

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO E TECNOLOGIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Bárbara Boger Tolentino Juliani

AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO E VIABILIDADE DA TERMOGRAFIA
INFRAVERMELHA EM INSPEÇÕES DE REVESTIMENTOS E ESTRUTURAS NA
CONSTRUÇÃO CIVIL

Belo Horizonte

2019

Bárbara Boger Tolentino Juliani

**AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO E VIABILIDADE DA TERMOGRAFIA
INFRAVERMELHA EM INSPEÇÕES DE REVESTIMENTOS E ESTRUTURAS NA
CONSTRUÇÃO CIVIL**

Monografia de especialização apresentada à Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Gestão e Tecnologia na Construção Civil.

Orientador: Prof. Dr. José Eduardo de Aguiar

Belo Horizonte

2019

J91a

Juliani, Bárbara Boger Tolentino.

Avaliação da utilização e viabilidade da termografia infravermelha em inspeções de revestimentos e estruturas na construção civil [recurso eletrônico] /Bárbara Boger Tolentino Juliiani. – 2019.

1 recurso online (44 f. : il., color.) : pdf.

Orientador: José Eduardo de Aguiar.

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia da UFMG.

Bibliografia: f. 42-44.

Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Construção civil. 2. Revestimentos. 3. Termografia. 4. Resistência de materiais. 5. Engenharia – Inspeção. 6. Engenharia de Estruturas. I. Aguiar, José Eduardo de. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 69

**ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA**

ALUNO: BÁRBARA BOGER TOLENTINO JULIANI

MATRÍCULA: 2019699561

RESULTADO

Aos 18 dias do mês de agosto de 2020 realizou-se a defesa da MONOGRAFIA de autoria do aluno acima mencionado sob o título:

"ANÁLISE SOBRE A UTILIZAÇÃO DA TERMOGRAFIA EM INSPEÇÃO DE REVESTIMENTOS ESTRUTURAIS E SUA VIABILIDADE"

Após análise, concluiu-se pela alternativa assinalada abaixo:

 APROVADO APROVADO COM CORREÇÕES REPROVADO

NOTA: 100

CONCEITO: A

BANCA EXAMINADORA:

Nome

Prof. Dr. José Eduardo de Aguiar

Assinatura

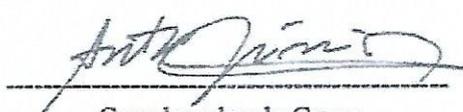
Nome

Prof. Dr. Antônio Neves de Carvalho Júnior

Assinatura

O candidato faz jus ao grau de "ESPECIALISTA EM CONSTRUÇÃO CIVIL: "GESTÃO E TECNOLOGIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL"

Belo Horizonte, 18 de agosto de 2020


Coordenador do Curso
Prof. Antonio Neves
de Carvalho Júnior

Coordenador do Curso

AGRADECIMENTOS

Gostaria de deixar aqui meu agradecimento aos professores do curso de Especialização em Gestão e Tecnologia na Construção Civil da Universidade Federal de Minas Gerais pela excelência da qualidade técnica de cada um. Os ensinamentos, experiências, apoio e atenção de vocês contribuíram não só profissionalmente, incentivaram e ensinaram sobre determinação e dedicação.

Aos colegas de sala, agradeço pela união, amizade e conversas ao longo do curso. Juntos nós conseguimos avançar e ultrapassar todos os obstáculos.

Ao Departamento de Engenharia de Materiais e da Construção Civil (DEMC) da UFMG, obrigada pela oportunidade!

Aos meus avós Erich e Helga, meu eterno muito obrigada. Sem a ajuda e suporte de vocês não seria possível ter chegado até aqui.

Ao orientador, Prof. Dr. José Eduardo de Aguiar deixo toda minha gratidão, admiração e respeito. Agradeço em especial, pela confiança.

Á todos que contribuíram de forma direta ou indireta para a realização deste trabalho.

“Tente uma, duas, três vezes e se possível tente a quarta, a quinta e quantas vezes for necessário. Só não desista nas primeiras tentativas, a persistência é amiga da conquista. Se você quer chegar aonde a maioria não chega, faça o que a maioria não faz” (Bill Gates).

Resumo

A termografia infravermelha tem mostrado grande potencial na construção civil. O uso do equipamento em inspeções pode auxiliar na identificação e diagnóstico de manifestações patológicas, reduzindo tempo, custo e risco nas atividades. Apesar de a técnica apresentar potencial na construção civil, ainda é pouco divulgada e utilizada pelos profissionais da área. O presente trabalho tem como objetivo desenvolver uma análise sobre a utilização da termografia infravermelha em inspeções de revestimentos e estruturas na construção civil, buscando demonstrar sua aplicação em inspeções prediais e industriais, as limitações e dificuldades do equipamento, sua importância nas manutenções e ensaios não destrutivos, e questões relacionadas ao custo do equipamento. Para desenvolver o objetivo proposto, foi realizado um mapeamento termográfico sobre a chaminé de duas caldeiras de uma planta industrial. Os resultados obtidos comprovam que a técnica possui precisão e potencialidade em identificar anomalias ocultas, permitindo medir a extensão do problema e identificar as áreas que exigem maior atenção. Com o estudo realizado foi observado também que a escassez de profissionais que utilizam a técnica, pode estar ligada ao alto investimento, conhecimento e prática que a termografia infravermelha exige.

Palavras-chave: Termografia. Inspeção. Construção civil. Ensaio não destrutivos. Manifestações patológicas. Revestimentos. Estruturas.

Abstract

Infrared thermography has shown great potential in civil construction. The use of equipment in inspections can help in the identification and diagnosis of pathological manifestations, reducing time, cost and risk in activities. Although the technique has potential in civil construction, it is still little known and used by professionals in the field. The present work aims to develop an analysis on the use of infrared thermography in inspections of coatings and structures in civil construction, seeking to demonstrate its application in building and industrial inspections, the limitations and difficulties of the equipment, its importance in maintenance and non-destructive tests, and issues related to equipment cost. To develop the proposed objective, a thermographic mapping was carried out on the chimney of two boilers in an industrial plant. The results obtained prove that the technique has precision and potential to identify hidden anomalies, allowing to measure the extent of the problem and to identify the areas that require more attention. With the study carried out it was also observed that the shortage of professionals who use the technique, may be linked to the high investment, knowledge and practice that infrared thermography requires.

Keywords: Thermography. Inspection. Construction. Non-destructive testing. Pathological manifestations. Coatings. Structures.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Espectro de radiação eletromagnética.....	12
Figura 2: Espectro visível e das subdivisões do infravermelho.....	13
Figura 3: Fluxograma das etapas de uma inspeção preliminar e detalhada.....	15
Figura 4: Desempenho com e sem manutenção.	16
Figura 5: Tipos de manutenção em relação aos resultados.	17
Figura 6: Termograma destaca condição da superfície da parede em uma caldeira.	19
Figura 7: Termograma destaca a condição da superfície em uma torre de condensação.	19
Figura 8: Inspeção termográfica em tambor de forno de cal, com não uniformidade do calor na superfície do tambor, prejudicando a isolamento térmica do equipamento e comprometendo a vida útil e segurança da instalação.	19
Figura 9: Falha no isolamento.	20
Figura 10: Infiltração por umidade.....	21
Figura 11: Vazamento de ar.	21
Figura 12: Vazamento de um chuveiro.	22
Figura 13: Detecção de destacamentos em uma fachada com revestimento cerâmico.	22
Figura 14: Identificação de elementos estruturais.	23
Figura 15: Modelos de câmeras.....	23
Figura 16: Inspeção de estrutura utilizando Drone.....	25
Figura 17: Identificação de manifestações patológicas em fachada utilizando Drone.....	25
Figura 18: Diferente visualização de destacamento em inspeção realizada pela manhã e à noite.	26
Figura 19: Divisão da circunferência da chaminé.	29
Figura 20: Divisão da altura da chaminé.....	30
Figura 21: Registro THV-01 >> Lado ESQUERDO >> Anel 1.	32
Figura 22: Registro THV-02 >> Lado ESQUERDO >> Anel 2.	32
Figura 23: Registro THV-03 >> Lado ESQUERDO >> Anel 3.	33
Figura 24: Registro THV-04 >> Lado ESQUERDO >> Anéis 4 e 5.....	33
Figura 25: Registro THV-05 >> Lado ESQUERDO >> Anéis 6 a 11.....	34
Figura 26: Registro THV-22 >> Lado ESQUERDO >> Anéis 9 a 14.....	34
Figura 27: Registro THV-06 >> Lado RUA >> Anel 1.	35
Figura 28: Registro THV-07 >> Lado RUA >> Anéis 2 e 3.....	35
Figura 29: Registro THV-08 >> Lado RUA >> Anéis 4 a 6.....	36

Figura 30: Registro THV-09 >> Lado RUA >> Anéis 6 a 14.....	36
Figura 31: Registro THV-10 >> Lado DIREITO >> Anel 1.	37
Figura 32: Registro THV-11 >> Lado DIREITO >> Anéis 2 e 3.	37
Figura 33: Registro THV-12 >> Lado DIREITO >> Anéis 4 e 5.	38
Figura 34: Registro THV-14 >> Lado DIREITO >> Anéis 7 a 14.	38
Figura 35: Registro THV-15 >> Lado CALDEIRA >> Anel 1.	39
Figura 36: Registro THV-16 >> Lado CALDEIRA >> Anel 2.	39
Figura 37: Registro THV-17 >> Lado CALDEIRA >> Anéis 3 a 5.	40
Figura 38: Registro THV-18 >> Lado CALDEIRA >> Anéis 6 a 11.	40
Figura 39: Registro THV-19 >> Lado CALDEIRA >> Anéis 9 a 14.	41

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	11
2.1 TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA	12
2.1.1 Método Qualitativo	13
2.1.2 Método Quantitativo	13
2.2 INSPEÇÃO	14
2.3 MANUTENÇÃO	16
2.3.1 Manutenção Corretiva	17
2.3.2 Manutenção Preventiva	17
2.3.3 Manutenção Preditiva.....	17
2.4 APLICAÇÕES DA TERMOGRAFIA	18
2.4.1 Aplicações em instalações industriais e processos.....	18
2.4.2 Termografia aplicada em diagnóstico predial	20
2.5 A TERMOGRAFIA COMO ENSAIO NÃO DESTRUTIVO	24
2.5.1 Termografia passiva	24
2.5.2 Termografia ativa	24
2.5.3 Combinação com outros ensaios	24
2.6 LIMITAÇÕES E DIFICULDADES	25
3 MATERIAIS E METODOLOGIA.....	27
3.1 NORMAS E PADRÕES APLICADOS	27
3.2 CRITÉRIOS E CONDIÇÕES AMBIENTAIS.....	28
3.3 ORIENTAÇÕES ADOTADAS PARA INTERPRETAÇÃO DO MAPEAMENTO TERMOGRÁFICO	29
3.4 IDENTIFICAÇÕES DOS TERMOGRAMAS	30
3.5 REGISTROS TERMOGRÁFICOS	31
3.5.1 Registros termográficos lado esquerdo	31
3.5.2 Registros termográficos lado rua.....	34
3.5.3 Registros termográficos lado direito	36
3.5.4 Registros termográficos lado caldeira	38
4 RESULTADOS	41

5 CONCLUSÕES.....42
6 REFERÊNCIAS42

1 INTRODUÇÃO

O surgimento de problemas nas construções está relacionado a diversos fatores, sendo muitas vezes decorrentes de um conjunto destes, que acabam desencadeando em manifestações patológicas. Quanto mais cedo se detecta uma anomalia, mais eficiente e econômico será a intervenção (Tutikian; Pachaco, 2013).

A investigação de manifestações patológicas envolve o processo de identificar, quantificar e determinar a gravidade do problema. São vários instrumentos e metodologias aplicadas neste processo de investigação. Um correto diagnóstico depende de informações precisas e que avaliem corretamente os mecanismos e variáveis que influenciam no desenvolvimento do problema (Bauer et al. 2014).

A inspeção é um instrumento essencial para garantir a durabilidade da construção, tendo a finalidade de registrar danos e avaliar a importância que os mesmos possam ter em relação ao comportamento e segurança estrutural (Souza; Ripper, 1998). A inspeção como em fachadas de edifícios, se torna uma atividade de logística complexa devido à elevada altura dos edifícios, as difíceis condições de acesso e a necessidade de efetuar avaliações com os edifícios em utilização, conseqüentemente, dificultando a obtenção dos dados (Bauer et al. 2014).

Ao realizar uma inspeção, é importante procurar preservar os materiais que compõe os diferentes sistemas construtivos mantendo sua funcionalidade, integridade e estado original.

O presente trabalho tem como objetivo realizar uma análise sobre a utilização da termografia em inspeções de revestimentos e estruturas na construção civil, e fazer um levantamento de questões relacionadas à viabilidade da técnica, apresentando sua potencialidade, limitações e dificuldades.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O setor da construção civil evolui progressivamente, tanto nas técnicas construtivas como no desenvolvimento de materiais de construção, no entanto, as manifestações patológicas das edificações continuam ocorrendo, podendo ser originadas decorrentes de problemas de execução, manutenção precária ou uso inadequado. (Santos, 2013).

Apesar de a termografia ser de uso conceituado na engenharia, na construção civil brasileira ainda é pouco empregada. Para aplicação no estudo das manifestações patológicas dos elementos e materiais, ainda é necessário estabelecer um conjunto importante de critérios e

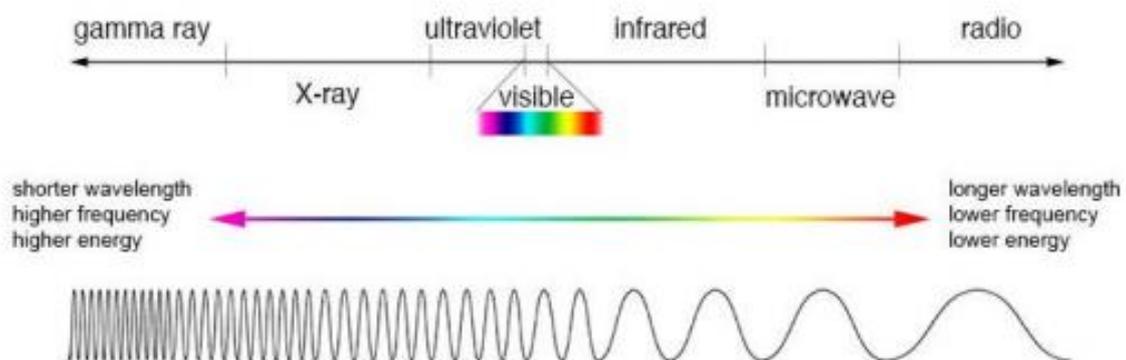
padrões que permitam identificar as anomalias com segurança. A técnica apresenta um grande potencial para identificação de problemas devido à agilidade e simplicidade ao realizar a inspeção, mas saber utilizar a técnica é imprescindível para obter os melhores resultados.

2.1 TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA

A termografia infravermelha é uma técnica que coleta e mede a intensidade da radiação infravermelha (não visível) emitida pela superfície dos objetos e a converte em sinais elétricos. Esses sinais, através de softwares apropriados permitem obter imagens térmicas, possibilitando visualização e análise do objeto em estudo.

Assim como nas ondas de rádio, a energia térmica é invisível a olho nu, sendo composta por um comprimento de onda muito maior que a luz visível. Na figura 1 é possível perceber a região do espectro sensível ao olho humano.

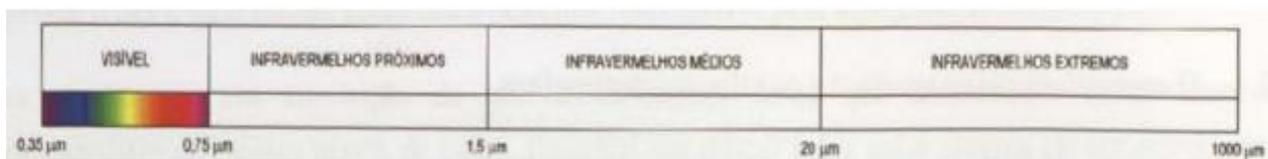
Figura 1: Espectro de radiação eletromagnética.



Fonte: NASA, 2013.

A região do espectro visível do olho humano vai de $0,35 \mu\text{m}$ a $0,75 \mu\text{m}$. E os raios infravermelhos variam de $0,75 \mu\text{m}$ a $1000 \mu\text{m}$, podendo ainda ser subdivididas como apresentado na figura 2 (MARIO, 2011).

Figura 2: Espectro visível e das subdivisões do infravermelho.



Fonte: BARREIRA, 2004, p. 36.

A termografia infravermelha se baseia no princípio de que todo material emite diferentes energias térmicas. Desta forma, com a termografia infravermelha a parcela do espectro que vemos é expandida drasticamente, permitindo obter imagens térmicas sem contato, tornando o não visível para uma imagem visível em um display, com gradiente de cores, onde cada cor representa uma temperatura (FLIR, 2013).

Existem duas formas de aplicar a termografia, podendo ser o método qualitativo ou quantitativo.

2.1.1 Método Qualitativo

O método qualitativo refere-se ao perfil e não aos valores térmicos apresentados. Neste caso, o objetivo será para descobrir se existe alguma anomalia e onde está localizada (Bauer et al. 2015). Na análise qualitativa, algumas aplicações não exigem a determinação da temperatura exata, a temperatura estudada é apenas aparente, recolhendo dados para serem interpretados de uma forma mais rápida (Rocha; Póvoas, 2017). Esta é a característica que classifica a termografia infravermelha como uma técnica que fornece laudos instantâneos.

2.1.2 Método Quantitativo

A partir do momento que o objetivo é classificar o nível de gravidade da anomalia, sendo necessários os ajustes e medições dos parâmetros termográficos de medição (emissividade, distância, temperatura refletida, entre outros), o método passa a ser quantitativo (Bauer et al. 2015). Vale salientar que este método é sempre o segundo a ser aplicado, pois

incondicionalmente, a primeira análise sempre tem de ser a qualitativa. Caso contrário, é bem provável que o profissional não está fazendo nada além de uma análise comparativa.

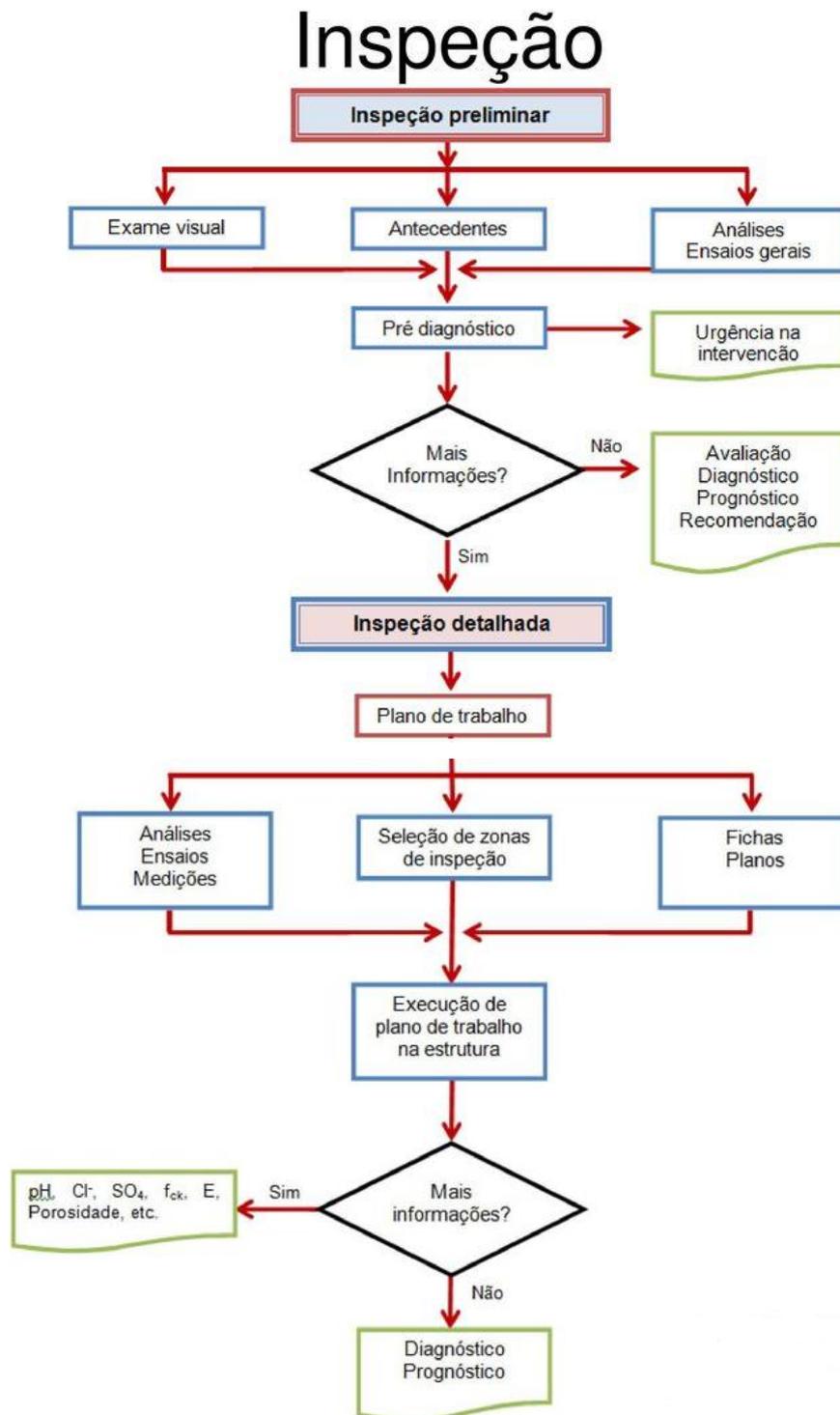
2.2 INSPEÇÃO

A inspeção é uma atividade técnica especializada que abrange a coleta de elementos, de projeto e construção, o exame minucioso da construção, a elaboração de relatórios, a avaliação do estado da obra e as recomendações, que podem ser de nova vistoria, de obras de manutenção, de recuperação, reforço ou de reabilitação da estrutura (Helene, 2007).

Em termos gerais, uma inspeção corresponde com as etapas de elaboração de uma ficha de antecedentes da estrutura e do ambiente, baseado em documentação existente e visita à obra, exame visual geral da estrutura, levantamento dos danos, seleção de regiões para a realização de ensaios, medições, análises físico-químicas no concreto, nas armaduras e no ambiente circundante; seleção das técnicas de ensaio, medições, análise mais acurada, entre outros, execução de medições, ensaios e análises físico-químicas.

Os procedimentos relacionados com a inspeção podem envolver um trabalho simples em alguns casos ou podem necessitar de um trabalho investigativo complexo, dependendo da amplitude e natureza do problema. Dependendo do tipo de informação que se quer obter, pode-se adotar uma inspeção preliminar e inspeção detalhada.

Figura 3: Fluxograma das etapas de uma inspeção preliminar e detalhada.



Fonte: Helene, 2007.

É importante frisar que a inspeção é uma parte fundamental, mas corresponde apenas a uma parte da manutenção. As inspeções auxiliam na identificação dos problemas, porém, após, deve-se intervir no elemento danificado, como é definido na ABNT NBR 5674:2012, a inspeção

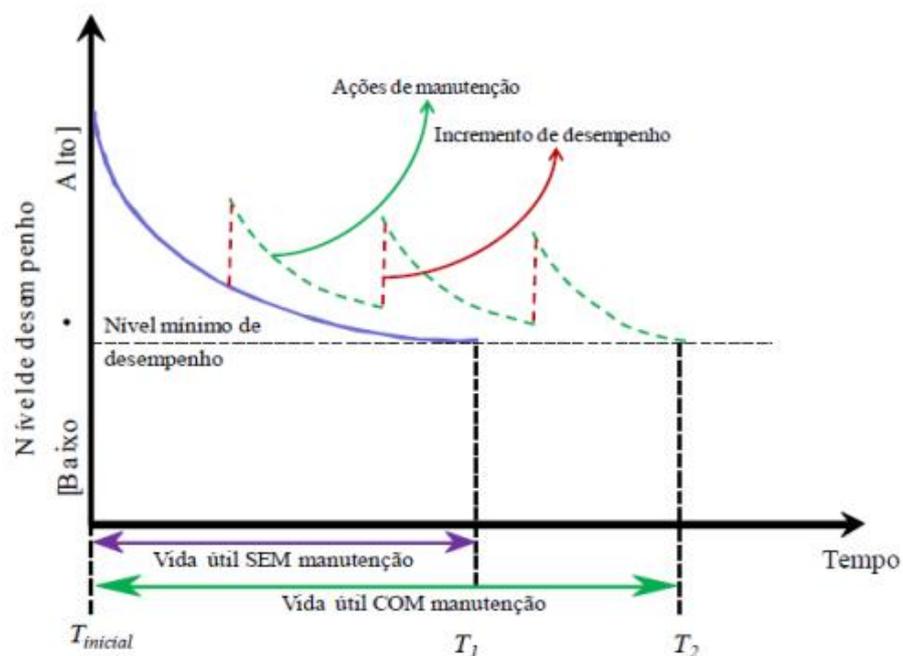
é a “avaliação do estado da edificação e de suas partes constituintes, realizada para orientar as atividades de manutenção”.

2.3 MANUTENÇÃO

Independentemente do seu tipo e da forma de aplicação, a manutenção pode ser definida como um “conjunto de atividades a serem realizadas para conservar ou recuperar a capacidade funcional da edificação e de suas partes constituintes de atender as necessidades e segurança dos usuários.” (ABNT NBR 5674:2012).

A manutenção está relacionada à vida útil, pois essa pode normalmente ser prolongada através de ações de manutenção. Como mostra na figura 4.

Figura 4: Desempenho com e sem manutenção.



Fonte: ABNT NBR 15575: 2013.

Entre as diversas formas e tipos de manutenção, as mais recorridas são: a manutenção corretiva, a manutenção preventiva e a manutenção preditiva. Cada uma delas possui uma forma de aplicação e um momento certo para ser realizada.

2.3.1 Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva, como o próprio nome diz, corrige falhas, quebras ou defeitos, realizando intervenções que façam com que retornem à operação normal.

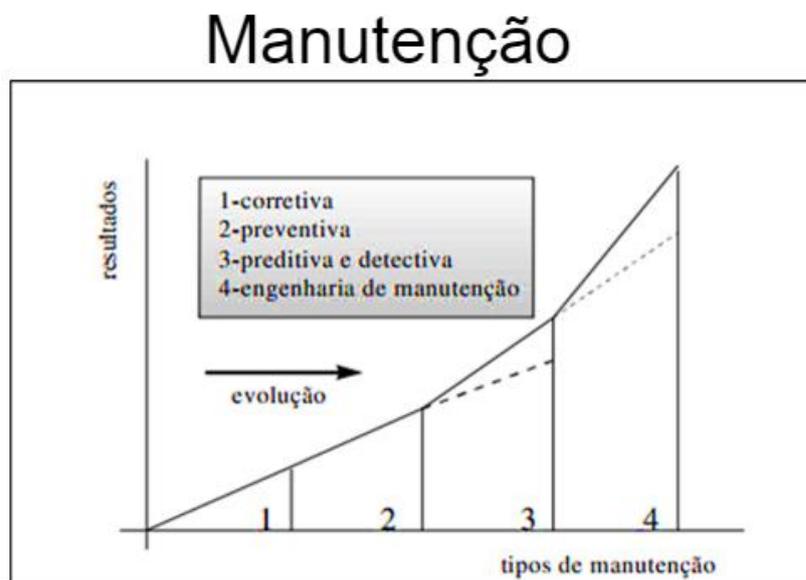
2.3.2 Manutenção Preventiva

Realizada de forma periódica, esse tipo de manutenção é cumprida antes que ocorram as falhas, garantindo que mantenham seu funcionamento de forma eficaz. Os procedimentos preventivos são programados e devem seguir o intervalo previamente determinado.

2.3.3 Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva, ou detectiva, acompanha por instrumentação o desempenho do sistema analisado, como é o caso da termografia infravermelha. Conhecida também como Engenharia de Manutenção é a forma mais eficiente de garantir o desempenho e a vida útil da edificação, diminuindo a possibilidade de falhas (Figura 5).

Figura 5: Tipos de manutenção em relação aos resultados.



Fonte: Kardec e Nascif, 2001.

2.4 APLICAÇÕES DA TERMOGRAFIA

A técnica pode ser utilizada para diversas aplicações. Na indústria e na construção civil a termografia é usualmente aplicada em inspeção de equipamentos elétricos, mecânicos, diagnóstico predial, verificação e identificação de anomalias em revestimentos internos de refratários (caldeiras, fornos, fornalhas, chaminés, entre outros).

2.4.1 Aplicações em instalações industriais e processos

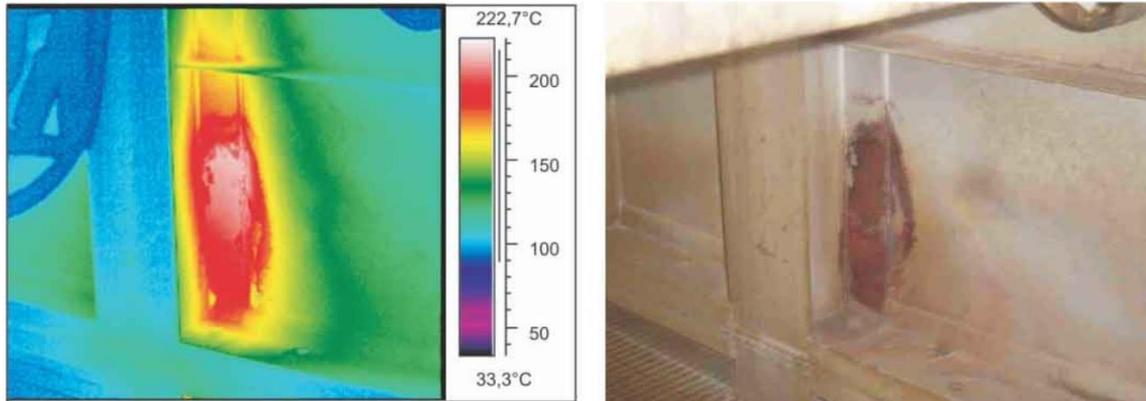
As inspeções termográficas estão entre os principais procedimentos de manutenções preditivas, uma vez que determina com antecedência a necessidade de realizar algum tipo de manutenção nos componentes, tornando muito mais fácil a eliminação do problema sem a necessidade de desmontagem de equipamentos ou danificação de estruturas.

Problemas ocultos podem ser detectados rapidamente, permitindo fazer reparos em tempo hábil, evitando paradas não programadas e aumentando a segurança da planta.

Segundo Gomes Junior (2018), a aplicação da termografia em instalações industriais e processos, permite fazer análise termográfica em isolamentos térmicos, que consiste em verificar o grau de eficiência do isolamento, logo, tanto a degradação do isolante térmico como o desgaste do refratário isolante, podem ser percebidos através da medição e composição do mapa termográfico. Com o mapa termográfico é possível planejar de forma precisa os locais que necessitam de reforma ou reparo.

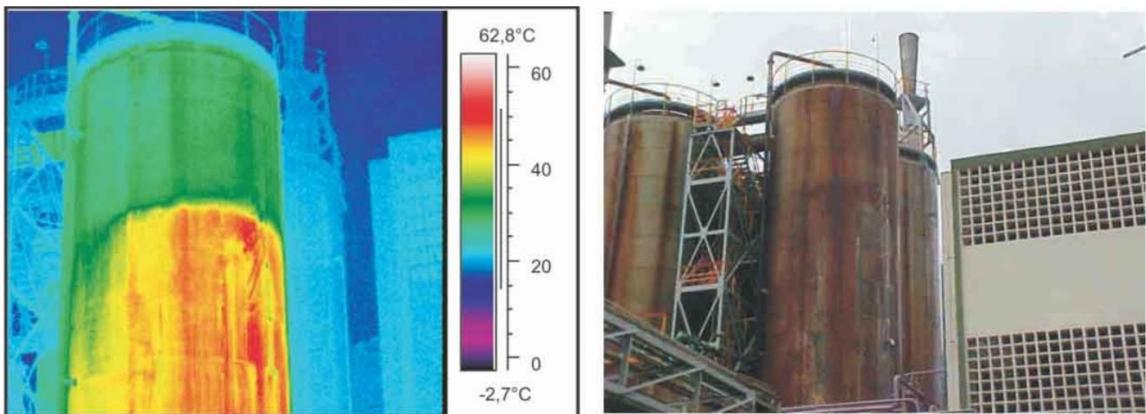
Esse tipo de análise termográfica pode ser aplicada em superfícies como, secadores, fornos rotativos, vasos com revestimentos antiácidos, caldeiras, tubulações e purgadores de vapor, câmaras de resfriamento, equipamentos com revestimentos cerâmicos, painéis para transporte de aço, alto-forno, convertedores, carros torpedos, fornos de pelotização, fornos de tratamento térmico, entre outros.

Figura 6: Termograma destaca condição da superfície da parede em uma caldeira.



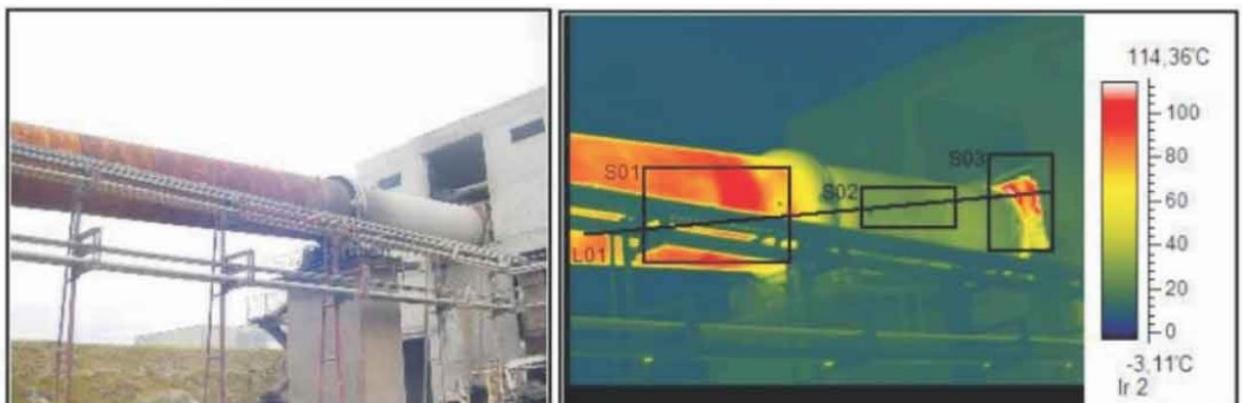
Fonte: Gomes Júnior, 2018.

Figura 7: Termograma destaca a condição da superfície em uma torre de condensação.



Fonte: Gomes Júnior, 2018.

Figura 8: Inspeção termográfica em tambor de forno de cal, com não uniformidade do calor na superfície do tambor, prejudicando a isolação térmica do equipamento e comprometendo a vida útil e segurança da instalação.



Fonte: Gomes Júnior, 2018.

2.4.2 Termografia aplicada em diagnóstico predial

Muitas manifestações patológicas são facilmente detectadas por serem visíveis. Consequentemente, trazem desconforto aos usuários e diversos riscos, pois são manifestações que já estão afloradas na superfície da edificação, em um estágio avançado. As manifestações patológicas ocultas como destacamento do revestimento, que são de difícil detecção, se torna visível com a termografia, podendo ser detectadas ainda em seu estágio inicial.

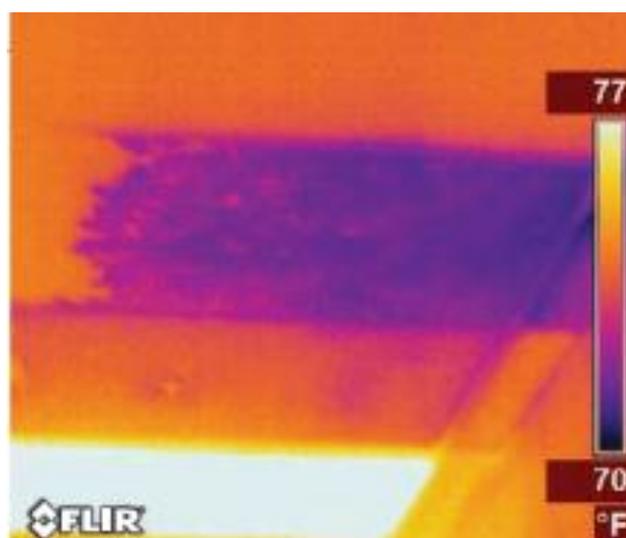
A crescente utilização da termografia por infravermelho na construção civil está relacionada com o fato de se tratar de um ensaio não destrutivo, permitindo se apresentar como uma ótima ferramenta de diagnóstico (Soares, 2014). Através da câmera termográfica é possível detectar e registrar diversos problemas como defeitos em isolamentos térmicos, danos causados por água, vazamentos de ar, problemas elétricos, vazamento de dutos, regiões com mofo e inclusive ninhos de pragas destruidoras como cupins. (FLIR, 2013). Nas figuras abaixo é possível observar algumas falhas encontradas utilizando a câmera termográfica.

Figura 9: Falha no isolamento.



Fonte: FLIR, 2013.

Figura 10: Infiltração por umidade.



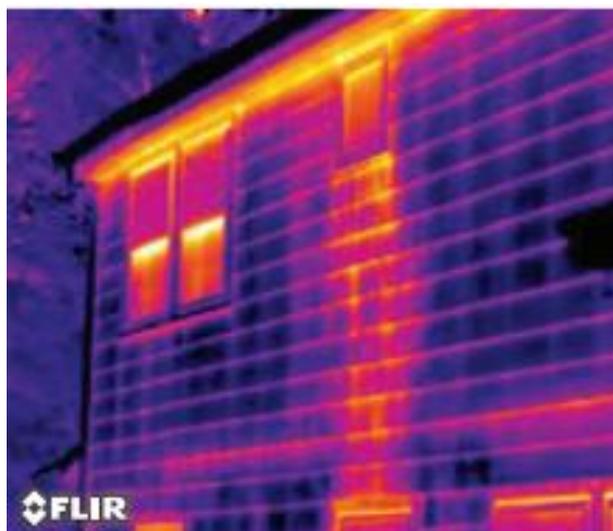
Fonte: FLIR, 2013.

Figura 11: Vazamento de ar.



Fonte: FLIR, 2013.

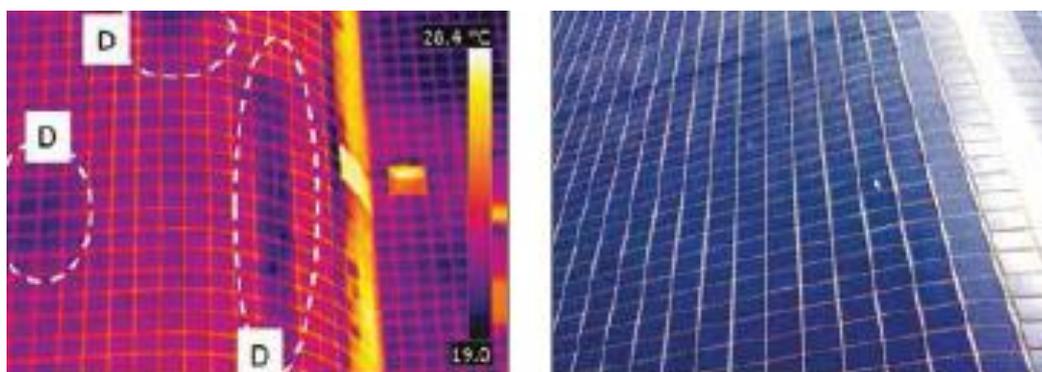
Figura 12: Vazamento de um chuveiro.



Fonte: FLIR, 2013.

Basicamente, todo material antes de apresentar defeitos manifesta uma alteração de sua temperatura. Com a termografia infravermelha é possível detectar somente anomalias associadas a modificações mensuráveis das características térmicas como fluxo de calor e temperaturas resultantes, e manifestações patológicas com profundidades próximas à superfície (Pavón, 2015). Com a utilização da técnica, falhas por trás de revestimentos cerâmicos são facilmente identificáveis apresentando temperaturas superficiais maiores que no entorno no período de fluxo de calor positivo e temperaturas superficiais menores no período de fluxo de calor negativo (Bauer et al. 2015).

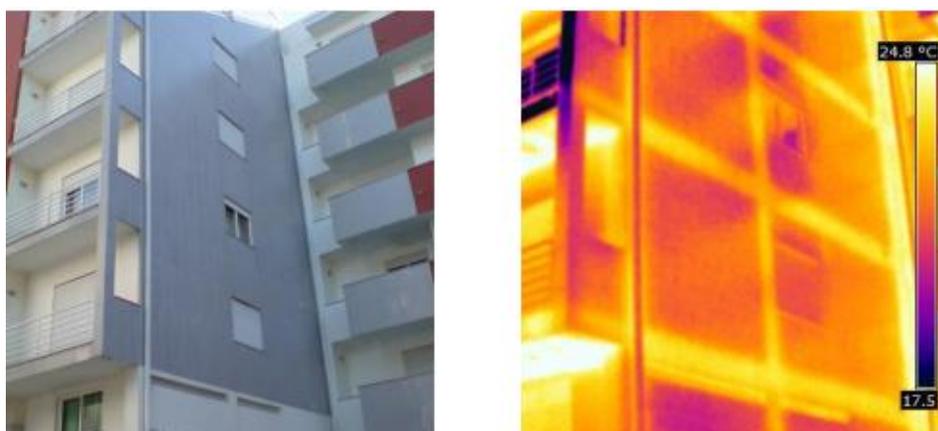
Figura 13: Detecção de destacamentos em uma fachada com revestimento cerâmico.



Fonte: Bauer; Pavón, 2015.

Os elementos estruturais de uma edificação, por ser geralmente de materiais diferentes da alvenaria, ou por ter inércia térmica diferente, são regiões facilmente identificáveis nos termogramas, como mostra na figura 14.

Figura 14: Identificação de elementos estruturais.



Fonte: MENDONÇA et al. 2013.

Existe no mercado uma ampla variedade de modelos e preços de câmeras termográficas. Sendo assim, fundamental considerar alguns fatores para determinar qual modelo mais se adequa à sua aplicação e orçamento como, com que frequência será utilizada, o que será inspecionado, os ângulos de onde será fotografado, o tamanho do alvo, altas temperaturas, distância, e outras considerações (FLIR, 2013).

A figura 15 apresenta alguns dos modelos mais usados e indicados para inspeções na construção civil.

Figura 15: Modelos de câmeras.



Fonte: FLIR, 2013.

2.5 A TERMOGRAFIA COMO ENSAIO NÃO DESTRUTIVO

Além de análise visual, em diversos casos é necessário à realização de ensaios destinados a fornecer informações relevantes quanto ao estado da estrutura vistoriada. À vista disso, os ensaios não destrutivos permitem avaliar de forma rápida e eficaz as anomalias presentes, sem a necessidade de destruir ou prejudicar o objeto ensaiado, com o intuito de evitar um colapso prematuro e demais danos imprevisíveis.

O ensaio com a termografia pode ser realizado por meio de duas técnicas, passiva e ativa.

2.5.1 Termografia passiva

No ensaio da termografia passiva, as diferenças de temperatura que identificam as prováveis anomalias têm origem nos fluxos de calor observados nos elementos construtivos, não utilizando estimulação térmica artificial. Este ensaio é o caso das inspeções de revestimentos.

2.5.2 Termografia ativa

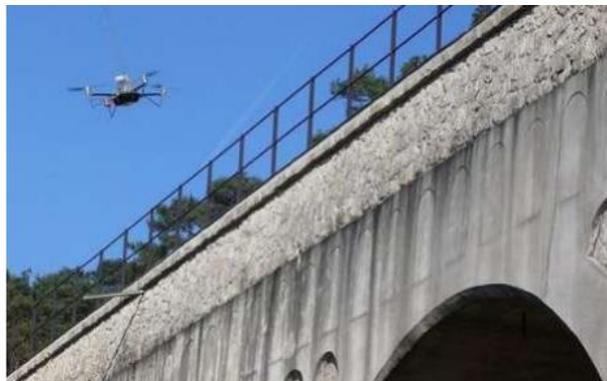
Na termografia ativa, é indispensável um estímulo externo para induzir os contrastes térmicos, para assim, ser avaliado a evolução ou o decaimento das temperaturas de modo a estudar as anomalias ou defeitos. A termografia ativa se torna quase que impossível de ser empregada nas inspeções de revestimentos, visto que as condições de temperatura e fluxo térmico destes variam em larga escala (Bauer et al. 2014). A aplicação desse ensaio está relacionada à detecção de defeitos em metais e monitoramento de processos industriais.

2.5.3 Combinação com outros ensaios

A combinação da termografia com outros ensaios permite potencializar as vantagens e compensar algumas limitações da técnica nas inspeções, auxiliando nas decisões de manutenção e conservação da estrutura. A utilização da termografia acoplada em um Veículo aéreo não tripulado (VANT), também conhecido como Drone, se torna bastante prático para alcançar

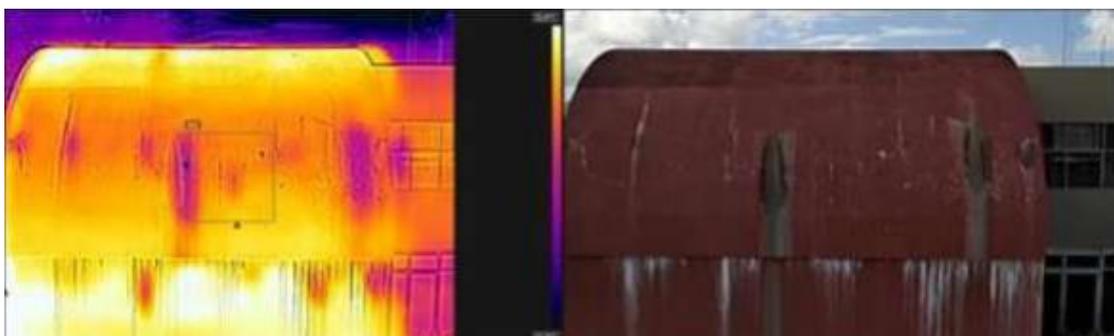
espaços e locais onde seria difícil o acesso comum, como por exemplo, as fachadas de prédios e telhados.

Figura 16: Inspeção de estrutura utilizando Drone.



Fonte: Dron Drones, 2017.

Figura 17: Identificação de manifestações patológicas em fachada utilizando Drone.



Fonte: Ferreira Prates, 2018.

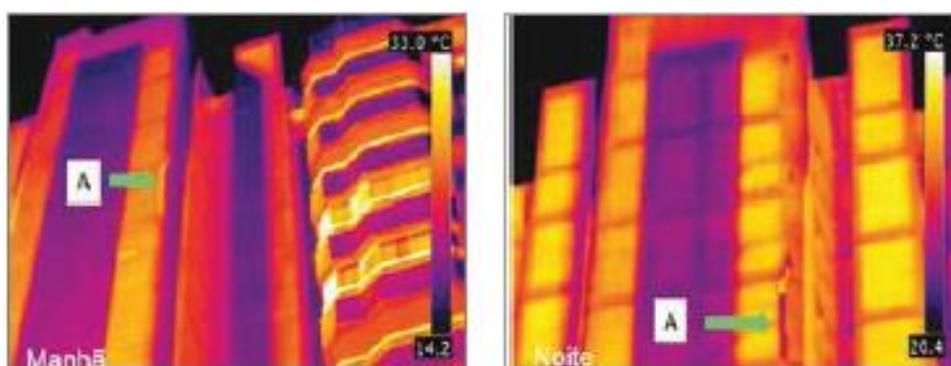
2.6 LIMITAÇÕES E DIFICULDADES

A inspeção termográfica tem despertado interesse em profissionais da área e tornado o mercado ávido por sua utilização, devido à agilidade e potencialidade do equipamento. Em consequência de sua complexidade e grande quantidade de variáveis envolvidas no processo de inspeção e análise das imagens, a aplicação da técnica requer algumas considerações para obter o correto resultado. A prática requer formação e experiência substanciais e poderá requerer a certificação de um organismo de normalização a nível regional ou nacional (FLIR, 2010),

podendo ser um dos fatores que torna inviável o uso da técnica, uma vez que os cursos são de alto investimento.

A ausência de verificação das principais variáveis leva a se cometer relevantes erros, que podem encaminhar a incorretas interpretações ou diagnósticos equivocados. A técnica apresenta dificuldades na definição do momento do dia (ou da noite) para a realização da inspeção devido ao fluxo térmico, o qual não é controlado nas medições em campo. A forma e o momento em que aparecerá o defeito dependerão do sentido e magnitude do fluxo de calor (Bauer; Pavón, 2015).

Figura 18: Diferente visualização de destacamento em inspeção realizada pela manhã e à noite.



Fonte: Bauer; Pavón, 2015.

Materiais e elementos de construção com acabamento muito liso e com brilho refletem a radiação infravermelha de outros corpos (edifícios vizinhos, veículos, instalações e redes elétricas, dentre outros), causando uma interpretação equivocada dos termogramas. Valores de temperaturas em zonas com ângulo muito alto ($>45^\circ$) e superfícies arredondadas apresentam falsos valores de temperatura nos termogramas (Bauer; Pavón, 2015).

Outras limitações incluem emissividade variável, perdas por resfriamento, absorção de sinais infravermelhos pela atmosfera, dificuldade de obtenção de aquecimento uniforme e transições naturais de contrastes térmicos, requerem câmeras infravermelhas de gravação rápida, necessidade de um corredor de visão linear entre a câmera infravermelha e o alvo, contrastes e sinais limitados ao ruído do sinal causando alarmes falsos (Bauer; Pavón, 2015).

3 MATERIAIS E METODOLOGIA

Para o desenvolvimento da metodologia foi realizada inspeção visual e termográfica sobre a chaminé de duas caldeiras de uma planta industrial na região metropolitana de Grande Vitória, estado do Espírito Santo a fim de investigar a ocorrência de anomalias e os tipos de manifestações patológicas existentes no local.

Inicialmente foi realizado estudo da chaminé identificando seu sistema construtivo e caracterização da área inspecionada, levando em consideração critérios e fatores ambientais como, emissividade utilizada, temperatura refletida, temperatura atmosférica e velocidade do vento.

Após esta etapa, para que possa ter um pleno entendimento e interpretação do mapeamento termográfico, foi adotada a divisão da circunferência e altura da chaminé relacionando-os com a identificação dos registros termográficos (THV), dessa maneira, facilitando a análise e comparação das imagens obtidas, verificando se as anomalias térmicas correspondem com as áreas da chaminé que apresentam as manifestações patológicas.

3.1 NORMAS E PADRÕES APLICADOS

Para o estudo e realização do caso, foram utilizados sete normas e padrões, incluindo nacionais e internacionais, referentes à aplicação da termografia infravermelha em inspeções. A seguir são apresentadas:

- MIL-HDBK-731 - Métodos de Testes Não-Destrutivos em Materiais Compostos - Termografia;
- ABNT NBR 15572:2013 Ensaio não destrutivo — Termografia — Guia para inspeção de equipamentos elétricos e mecânicos;
- ASTM E1934 - 99a Guia Padrão para Análise de Equipamentos Elétricos e Mecânicos com Termografia Infravermelha;
- ABNT NBR 15718:2009 Ensaio não destrutivo — Termografia — Guia para verificação de termovisores;
- ABNT NBR 15424:2006 Ensaio não destrutivo - Termografia – Terminologia;
- ABNT NBR 16292:2014 Ensaio não destrutivo — Termografia — Medição e compensação da temperatura aparente refletida utilizando câmeras termográficas;

- IT191 Procedimento de inspeção termográfica em revestimentos estruturais - Rev001.

3.2 CRITÉRIOS E CONDIÇÕES AMBIENTAIS

O estudo consistiu em uma inspeção visual e termográfica aplicando o método da termografia qualitativa e uso da técnica de ensaio da termografia passiva na chaminé das caldeiras 1 e 2 de uma planta industrial localizada na região metropolitana de Grande Vitória, Espírito Santo com o objetivo de verificar anomalias no revestimento refratário interno da estrutura.

A chaminé apresentava anomalias em sua parte externa, sendo agravado em um determinado lado, indicando possivelmente um deslocamento dos tijolos de seu revestimento refratário interno.

Em uma inspeção visual foi identificado que o sistema estrutural externo da chaminé é construído em sua maior parte de concreto armado com pintura em faixas horizontais intercaladas na cor branca e vermelha. Internamente a chaminé é revestida por tijolos refratários que protegem o concreto contra as altas temperaturas. Durante a inspeção, foi realizado ensaio de extração de testemunhos da chaminé e foi possível constatar que a estrutura manifestava problemas em seu revestimento externo. Devido ao fato de as atividades na chaminé serem ininterruptas, torna-se impraticável a realização de inspeção visual em sua superfície. Optou-se então, realizar uma inspeção termográfica com auxílio de um Drone para que pudesse ser feita análise da área externa, com a finalidade de identificar e mapear com precisão possíveis falhas internas em seu revestimento refratário que podem, presumivelmente, estar acometendo o concreto externo.

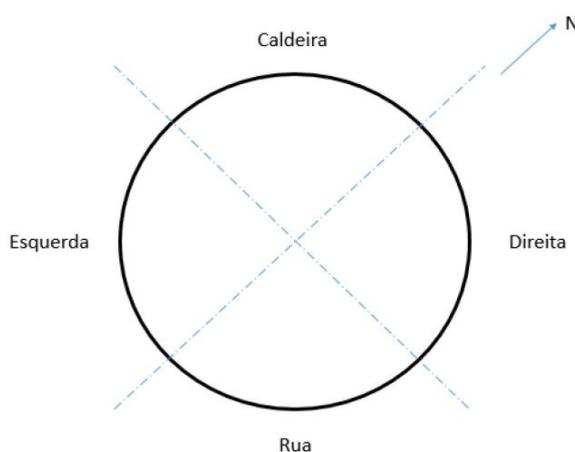
A identificação das características da área a ser inspecionada é essencial para os parâmetros de calibração da câmera termográfica. Nesse estudo a inspeção foi realizada a partir das 18h40min e foram levados em consideração os seguintes critérios e condições ambientais:

- Emissividade utilizada: 0,95;
- Temperatura refletida: 20°C;
- Temperatura atmosférica: 28°C;
- Velocidade do vento: < 1m/s.

3.3 ORIENTAÇÕES ADOTADAS PARA INTERPRETAÇÃO DO MAPEAMENTO TERMOGRÁFICO

Para facilitar a interpretação e comparação das imagens registradas, a chaminé foi dividida conforme seu posicionamento e suas características físicas. Sendo assim, a circunferência da chaminé foi dividida em quatro partes, sendo possível identificar o lado referente à caldeira, lado da rua, lado esquerdo e direito conforme mostra na figura 19.

Figura 19: Divisão da circunferência da chaminé.



Fonte: Recuperação Engenharia.

A divisão referente à suas características físicas foi feita baseado nos anéis conforme cores de sua pintura horizontal em branco e vermelho. Ao todo são 14 anéis que se diferenciam pelas cores intercaladas como mostrado na figura 20.

Figura 20: Divisão da altura da chaminé.

Fonte: Recuperação Engenharia.

3.4 IDENTIFICAÇÕES DOS TERMOGRAMAS

Realizado divisão da chaminé conforme item 3.3, cada imagem registrada foi identificada como “THV” e o número referente ao registro, possibilitando relacionar com o lado em que foi registrada (caldeira, rua, esquerda ou direita) e o anel (1, 2, 3... 14) que ela está relacionada. O quadro 1 permite melhor visualização das identificações.

Quadro 1: Identificação dos termogramas.

Anéis	Identificação dos registros termográficos e relatórios			
	Lado ESQUERDO	Lado RUA	Lado DIREITO	Lado CALDEIRA
1	THV-01	THV-06	THV-10	THV-15
2	THV-02	THV-07	THV-11	THV-16
3	THV-03			THV-17
4	THV-04	TVH-08	THV-12	THV-18
5				
6				
7	THV-05	THV-09 (Também anel 6)	THV-14	THV-19
8				
9				
10				
11	THV-22 (Também anéis 9 a 11)			THV-19 (Também anéis 9 a 11)
12				
13				
14				

Fonte: Recuperação Engenharia.

3.5 REGISTROS TERMOGRÁFICOS

A partir da inspeção foi possível identificar variações térmicas presentes na área externa da chaminé, onde estão localizadas as manifestações patológicas. O calor detectado é medido de forma precisa, acompanhando o comportamento térmico da estrutura e identificando problemas de aquecimentos anormais.

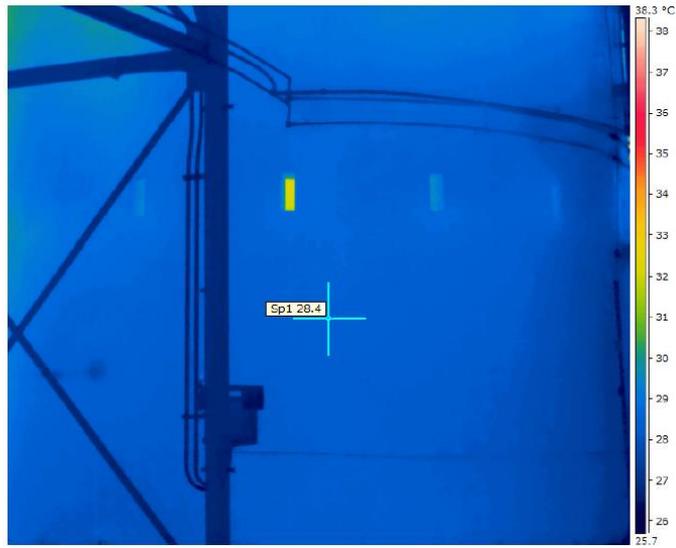
Os registros externos da chaminé são mostrados em um mapa de temperatura que possui variações que vão de tons de azul, que correspondem às temperaturas mais baixas, até escalas de vermelho, que correspondem às temperaturas mais elevadas.

A seguir são apresentadas as imagens térmicas obtidas na inspeção conforme divisões realizadas (item 3.3) e identificações apresentadas no quadro 1, seguido de comentários sobre interpretação das imagens e resultados.

3.5.1 Registros termográficos lado esquerdo

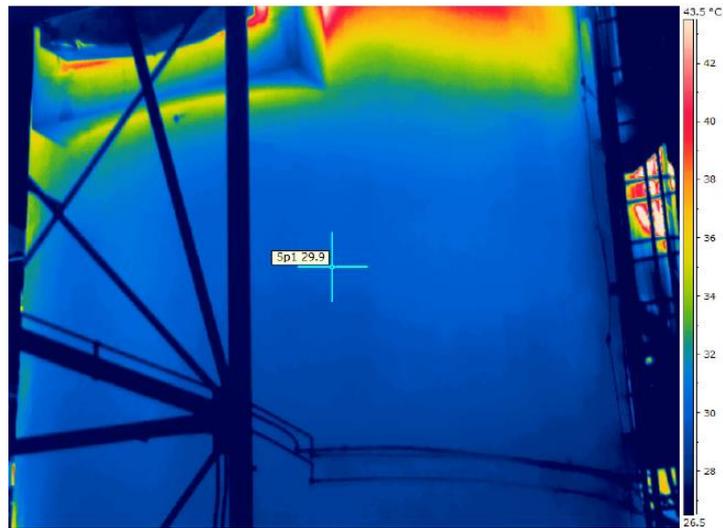
Ao realizar o ensaio no lado esquerdo da chaminé é possível observar certa homogeneidade nas regiões registradas, aumentando gradativamente a temperatura à medida que vai elevando o número do anel. Nos anéis 1 (figura 21) e 2 (figura 22) nota-se que as temperaturas variam entre 28°C e 29°C. Nos anéis 3 (figura 23) e anéis 4 e 5 (figura 24) tem-se um aumento na temperatura, variando entre 42°C e 43°C, desse modo, denotando não haver problemas no refratário ou no revestimento externo da estrutura. Quando focado na parte superior, ao longo dos anéis 6 a 11 (figura 25) e anéis 9 a 14 (figura 26) da chaminé, é identificado pouca homogeneidade na região com pontos de temperaturas bem elevadas, o que indica ser uma provável anomalia no revestimento da chaminé.

Figura 21: Registro THV-01 >> Lado ESQUERDO >> Anel 1.



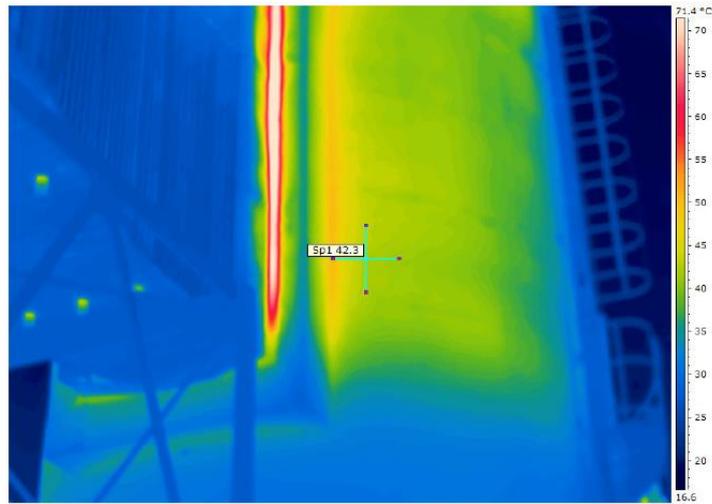
Fonte: Recuperação Engenharia.

Figura 22: Registro THV-02 >> Lado ESQUERDO >> Anel 2.



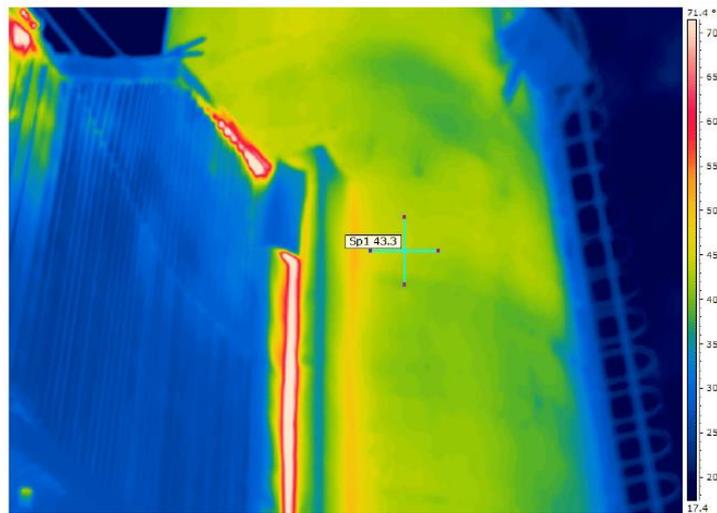
Fonte: Recuperação Engenharia.

Figura 23: Registro THV-03 >> Lado ESQUERDO >> Anel 3.



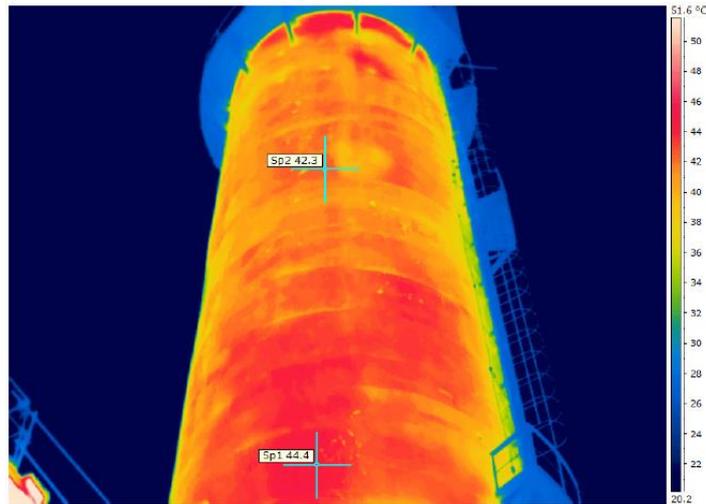
Fonte: Recuperação Engenharia.

Figura 24: Registro THV-04 >> Lado ESQUERDO >> Anéis 4 e 5.



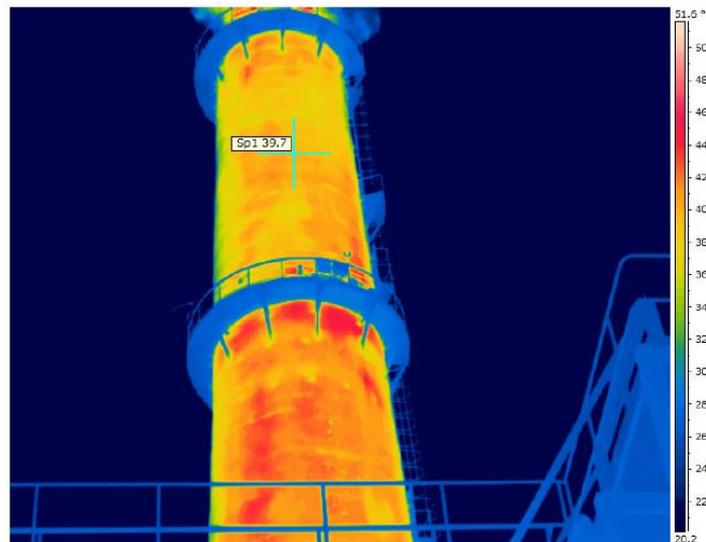
Fonte: Recuperação Engenharia.

Figura 25: Registro THV-05 >> Lado ESQUERDO >> Anéis 6 a 11.



Fonte: Recuperação Engenharia.

Figura 26: Registro THV-22 >> Lado ESQUERDO >> Anéis 9 a 14.



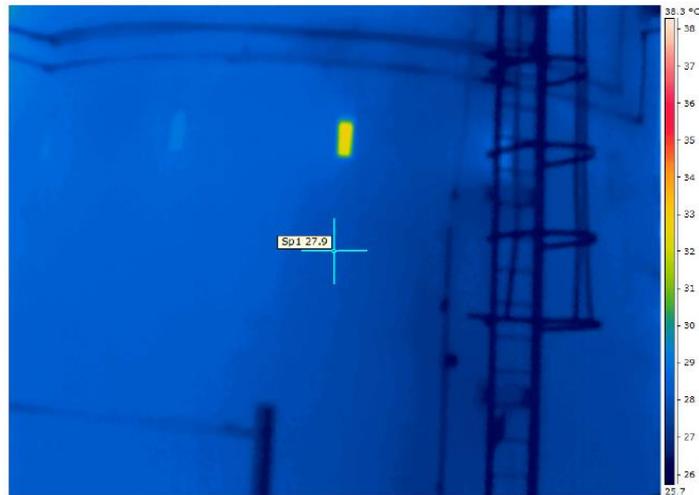
Fonte: Recuperação Engenharia.

3.5.2 Registros termográficos lado rua

Quando realizado o ensaio termográfico no lado referente à rua, os termogramas apresentaram homogeneidade no anel 1 (figura 27) e nos anéis 2 e 3 (figura 28), denotando não haver problemas na região. Ao passar para os anéis 4 a 6 (figura 29) e seguindo para os anéis 6

a 14 (figura 30) nota-se elevação na temperatura em determinados pontos da chaminé, apontando provável manifestação patológica no revestimento externo da estrutura.

Figura 27: Registro THV-06 >> Lado RUA >> Anel 1.



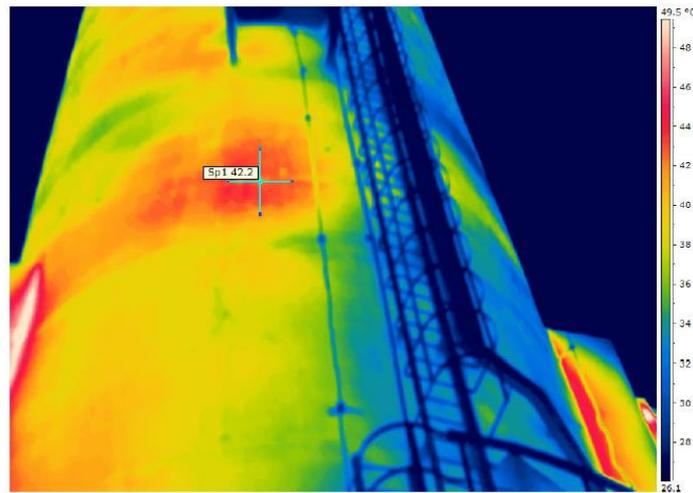
Fonte: Recuperação Engenharia.

Figura 28: Registro THV-07 >> Lado RUA >> Anéis 2 e 3.



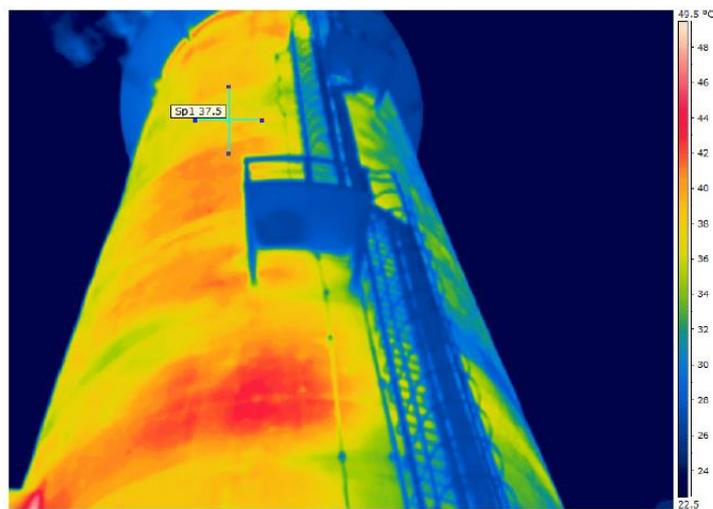
Fonte: Recuperação Engenharia.

Figura 29: Registro THV-08 >> Lado RUA >> Anéis 4 a 6.



Fonte: Recuperação Engenharia.

Figura 30: Registro THV-09 >> Lado RUA >> Anéis 6 a 14.



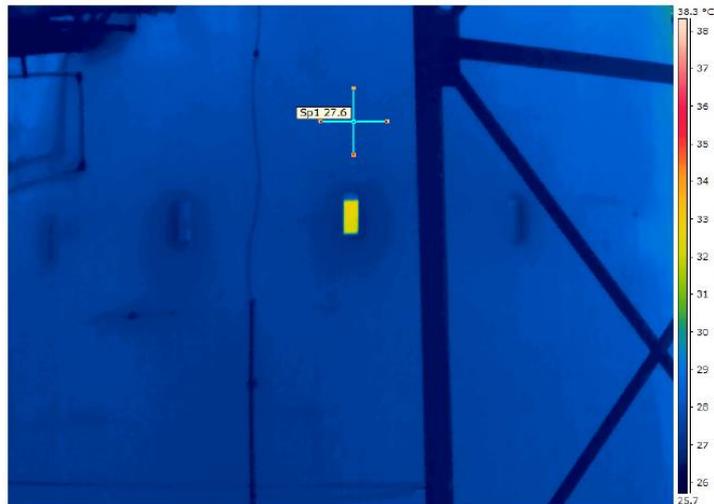
Fonte: Recuperação Engenharia.

3.5.3 Registros termográficos lado direito

Assim como apresentado nos termogramas do lado referente à rua, os termogramas do lado direito da chaminé indicam ausência de manifestações patológicas na região do anel 1 (figura 31) e anéis 2 e 3 (figura 32) devido homogeneidade térmica no local, com temperaturas variando entre 27,6°C e 28,8°C. Os anéis 4 e 5 (figura 33) demonstram moderada elevação térmica de 39,7°C comparando aos anéis 1 a 3. Ao analisar o registro THV-14 referente aos

anéis 7 a 14 (figura 34), é indicado pontos com temperatura elevada, certamente devido a algum problema no revestimento externo da chaminé.

Figura 31: Registro THV-10 >> Lado DIREITO >> Anel 1.



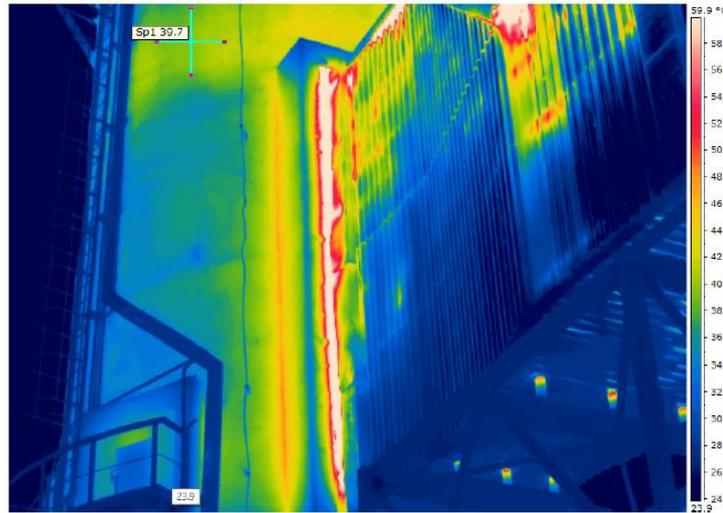
Fonte: Recuperação Engenharia.

Figura 32: Registro THV-11 >> Lado DIREITO >> Anéis 2 e 3.



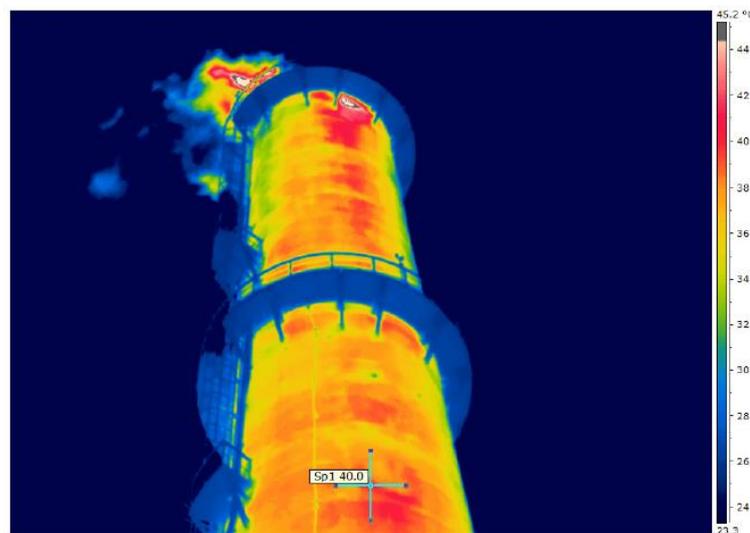
Fonte: Recuperação Engenharia.

Figura 33: Registro THV-12 >> Lado DIREITO >> Anéis 4 e 5.



Fonte: Recuperação Engenharia.

Figura 34: Registro THV-14 >> Lado DIREITO >> Anéis 7 a 14.



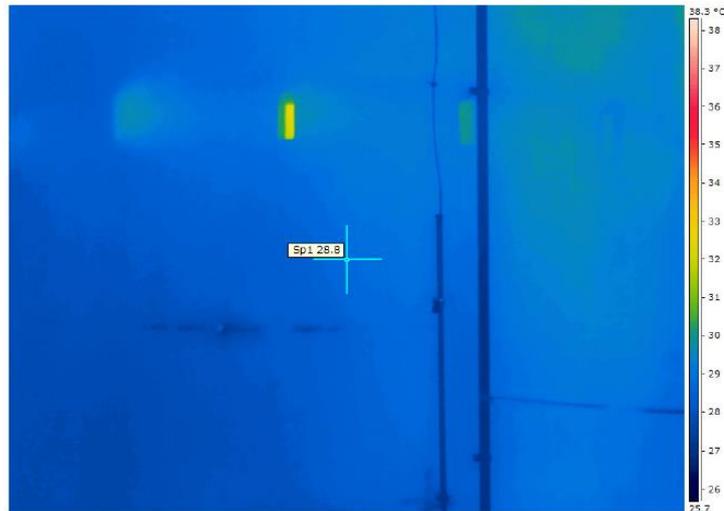
Fonte: Recuperação Engenharia.

3.5.4 Registros termográficos lado caldeira

Ao ser realizado o ensaio no lado referente à caldeira, os termogramas demonstraram normalidade nas regiões do anel 1 (figura 35), anel 2 (figura 36) e ao longo dos anéis 3 a 5 (figura 37), sendo observado pequenas variações térmicas. Quando direcionado o termograma para região dos anéis superiores, os registros termográficos THV-18 (figura 38) e THV-19 (figura 39), notavelmente são observados diferenças térmicas e identifica-se a causa do

problema inicial. A nítida diferença de temperatura entre as duas faces se deve a incidência de ventos na face esquerda da figura 38, com isso, gerando um agravamento das anomalias em um determinado lado da chaminé, pelo fato de estar frequentemente exposta a temperaturas mais elevadas.

Figura 35: Registro THV-15 >> Lado CALDEIRA >> Anel 1.



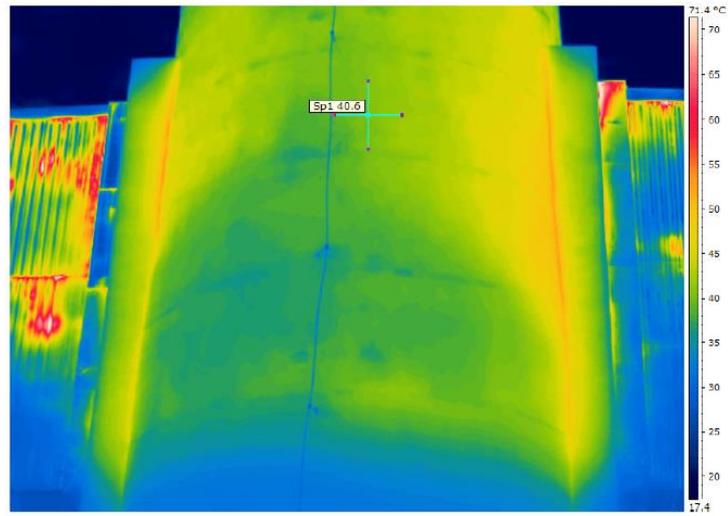
Fonte: Recuperação Engenharia.

Figura 36: Registro THV-16 >> Lado CALDEIRA >> Anel 2.



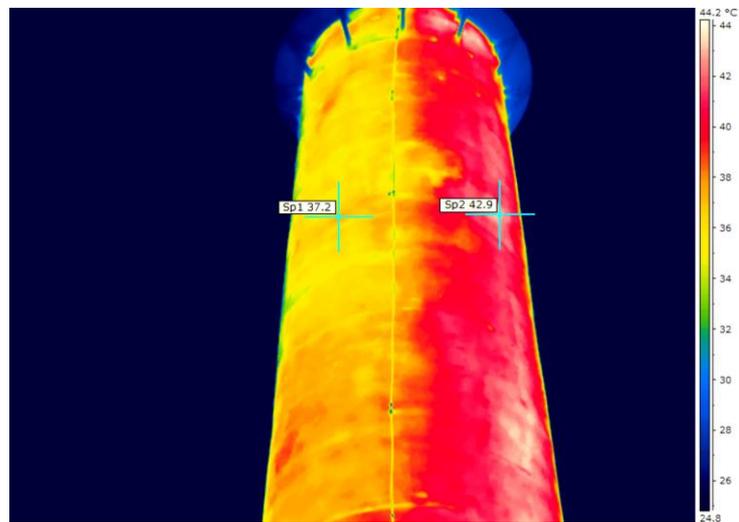
Fonte: Recuperação Engenharia.

Figura 37: Registro THV-17 >> Lado CALDEIRA >> Anéis 3 a 5.



Fonte: Recuperação Engenharia.

Figura 38: Registro THV-18 >> Lado CALDEIRA >> Anéis 6 a 11.



Fonte: Recuperação Engenharia.

Figura 39: Registro THV-19 >> Lado CALDEIRA >> Anéis 9 a 14.



Fonte: Recuperação Engenharia.

4 RESULTADOS

Ao realizar o ensaio termográfico para identificar as anomalias da chaminé e sua possível causa, a técnica demonstrou capacidade e precisão, tornando ágil o processo de inspeção e permitindo caracterizar as áreas que exigem uma investigação mais cautelosa e que necessitam de reparos.

Não foram identificados na inspeção problemas no revestimento refratário interno da chaminé nem sequer destacamento do concreto com ou sem armadura exposta, sendo identificadas apenas fissuras ao longo do corpo da estrutura. As fissuras na chaminé inspecionada tem sua origem principal devido a possíveis falhas no projeto e/ou execução, sendo agravadas ao longo do tempo decorrente da exposição à alta temperatura e movimentação da estrutura proveniente dos ventos.

Por se tratar de uma análise qualitativa, onde o objetivo era identificar as regiões com anomalia, os parâmetros de calibração do termovisor, valores de emissividade e parâmetros ambientais não prejudicaram na identificação das variações na temperatura em superfícies que possuem o mesmo material. Destaca-se que tais parâmetros são importantes de serem determinados para que seja possível correta interpretação das imagens térmicas.

Quanto às intervenções de reparo realizadas, a partir dos resultados encontrados na inspeção, foi aplicada apropriada metodologia de reparo ao longo do corpo da chaminé para

tratamento das fissuras, tendo em vista manterem critérios de funcionalidade, estabilidade e durabilidade da estrutura.

5 CONCLUSÕES

Com base no estudo realizado, podemos concluir que termografia tem se mostrado uma grande aliada no diagnóstico das manifestações patológicas, porém, como analisado, a tecnologia exige uma forte base teórica e prática para executá-la.

Em relação ao caso apresentado neste trabalho, apesar de ser uma técnica de inspeção aparentemente simples, o mapeamento termográfico, por si só, não deve ser usado como diagnóstico conclusivo do estado de integridade da estrutura. A técnica deve ser usada como base de referência para avaliações complementares. As condições ambientais, parâmetros de calibração e emissividade variam de acordo com o ambiente e características construtivas da estrutura em que a técnica for aplicada. Devendo ser determinado para cada tipo de inspeção os dados referentes ao local e da estrutura inspecionada.

Com o levantamento de imagens termográficas e estudo realizado, pode-se concluir que a termografia consegue identificar apenas manifestações patológicas superficiais, como destacamento de revestimentos, umidade e fissuras.

No que diz respeito às informações sobre a viabilidade da termografia, podemos concluir que a técnica possui elevado custo para pequenos e médios empreendedores, com isso, dificultando o acesso de profissionais na área e conseqüentemente, a escassez da técnica no mercado. Por outro lado, a termografia se mostra viável por ser um ensaio não destrutivo aplicável nas inspeções de revestimentos e estruturas, diminuindo o risco como, por exemplo, trabalho em altura, devido sua alta potencialidade, e auxiliando na manutenção preditiva e preventiva do sistema inspecionado.

6 REFERÊNCIAS

AGUIAR, José Eduardo de. et al. **Diagnose das condições das chaminés da Usiminas**. In: 48º Congresso Brasileiro do Concreto. 2006. ISBN: 85-98576-09-3. IBRACON.

ALAM, Fernando Wulff Al. et al. **Potencial da termografia infravermelha na detecção de manifestações patológicas ocultas ocasionadas pela umidade acidental em paredes de alvenarias cerâmicas com revestimento de argamassa e pintura**. Revista de Arquitetura IMED, 5(1): 28-47, jan./jun. 2016 - ISSN 2318-1109. DOI: 10.18256/2318-1109/arqimed.v5n1p28-47.

BAUER, E. et al. **Crítérios para aplicação da termografia de infravermelho passiva como técnica auxiliar ao diagnóstico de patologias em fachadas de edifícios.** DocPlayer, 2014. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/88780330-Criterios-para-aplicacao-da-termografia-de-infravermelho-passiva-como-tecnica-auxiliar-ao-diagnostico-de-patologias-em-fachadas-de-edificios.html>>. Acesso em: 19 jan. 2020.

DESEMPENHO, DURABILIDADE E VIDA ÚTIL DAS EDIFICAÇÕES: Revista técnico científica do Crea PR. Paraná: Ed. 1, out. 2013. ISSN 2358-5420.

ENGEMAN. **Tipos de manutenção.** Blog Engeman, 2019. Disponível em: <<https://blog.engeman.com.br/tipos-de-manutencao/>>. Acesso em: 02 nov. 2019.

FLIR SYSTEMS, INCORPORATED. **Manual do utilizador.** Eletro Peças, 2010. Disponível em: <https://www.eleetropecas.com/_uploads/ProdutoDownload/produto_6419.pdf>. Acesso em: 12 out. 2019.

FLIR SYSTEMS, INCORPORATED. **Catálogo geral.** AK Industrial, 2013. Disponível em: <http://www.akindustrial.com.br/pdf/flir/Teste_e_Medicao/catalogo_geral.pdf>. Acesso em: 12 out. 2019.

FLIR SYSTEMS, INCORPORATED. **O que é infravermelho?.** Prod. Flir, 2019. Disponível em: <<https://prod.flir.com.br/discover/what-is-infrared/>>. Acesso em: 16 dez. 2019.

FLIR SYSTEMS, INCORPORATED. **Perguntas frequentes (FAQ).** Termovisor Brasil, 2014. Disponível em: <<http://www.termovisorbrasil.com.br/faq.php>>. Acesso em: 18 dez. 2019.

FILHO, Ozório Rezende C. **Aplicações termográficas na Manutenção Onde normalmente erramos!. PRED SERVICE.**

Disponível em: <<https://docplayer.com.br/10165413-Aplicacoes-termograficas-na-manutencao-onde-normalmente-erramos.html>>. Acesso em: 15 out. 2019.

GOMES JÚNIOR, J.C. **Vantagens da Termografia aplicada a Instalações Industriais e Processos.** Engefaz, 2018. Disponível em: <<https://www.engefaz.com.br/clubengefaz/manutencao-preditiva/vantagens-da-termografia-aplicada-a-instalacoes-industriais-e-processos?format=amp>>. Acesso em: 09 ago. 2019.

INFRARED TRAINING. **INFRARED TRAINING CENTER.** Disponível em: <<http://www.infraredtraining.com.br/home>>. Acesso em: 17 set. 2019.

AGUIAR, José Eduardo de, R. Q. V. Marques. **Recuperação das estruturas de chaminés de concreto em áreas industriais sem interromper a produção.** Revista ALCONPAT, Volumen 1, Número 1, Enero-Abril 2011, Páginas 39 - 49.

J. H. A. Rocha, Y. V. Póvoas (2017). **A termografia infravermelha como um ensaio não destrutivo para a inspeção de pontes de concreto armado: Revisão do estado da arte.** Revista ALCONPAT, 7 (3), pp. 200-214, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v7i3.223>.

Lima, H. J. N., Ribeiro, R. S., Palhares, R. A., Melo, G. S. S. A. (2019). **Análise de manifestações patológicas do concreto em viadutos urbanos.** Revista ALCONPAT, 9 (2), pp. 247 – 259, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v9i2.308>.

MENDONÇA, Luís Viegas; AMARAL Miguel Martins do; CATARINO, Pedro Soares. **A termografia por infravermelhos como ferramenta para auxílio à inspeção e manutenção dos edifícios.** Spy building, 2013. Disponível em: <<http://www.spybuilding.com/private/admin/ficheiros/uploads/6b0dca6c9e15cc51dc73bde0562a31d5.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2020.

MOREIRA, Kirke Andrew Wrubel. **Utilização da termografia infravermelha e escaneamento por radar para identificação de infiltrações e vazios em elementos nas construções.** DocPlayer, 2018. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/83068146-Utilizacao-da-termografia-infravermelha-e-escaneamento-por-radar-para-identificacao-de-infiltracoes-e-vazios-em-elementos-nas-construcoes.html>>. Acesso em: 19 jan. 2020.

NASCIMENTO, Matheus Leoni Martins. **Utilização de Drone e termografia na detecção de manifestações patológicas em edificações**. Repositório, 2014. Disponível em: < <https://repositorio.ucb.br:9443/jspui/bitstream/10869/4693/1/Matheus%20Leoni%20Martins%20Nascimento.pdf> >. Acesso em: 19 jan. 2020.

O. T. Takeda, W. Mazer (2018). **Potencial da análise termográfica para avaliar manifestações patológicas em sistemas de revestimentos de fachadas**, Revista ALCONPAT, 8 (1), pp. 38 – 50, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v8i1.181>.

PAVÒN, E. **Critérios e padrões de comportamento para avaliação de descolamentos cerâmicos com termografia de infravermelho**. 2017. Tese de Doutorado (Faculdade de Tecnologia), Universidade Federal de Brasília, 2017.

PANTOJA, Paulo Afonso Valente. **A termografia infravermelha na salvaguarda de monumentos culturais como método não destrutivo de diagnóstico**. 2016. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal do Pará, 2016.

PEREIRA, Joaquim de Paula. **Desenvolvimento de um compósito cerâmico para otimizar a radiação térmica em materiais $Al_2O_3-SiO_2-Cr_2O_3-SiC-Ca(AlO_2)_2$** . DocPlayer, 2016. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/57341935-Fundacao-oswaldo-aranha-centro-universitario-de-volta-redonda-pro-reitoria-de-pesquisa-e-pos-graduacao-programa-de-mestrado-profissional-em-materiais.html>>. Acesso em: 02 nov. 2019.

PRATES, Fernanda Ferreira. **O uso de drones na construção civil e suas aplicações**. Ademi-BA. Disponível em: < https://ademi-ba.com.br/_upload/Biblioteca/637045680697944454-o-uso-de-drones-na-construcao-civil-e-suas-aplicacoes.pdf >. Acesso em: 08 dez. 2019.