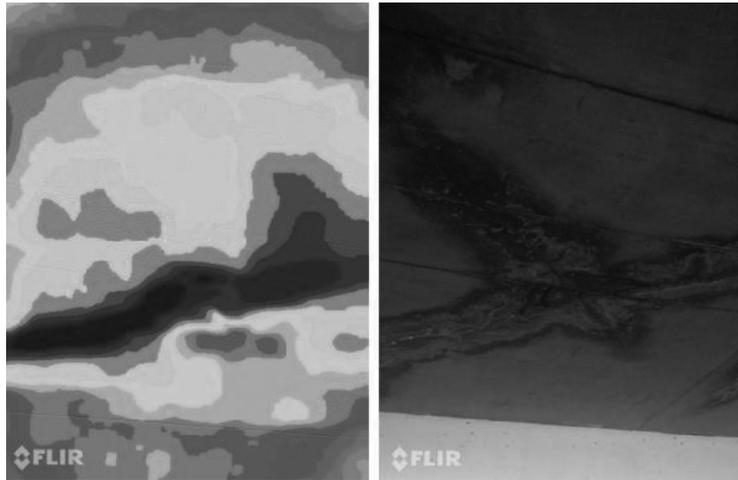
Fonte: Autoria Própria

Figura 33 – Imagem termográfica em laje maciça com maior intensidade de emissividade no caminho preferencial da água de percolação no pavimento subsolo



Fonte: Autoria Própria

Figura 34 – Imagem termográfica em laje maciça com maior intensidade de emissividade no caminho preferencial da água de percolação no pavimento subsolo

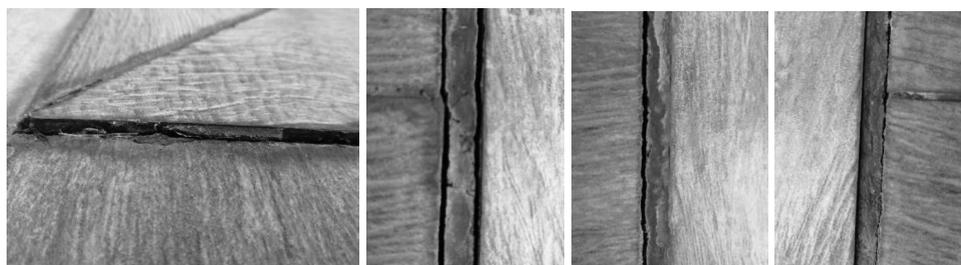


Fonte: Autoria Própria

Figura 35 – Imagem termográfica em laje maciça com maior intensidade de emissividade no caminho preferencial da água de percolação no pavimento subsolo

Comprometimento de estruturas sobre a laje maciça

Ainda que a aparecimento de manifestações patológicas na face inferior da laje maciça possa estar correlacionada com a infiltração em pontos de comprometimento do revestimento da área de lazer, a quantidade e extensão destas manifestações levantam a suspeita de outro comprometimento causado pela área de deck molhado, onde tem-se uma piscina com extensão de 15 metros, recoberta no seu interior e exterior por pastilhas. As imagens termográficas da área lateral da piscina, mostradas anteriormente nas figuras 21 (b) e (c), permitem identificar um padrão de umedecimento nas faces laterais da estrutura, proveniente do transbordamento da água da piscina neste local e nos demais locais da área de deck molhado devido aos problemas de manutenção das peças de revestimento e rejuntas, conforme mostrado nas figuras 36-40.



Fonte: Aatoria Própria

Figura 36 – Comprometimento do revestimento e rejunte na área do deck molhado por falta de manutenção adequada.



Fonte: Aatoria Própria

Figura 37 – Aparecimento de trincas no rejunte das pastilhas internas da piscina com padrão de 45°.



Fonte: Autorial Própria

Figura 38 – Desplacamento de pastilhas na face externa superior da piscina e aparecimento de trincas à 45 no reboco da estrutura.



Fonte: Autorial Própria

Figura 39 – Desplacamento de pastilhas na face externa inferior da piscina e aparecimento de trincas à 45 no reboco da estrutura.



Fonte: Autoria Própria

Figura 40 – Evidências de eflorescências na face externa da piscina sobre as pastilhas de revestimentos

As imagens termográficas do revestimento da piscina, associadas as eflorescências mostradas nas figuras 38 – 40 evidenciam a necessidade de avaliar o comprometimento da manta de revestimento utilizada como vedação da piscina.

Nestes casos, ainda que a manta de impermeabilização da piscina possa estar em estado de funcionamento pleno, o escoamento da água no deck molhado perpassa entre o revestimento externo da piscina e a camada de reboco, buscando um caminho preferencial por dentro da casa de bombas da piscina onde não existe manta de isolamento, fato comprovado pelo depoimento do construtor (Comunicação Pessoal, 2022). Esse fato pode estar motivando a maior intensidade de manifestações patológicas na superfície inferior da laje maciça, exatamente embaixo da piscina.

CONCLUSÃO

A análise das imagens termográficas permite identificar pontos de percolação da água no revestimento, facilitando ações de manutenção em áreas de fissuras por retração ou expansão dos compostos de construção.

Nas imagens termográficas das face inferiores de laje é possível determinar o caminho preferencial de percolação até o aparecimento de gotejamento

Com a técnica não foi possível detectar o ponto de transferência do percolado pela manta de impermeabilização entre o revestimento e a laje maciça. Porém foi possível determinar uma correlação entre o selamento de caixas de gordura e ralos como pontos de penetração de água em lajes com vigotas treliçadas.

BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 16747: Inspeção Predial – Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

CABALEIRO CORTIZO, E. Avaliação da técnica de termografia infravermelha para identificação de estruturas ocultas e diagnóstico de anomalias em edificações: Ênfase em edificações do patrimônio histórico. 2007. 178f.. Tese (Doutorado em Engenharia). Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais. 2007.

CATERPILLAR. Cat® S62 Pro The ultimate work phone with FLIR® thermal imaging. 2022. Disponível em: <https://www.catphones.com/pt-pt/cat-s62-pro-smartphone/>. Acesso em: 14 março. 2022.

FLIR. The Ultimate Resource Guide for Using Infrared in the Research and Development Industry. FLIR Systems. Ebook, 2012. Disponível em: <https://www.flir.com.br/discover/rd-science/the-ultimate-infrared-handbook-for-rnd-professionals/>. Acesso em: 14 março. 2022.

GRUPOCHT. Termografia na construção civil. Grupo CHT. (?). Disponível em: <https://grupocht.com.br/termografia-na-construcao-civil/>. Acesso em: 14 março. 2022.

MARIO, M. Uso da termografia como ferramenta não destrutiva para a avaliação de manifestações patológicas ocultas. 2011, 70f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2011.

MÁXIMO, M. A. da S.; PANTOJA, J. da C. Aplicação da termografia infravermelha para identificar patologias em edifícios da arquitetura monumental / Infrared thermography application to identify pathologies on monumental architecture buildings. Brazilian Journal of Development, [S. l.], v. 6, n. 8, p. 60377–60392, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n8-450. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/15318>. Acesso em: 28 ago. 2022.

MEDEIROS, G. Métodos de ensaios não destrutivos para estruturas de concreto. Cimento Itambé. 2010. Disponível em: <https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/metodos-de-ensaios-nao-destrutivos-para-estruturas-de-concreto/#:~:text=Na%20constru%C3%A7%C3%A3o%20civil%2C%20as%20aplica%C3%A7%C3%B5es,marquises%2C%20viadutos%20e%20outras%20obras>. Acesso em: 14 março. 2022.

MENEZES, L. A. A.; PÓVOAS, Y. V.; VIÉGAS, D. J. A. The use of infrared thermography to verify corrosion on reinforced concrete posts. Research, Society and Development, [S. l.], v. 11, n. 5, p. e27911528065, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i5.28065. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/28065>. Acesso em: 28 ago. 2022.

MMTEC. Termografia: Análise termográfica. 2020. Disponível em: https://www.mmtec.com.br/termografia/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=MMT_UP2_UNIFICADA_REGIONAL&utm_term=termografia&gclid=Cj0KCQjwnNyUBhCZARIsAI9AYIFVrWFve5cBdtFv4mxOHtXBEgQdXVXLQJV2Ld7q--Qy-yR00tz9OUYaAvraEALw_wcB. Acesso em: 14 março. 2022.

NOVAIS, E. O que é termografia infravermelha? Subiter. 2020. Disponível em: <https://www.subiter.com/post/termografia-infravermelha>. Acesso em: 14 março. 2022.

OLIVEIRA, L. C. D.; MATOSKI, A.; MEDEIROS, A.; MAZER, W. O potencial da termografia na detecção do aço em estruturas de argamassa armada/ The potential of thermography to detect steel in reinforced mortar structures. *Brazilian Applied Science Review*, [S. l.], v. 3, n. 5, p. 2072–2084, 2019. DOI: 10.34115/basrv3n5-012.

Disponível em:

<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BASR/article/view/3735>. Acesso em: 28 ago. 2022.

RESPONSÁVEL CONSTRUTORA. Comunicação Pessoal. 2022.

SCHEIDEGGER, G. M. Impermeabilização de edificações: mantas asfálticas e argamassas poliméricas. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*. Ano 04, Ed. 03, Vol. 05, pp. 126-151. Março de 2019. ISSN: 2448-0959.

SENA, G.O., NASCIMENTO M.L.M., NABUT NETO, A. C. (coord.). *PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES*.

SHIROZAKI CUNHA, L. Avaliação de Edificações com a utilização da Termografia como ensaio não destrutivo – Estudo de caso. 2016. 39f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Engenharia Civil. UniCEUB - Centro Universitário de Brasília, Brasília. 2016.