



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA (UnB)
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO (FAU)
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E
URBANISMO (PPG/FAU)

MESTRADO EM ARQUITETURA E URBANISMO

O USO DA TERMOGRAFIA NA IDENTIFICAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES
PATOLÓGICAS EM OBRAS DE ARTES ESPECIAIS “OAEs”

Marcelo Soares Sousa

Orientador: Prof. Dr. Márcio Augusto Roma Buzar

Mai de 2024



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA (UnB)
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO (FAU)
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E
URBANISMO (FAU/UnB)

MESTRADO EM ARQUITETURA E URBANISMO

**O USO DA TERMOGRAFIA NA IDENTIFICAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES
PATOLÓGICAS EM OBRAS DE ARTES ESPECIAIS “OAEs”**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

MARCELO SOARES SOUSA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo. Área de concentração: Tecnologia, ambiente e sustentabilidade. Linha de pesquisa: Estruturas e Arquitetura.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Augusto Roma Buzar

Brasília, 2024.

FICHA CATALOGRÁFICA

SOUSA, MARCELO S.

O USO DA TERMOGRAFIA NA IDENTIFICAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM OBRAS DE ARTE ESPECIAIS “OAEs”. 2024.

189 p. (PPG-FAU/UnB, Mestre, Arquitetura e Urbanismo, 2024).

Dissertação de Mestrado - Universidade de Brasília, Programa de Pós- Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.

1. Termografia infravermelha.
 2. Viadutos.
 3. Patologias.
 4. inspeção.
- I. FAU/Universidade de Brasília.
 - II. Título (série)
-

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SOUSA, MARCELO S. **O USO DA TERMOGRAFIA NA IDENTIFICAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM OBRAS DE ARTES ESPECIAIS “OAEs”.** 2024. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2024. 191p.

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação e emprestar ou vender tais cópias, somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

MARCELO SOARES SOUSA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO – PPG-FAU

**O USO DA TERMOGRAFIA NA IDENTIFICAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES
PATOLÓGICAS EM OBRAS DE ARTE ESPECIAIS “OAES”.**

MARCELO SOARES SOUSA

Dissertação de Mestrado submetida à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, área de concentração Tecnologia.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Márcio Augusto Roma Buzar (PPG/FAU)

Orientador e Presidente da Banca

Dr. Rudybert Barros von Eye –

Membro Externo

Prof.^a Dra. Ana Luiza Alves De Oliveira –

UnB Membro Interno

Prof. Dr. João da Costa Pantoja – UnB

Membro Suplente

DEDICATÓRIA

*Aos meus pais, **Roberval** e **Maria**, por sempre acreditarem em mim e por terem abdicado de suas vidas em prol das realizações e da felicidade de seus filhos.*

*À minha irmã **Cristiane Soares**, pela cumplicidade e pelo apoio em todos os momentos delicados da minha vida.*

*Ao meu amigo e cunhado **Vespaziano**, sua orientação e encorajamento foram uma luz guia em meu caminho acadêmico, e sou profundamente grato por sua presença constante e apoio inabalável.*

*Às minhas filhas (princesas) **Marina** e **Narayane**, pela compreensão e carinho.*

*À minha esposa **Nacta**, por todo amor, incentivo, apoio e compreensão. Nada disso teria sentido sem você ao meu lado.*

AGRADECIMENTOS:

Agradeço a Deus e a Nossa Senhora pela dádiva da vida e por concederem a oportunidade de realizar tantos sonhos ao longo desta jornada. Sou grato por me permitirem cometer erros, aprender e evoluir, pela Vossa compreensão e tolerância infinitas, pelo Vosso amor incondicional e orientação sutil que nunca me permitiu desistir. Acima de tudo, sou grato por me abençoarem com uma família tão especial. Obrigado por tudo.

Ao **Prof. Dr. Márcio Augusto Roma Buzar**, expresso minha gratidão pela orientação, competência, profissionalismo e dedicação tão valiosos. Agradeço por acreditar em mim e por seus inúmeros elogios e estímulos. Tenho plena convicção de que não teria alcançado este ponto sem o seu apoio. Para mim, você foi e continua sendo muito mais do que um orientador: é um mestre e um amigo para toda a vida.

Aos membros da banca examinadora, **Prof.^a Dr. Ana Luiza Alves De Oliveira**, **Prof. Dr. Rudybert Barros von Eye** e **Prof. Dr. João Da Costa Pantoja**, por gentilmente aceitarem participar e colaborar com esta dissertação. Em especial, expresso minha gratidão. ao **Prof. Pantoja**, pelas conversas breves, porém significativas, que foram de suma importância para o desenvolvimento deste trabalho.

Quero expressar um agradecimento especial à minha **mãe** e ao meu **pai**, por todas as preciosas lições de amor, companheirismo, amizade, caridade e dedicação. Sinto-me profundamente orgulhoso e privilegiado por ter pais tão extraordinários. E à minha querida irmã, que está sempre pronta para me apoiar em todas as etapas desta jornada chamada vida.

Dedico estas palavras à minha amada esposa **Nacta**, cujo amor, carinho, compreensão e apoio têm sido fundamentais em cada passo desta jornada. Agradeço por permanecer ao meu lado, mesmo nos momentos difíceis. Obrigado por cada presente diário, por seu sorriso que ilumina meus dias e por sua capacidade única de me fazer feliz. Você é verdadeiramente o meu porto seguro.

Às minhas adoradas princesas **Marina** e **Narayane**, cujo amor incondicional tem sido a luz que guia meus dias. Sua existência é, para mim, o mais belo reflexo da presença divina de Deus em nossas vidas. Obrigado por ser minha fonte constante de alegria e inspiração.

Ao meu amigo **Francisco Janderlan Silva de Oliveira**, gostaria de expressar minha sincera gratidão pela sua amizade, atenção e incrível prestatividade. Sou imensamente grato pela disposição que você sempre demonstrou em me ajudar nos mais diversos momentos. Especialmente, quero agradecer pelo seu esforço em garantir que pudéssemos capturar imagens aéreas dos viadutos utilizando seus

equipamentos. Seu empenho e dedicação foram verdadeiramente notáveis.

A todos os membros do Laboratório de Sustentabilidade Aplicada à Arquitetura e ao Urbanismo (**LaSUS**) e do Laboratório de Reabilitação do Ambiente Construtivo (**Labrac**), gostaria de expressar minha sincera gratidão. Desde o momento em que me integrei a este ambiente, fui recebido com calorosas boas-vindas e uma disposição constante para auxiliar, tanto dentro quanto fora dos laboratórios. Em especial, gostaria de agradecer a **Valmor**, cuja generosidade e disposição foram fundamentais, sobretudo durante a etapa final do meu mestrado.

Gostaria de expressar um agradecimento especial a Ozania Vieira de Freitas, por este trabalho. É difícil expressar adequadamente minha gratidão por sua ajuda no projeto de graduação. Suas ideias foram fundamentais para me guiar na direção certa e garantir o sucesso da conclusão do mestrado. Muito obrigado!

Por fim, expresso meu sincero agradecimento a todos que, de uma forma direta ou indireta, contribuíram para a realização desta dissertação

RESUMO

A compreensão dos fatores que favorecem a degradação de viadutos é essencial para prolongar sua vida útil. Os viadutos estão expostos a condições climáticas adversas, assim como a agentes agressivos e a mecanismos de deterioração que comprometem a funcionalidade de sua estrutura. Nesse cenário, a adoção de programas de manutenção e a aplicação de técnicas não destrutivas, como a termografia infravermelha, desempenham um papel fundamental na identificação de manifestações patológicas.

Um ensaio não destrutivo (END's), são técnicas que inspecionam materiais ou equipamentos sem a necessidade de danificá-los, que podem ser usadas nas etapas de fabricação, construção, montagem e manutenção (ADENDI,2015). No caso dos viadutos e pontes, os END'S podem ser usados inclusive com as estruturas em pleno funcionamento, além de garantir que manifestações patológicas possam ser detectadas em estágios iniciais (MEDEIROS, 2010) ao realizar a medição da radiação infravermelha emitida pela superfície do material por meio da utilização de uma câmera termográfica, produzindo uma imagem térmica visual (termograma). Com a capacidade de detecção de defeitos internos ocultos, os termogramas possibilitam dois tipos de análise de superfície, sendo elas a quantitativa (avaliação dos dados de temperatura) e a qualitativa (visualização dos contrastes térmico). Estas duas análises são embasadas nos gradientes de temperatura superficiais (ou contraste térmico).

Portanto, o presente trabalho é um estudo de caso que tem como objetivo avaliar a eficiência da termografia infravermelha na análise de manifestações patológicas em viadutos. Para tal fim, serão capturadas imagens termográficas de viadutos localizados na cidade de Brasília “Asa Sul e Asa Norte” seguidas por uma análise do comportamento térmico das anomalias identificadas.

Palavras-Chave: Termografia infravermelha, viadutos, patologias, inspeção.

ABSTRACT

Understanding the factors that favor the degradation of viaducts is fundamental to increase their useful life. The viaducts are exposed to weather as well as aggressive agents and deterioration mechanisms that affect the functionality of their structure. In this context, the adoption of maintenance programs and the use of non-destructive techniques such as infrared thermography contribute to the identification of pathological manifestations, helping in the correct diagnosis and reducing the subjectivity in the investigations. Thus, the present work is a case study that aims to evaluate the efficiency of infrared thermography in the analysis of pathological manifestations in viaducts. For this, thermographic images of a viaduct were captured in the city of Brasilia and an analysis of the thermal behavior of the detected anomalies was performed. The results showed that infrared thermography as a technological resource in the inspection of viaducts presents good results by allowing part of the identified pathological manifestations to be visualized in thermal images.

Keywords: Infrared thermography, viaducts, pathologies, inspection.

SUMÁRIO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E.....	iii
FICHA CATALOGRÁFICA	iv
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	iv
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
LISTA DE FIGURAS.....	xii
LISTA DE TABELAS	xx
1. INTRODUÇÃO	28
1.1. Problema de Pesquisa	31
1.2. Justificativa	31
1.3. Objetivos.....	34
1.3.1. Objetivo Geral	34
1.3.2. Objetivo Específico	35
1.4. Estrutura do Trabalho	35
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	36
1.5. Termografia Infravermelha	36
1.5.1. Princípios Básicos.....	36
1.5.2. Classificação da Termografia Infravermelha.....	41
1.5.3. Transferência de Calor.....	44
1.6. Manifestações Patológicas em Viadutos.....	47
1.7. Fissuras	49
1.8. Desagregação	50
1.9. Falhas nas Instalações de Drenagem.....	50
1.10. Falhas na Pista de Rolamento	51
1.11. Falhas na Concretagem	51
1.12. Abrasão	51
1.13. Corrosão.....	51
1.14. Inspeções em Viadutos	52
1.15. Sistema de Gerenciamento de Obras de Artes Especiais no Brasil.....	58
3. MÉTODO.....	60
2. RESULTADOS.....	68
3. CONCLUSÕES	181
3.1. Considerações Finais	181
3.2. Sugestões para Novas pesquisas	182
REFERÊNCIAS	185
ANEXO A - Normas sobre Termografia Infravermelha Aplicada à Construção	186

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Ciclo de vida das OAEs.....	32
Figura 2 - Lei de evolução de custos	33
Figura 3 - Impacto de diferentes tipos de intervenções no nível de desempenho	33
Figura 4 - Espectro eletromagnético	36
Figura 5 - Espectro visível da luz.....	38
Figura 6 - Esquema simplificado das técnicas e métodos da termografia infravermelha	42
Figura 7 - Mecanismos de transmissão de calor	44
Figura 8 - Fluxo de atividades de um sistema de Gestão de Obras Especiais	58
Figura 9 - Fluxograma com a metodologia do trabalho	61
Figura 10 - Vista aérea dos viadutos asas sul e norte, Brasília-DF.....	65
Figura 11 - Inspeção visual do viaduto da 215/216 sul	65
Figura 12 - Câmera de termografia infravermelha FLIR E8.....	66
Figura 13 - Informações sobre o clima em Brasília na data do registro das imagens.	67
Figura 14 - Análise das imagens termográficas no Software FLIR Tools	67
Figura 15 - Vista frontal do Viaduto da 215/216 Sul.....	68
Figura 16.a - Abrasão do concreto na laje	69
Figura 17.a - Fenda no revestimento lateral	70
Figura 18.a - Guarda-corpo 1 do viaduto.....	71
Figura 19.a - Guarda-corpo 02 do viaduto.....	71
Figura 20.a - Cortina de concreto do viaduto	72
Figura 21.a - Armadura exposta na laje.....	72
Figura 22.a - Fissura na junta de dilatação	75
Figura 23a - Viaduto 201/202 Sul	76
Figura 24.a - E.A.R Revestimento cerâmico viaduto	76
Figura 25.a – E.A.R – Revestimento deslocando do viaduto	76
Figura 26.a – E.A.R Cortina de Concreto do viaduto	77
Figura 27.a - E.A.R - Guarda Roda Danificado	77
Figura 28.b - E.AP.R.....	77
Figura 29.b - E.AP.R - Tabuleiro após reforma	78
Figura 30.b - E.AP.R - Revestimento	78
Figura 31.b - E.AP.R - Cortina de concreto do viaduto após reforma	79
Figura 32.b - E.AP.R - Guarda roda após reforma	79
Figura 33.b - E.AP.R - Guarda roda após reforma	79
Figura 34. b - E.AP.R - Guarda roda após reforma	79
Figura 35.c – TM.P.S - Termográfica tabuleiro.....	80
Figura 36.c - TM.P.S - Termográfica laje	80
Figura 37.c - TM.P.S - Termográfica cortina.....	80
Figura 38.c - TM.P.S – Termográfica guarda roda	80
Figura 39.c - TM.P.S - Termográfica tabuleiro	81
Figura 40.c - TM.P.S - Termográfica Guarda roda	81
Figura 41.d - TM.P.U - Termográfica tabuleiro	81
Figura 42.d - TM.P.U - Termográfica laje	81
Figura 43.d - TM.P.U - Termográfica laje	82
Figura 44.d - TM.P.U - Termográfica Guarda roda	82
Figura 45.d - TM.P.U – Termográfica Tabuleiro	82
Figura 46.d - TM.P.U - Termográfica Guarda roda	82
Figura 47.a Viaduto 203/204 Sul	83
Figura 48.a - E.A.R Revestimento cerâmico	83
Figura 49.a – E.A.R – Revestimento deslocando	83
Figura 50.a - E.A.R Acesso oeste da tesourinha.....	84
Figura 51.a - E.A.R - Guarda Roda Danificado.....	84
Figura 52.b - E.AP.R.....	84
Figura 53.b - E.AP.R - Tabuleiro após reforma	85
Figura 54.b - E.AP.R - Revestimento.....	85
Figura 55.b - E.AP.R - Cortina de concreto.....	85
Figura 56.b - E.AP.R - Guarda roda após.....	85

Figura 57.b - E.AP.R - Tabuleiro após reforma.....	86
Figura 58.b - E.AP.R - Junta da cortina.....	86
Figura 59.c – TM.P.S - Termográfica tabuleiro.....	86
Figura 60.c - TM.P.S - Termográfica laje	86
Figura 61.c - TM.P.S - Termográfica cortina de concreto	87
Figura 62.c – TM.P.S Termográfica do Guarda-corpo	87
Figura 63.c - TM.P.S - Termográfica tabuleiro	87
Figura 64.c - TM.P.S - Termográfica Junta da cortina.....	87
Figura 65.d - TM.P.U - Termográfica tabuleiro	88
Figura 66.d - TM.P.U - Termográfica laje	88
Figura 67.d - TM.P.U - Termográfica cortina de concreto	88
Figura 68.d – TM.P.U Termográfica do Guarda-corpo	88
Figura 69.d - TM.P.U - Termográfica tabuleiro	89
Figura 70.d - TM.P.U - Termográfica laje	89
Figura 71.a Viaduto 205/206 Sul	89
Figura 72.a – E.A.R – Revestimento deslocando	90
Figura 73.a – E.A.R – Detalhe do acesso oeste da tesourinha sob o Eixo W.....	90
Figura 74.a - E.A.R - Guarda Roda Danificado.....	90
Figura 75.a - E.A.R - Detalhe de fissura em tesourinha sob o Eixo	90
Figura 76.b - E.AP.R.....	91
Figura 77.b - E.AP.R - Tabuleiro após reforma.....	91
Figura 78.b - E.AP.R - Revestimento	91
Figura 79.b - Cortina de Concreto do Viaduto	92
Figura 80.b – E.A.R – Revestimento tabuleiro	92
Figura 81.b - E.AP.R - Guarda roda após reforma	92
Figura 82.b – E.AP.R Cortina de Concreto do Viaduto	92
Figura 83.c – TM.P.S - Termográfica tabuleiro.....	93
Figura 84.c - TM.P.S - Termográfica laje	93
Figura 85.c - TM.P.S Termográfica cortina de concreto	93
Figura 86.c - TM.P.S - Termográfica laje	93
Figura 87.c - TM.P.S - Termográfica Guarda roda	94
Figura 88.c - TM.P.S Termográfica junta da cortina	94
Figura 89.d – TM.P.U - Termográfica tabuleiro.....	94
Figura 90.d - TM.P.U - Termográfica laje	94
Figura 91.d - TM.P.U Termográfica cortina de concreto	95
Figura 92.d - TM.P.U - Termográfica laje	95
Figura 93.d - TM.P.U - Termográfica Guarda roda	95
Figura 94.d - TM.P.U Termográfica junta cortina de concreto	95
Figura 95.a Viaduto 207/208 Sul	96
Figura 96.a - E.A.R Revestimento cerâmico	96
Figura 97.a – E.A.R – Revestimento deslocando	96
Figura 98.a - E.A.R - Guarda Roda Danificado.....	97
Figura 99.a - E.A.R - cortina de concreto	97
Figura 100.b - E.AP.R.....	97
Figura 101.b - E.AP.R - Tabuleiro após reforma.....	98
Figura 102.b – E.AP.R Cortina de Concreto do viaduto	98
Figura 103.b – E.AP.R Junta Cortina de Concreto	98
Figura 104.b - E.AP.R - Guarda roda após reforma	98
Figura 105.b – E.A.R – Revestimento tabuleiro	99
Figura 106.b – E.AP.R Cortina de concreto	99
Figura 107.c – TM.P.S - Termográfica tabuleiro.....	99
Figura 108.c - TM.P.S Termográfica cortina de concreto	99
Figura 109.c – TM.P.S Cortina de concreto	100
Figura 110.c – TM.P.S Termograma do Guarda-roda.....	100
Figura 111.c - TM.P.S - Termográfica laje	100
Figura 112.c - TM.P.S Termográfica cortina de concreto	100
Figura 113.d – TM.P.U - Termográfica tabuleiro.....	101

Figura 114.d - TM.P.U Termográfica cortina de concreto	101
Figura 115.d – TM.P.U Cortina de concreto	101
Figura 116.d – TM.P.U Termograma do guarda roda	101
Figura 117.d - TM.P.U - Termográfica laje	102
Figura 118.d - TM.P.U Termográfica cortina de concreto	102
Figura 119.a Viaduto 209/210 Sul	102
Figura 120.a - E.A.R Revestimento cerâmico	103
Figura 121.a – E.A.R – Revestimento deslocando	103
Figura 122.a - E.A.R – Cortina de concreto	103
Figura 123.a - E.A.R - Guarda Roda Danificado	103
Figura 124.b - E.AP.R.....	104
Figura 125.b - E.AP.R - Tabuleiro após reforma	104
Figura 126.b – E.AP.R Cortina de Concreto do viaduto	104
Figura 127.b – E.AP.R Junta da cortina de concreto	105
Figura 128.b - E.AP.R - Guarda roda após reforma	105
Figura 129.b – E.A.R – Revestimento tabuleiro	105
Figura 130.b - E.AP.R - Guarda roda após reforma	105
Figura 131.c – TM.P.S – Termográfica Tabuleiro	106
Figura 132.c - TM.P.S Termográfica cortina de concreto	106
Figura 133.c - TM.P.S Termográfica junta da cortina	106
Figura 134.c – TM.P.S Termograma do Guarda roda	106
Figura 135.c - TM.P.S - Termográfica laje	107
Figura 136.c – TM.P.S Termograma do Guarda roda	107
Figura 137.d – TM.P.U - Termográfica tabuleiro.....	107
Figura 138.d - TM.P.U Termográfica cortina de concreto	107
Figura 139.d - TM.P.U Termográfica junta da cortina.....	108
Figura 140.d – TM.P.U Termograma do Guarda roda	108
Figura 141.d – TM.P.U Termograma da laje	108
Figura 142.d – TM.P.U Termograma do Guarda roda	108
Figura 143.a Viaduto 211/212 Sul	109
Figura 144.a - E.A.R Revestimento cerâmico	109
Figura 145.a – E.A.R – Revestimento deslocando	109
Figura 146.a - E.A.R - cortina de concreto	110
Figura 147.a - E.A.R - Guarda Roda Danificado	110
Figura 148.b - E.AP.R.....	110
Figura 149.b – E.AP.R Junta da cortina de concreto	111
Figura 150.b – E.AP.R Cortina de Concreto.....	111
Figura 151.b – E.A.R – Revestimento tabuleiro	111
Figura 152.b - E.AP.R - Guarda roda após reforma	111
Figura 153.b – E.AP.R Junta da Cortina de concreto	112
Figura 154.b - E.AP.R - Guarda roda após reforma	112
Figura 155.c – TM.P.S - Termográfica tabuleiro.....	112
Figura 156.c - TM.P.S Termográfica da cortina	112
Figura 157.c - TM.P.S - Termográfica laje	113
Figura 158.c – TM.P.S Termograma do Guarda roda	113
Figura 159.c – TM.P.S Cortina de concreto	113
Figura 160.c – TM.P.S Termograma do Guarda roda	113
Figura 161.d – TM.P.U - Termográfica tabuleiro.....	114
Figura 162.d - TM.P.U Termográfica da cortina	114
Figura 163.d - TM.P.U - Termográfica laje	114
Figura 164.d – TM.P.U Termograma do Guarda roda	114
Figura 165.d – TM.P.U Junta da cortina de concreto	115
Figura 166.d – TM.P.U Termograma do Guarda roda	115
Figura 167.a Viaduto 213/214 Sul	115
Figura 168.a - E.A.R Revestimento cerâmico	116
Figura 169.a – E.A.R – Revestimento deslocando	116
Figura 170.a - E.A.R - laje	116

Figura 171.a - E.A.R - Guarda Roda Danificado	116
Figura 172.b - E.AP.R.....	117
Figura 173.b - E.AP.R - Tabuleiro após reforma.....	117
Figura 174.b – E.AP.R Cortina de Concreto.....	117
Figura 175.b – E.AP.R Junta da cortina de concreto	118
Figura 176.b - E.AP.R - Guarda roda após reforma	118
Figura 177.b - E.AP.R - Guarda roda após reforma	118
Figura 178.b – E.A.R – Revestimento tabuleiro	118
Figura 179.c - TM.P.S - Termográfica laje	119
Figura 180.c - TM.P.S Termográfica da cortina	119
Figura 181.c - TM.P.S Termográfica junta da cortina	119
Figura 182.c – TM.P.S Termograma do Guarda roda	119
Figura 183.c – TM.P.S Cortina de concreto	120
Figura 184.c - TM.P.S - Termográfica laje	120
Figura 185.d - TM.P.U - Termográfica laje	120
Figura 186.d - TM.P.U Termográfica da cortina.....	120
Figura 187.d - TM.P.U Termográfica junta da cortina.....	121
Figura 188.d – TM.P.U Termograma do Guarda roda	121
Figura 189.d – TM.P.U Cortina de concreto.....	121
Figura 190.d - TM.P.U - Termográfica laje	121
Figura 191.a Viaduto 215/216 Sul	122
Figura 192.a - E.A.R Revestimento cerâmico	122
Figura 193.a - E.A.R - laje	122
Figura 194.a – E.A.R calçada danificada próximo a ponto de drenagem do viaduto.....	123
Figura 195.a - E.A.R - Guarda Roda Danificado	123
Figura 196.b - E.AP.R.....	123
Figura 197.b - E.AP.R - Tabuleiro após reforma.....	124
Figura 198.b - E.AP.R - laje	124
Figura 199b – E.AP.R Cortina de Concreto.....	124
Figura 200.b – E.A.R – Revestimento tabuleiro	124
Figura 201.b – E.AP.R Junta da cortina de concreto	125
Figura 202.b - E.AP.R - Guarda roda após reforma	125
Figura 203.c - TM.P.S - Termográfica Tabuleiro	125
Figura 204.c - TM.P.S - Termográfica laje	125
Figura 205.c - TM.P.S Termográfica da cortina	126
Figura 206.c - TM.P.S - Termográfica laje	126
Figura 207.c - TM.P.S Termográfica junta da cortina	126
Figura 208.c – TM.P.S Termograma do Guarda roda	126
Figura 209.d - TM.P.U - Termográfica Tabuleiro	127
Figura 210.d - TM.P.U - Termográfica laje	127
Figura 211.d - TM.P.U Termográfica da cortina.....	127
Figura 212.d - TM.P.U - Termográfica laje	127
Figura 213.d - TM.P.U Termográfica junta da cortina.....	128
Figura 214.d – TM.P.U Termograma do Guarda roda	128
Figura 215.a Viaduto 201/202 Norte.....	128
Figura 216.a - E.A.R Revestimento cerâmico	129
Figura 217.a - E.A.R Revestimento cerâmico	129
Figura 218.a - E.A.R - laje	129
Figura 219.a - E.A.R - Guarda Roda Danificado	129
Figura 220.b - E.AP.R.....	130
Figura 221.b - E.AP.R - Tabuleiro após reforma.....	130
Figura 222.b – E.AP.R Junta da cortina de concreto	130
Figura 223.b – E.AP.R Cortina de Concreto.....	131
Figura 224.b – E.A.R – Revestimento tabuleiro	131
Figura 225.b - E.AP.R - laje	131
Figura 226.b – E.A.R – Revestimento tabuleiro	131
Figura 227.c - TM.P.S - Termográfica Tabuleiro	132

Figura 228.c - TM.P.S - Termográfica junta da cortina	132
Figura 229.c - TM.P.S Termográfica junta.....	132
Figura 230.c - TM.P.S - Termográfica Tabuleiro	132
Figura 231.c - TM.P.S - Termográfica laje	133
Figura 232.c - TM.P.S - Termográfica Tabuleiro	133
Figura 233.d - TM.P.U - Termográfica Tabuleiro	133
Figura 234.d - TM.P.U - Termográfica junta da cortina	133
Figura 235.d - TM.P.U Termográfica junta.....	134
Figura 236.d - TM.P.U - Termográfica Tabuleiro.....	134
Figura 237.d - TM.P.U - Termográfica laje	134
Figura 238.d - TM.P.U - Termográfica Tabuleiro.....	134
Figura 239.a Viaduto 203/204 Norte.....	135
Figura 240.a - E.A.R Exposição e corrosão da armadura	135
Figura 241.a - E.A.R Fissura na laje do viaduto	135
Figura 242.a - E.A.R Exposição e corrosão de armadura	136
Figura 243.a - E.A.R Armadura exposta em encabeçamento no viaduto	136
Figura 244.b - E.AP.R.....	136
Figura 245.b - E.AP.R - Tabuleiro após reforma.....	137
Figura 246.b – E.AP.R Junta da cortina de concreto	137
Figura 247.b – E.AP.R Cortina de Concreto.....	137
Figura 248.b - E.AP.R - laje	137
Figura 249.b – E.AP.R Passagem de pedestre	138
Figura 250.b - E.AP.R - Guarda roda após reforma	138
Figura 251.c - TM.P.S - Termográfica Tabuleiro	138
Figura 252.c - TM.P.S - Termográfica junta cortina.....	138
Figura 253.c - TM.P.S Termográfica junta.....	139
Figura 254.c - TM.P.S - Termográfica laje	139
Figura 255.c - TM.P.S Termográfica passagem de pedestre.....	139
Figura 256.c – TM.P.S Termograma do Guarda roda	139
Figura 257.d - TM.P.U - Termográfica Tabuleiro	140
Figura 258.d - TM.P.U - Termográfica junta cortina.....	140
Figura 259.d - TM.P.U Termográfica junta.....	140
Figura 260.d - TM.P.U - Termográfica laje	140
Figura 261 - TM.P.U Termográfica passagem de pedestre.....	141
Figura 262.d – TM.P.U Termograma do Guarda roda	141
Figura 263.a Viaduto 205/206 Norte.....	141
Figura 264.a - E.A.R Guarda roda danificado	142
Figura 265.a - E.A.R Armadura exposta no encabeçamento do viaduto	142
Figura 266.a - E.A.R Encabeçamento do viaduto	142
Figura 267.a - E.A.R Guarda roda	142
Figura 268.b - E.AP.R.....	143
Figura 269.b – E.AP. R Encabeçamento do viaduto	143
Figura 270.b – E.AP.R – Revestimento tabuleiro	143
Figura 271.b – E.AP.R Cortina de concreto	144
Figura 272.b - E.AP.R - Guarda roda após reforma	144
Figura 273.b – E.AP.R – Revestimento laje	144
Figura 274.b - E.AP.R - Guarda roda	144
Figura 275.c - TM.P.S - Termográfica encabeçamento do viaduto	145
Figura 276.c - TM.P.S - Termográfica tabuleiro	145
Figura 277.c - TM.P.S - Termográfica cortina de concreto.....	145
Figura 278.c - TM.P.S - Termográfica guarda roda	145
Figura 279.c - TM.P.S - Termográfica tabuleiro.....	146
Figura 280.c - TM.P.S - Termográfica guarda roda	146
Figura 281.d - TM.P.U - Termográfica encabeçamento do viaduto	146
Figura 282.d - TM.P.U - Termográfica tabuleiro	146
Figura 283.d - TM.P.U - Termográfica cortina de concreto	147
Figura 284.d - TM.P.U - Termográfica guarda roda.....	147

Figura 285.d - TM.P.U - Termográfica tabuleiro	147
Figura 286.d - TM.P.U - Termográfica guarda roda	147
Figura 287.a Viaduto 207/208 Norte.....	148
Figura 288.a - E.A.R Exposição e corrosão de armadura do viaduto	148
Figura 289.a - E.A.R Armadura exposta em encabeçamento	148
Figura 290.a - E.A.R Armadura rompida em encabeçamento do viaduto	149
Figura 291.a - E.A.R Exposição e corrosão de armadura no viaduto	149
Figura 292.b - E.AP.R.....	149
Figura 293.b – E.AP.R Encabeçamento do viaduto	150
Figura 294.b – E.AP. R Encabeçamento do viaduto	150
Figura 295.b – E.AP. R Cortina de concreto	150
Figura 296.b – E.AP. R Tabuleiro	150
Figura 297.b – E.AP.R Junta da cortina de concreto.....	151
Figura 298.b - E.AP.R - Guarda roda após reforma	151
Figura 299.c - TM.P.S - Termográfica encabeçamento do viaduto	151
Figura 300.c - TM.P.S - Termográfica encabeçamento do viaduto	151
Figura 301.c - TM.P.S - Termográfica cortina de concreto.....	152
Figura 302.c - TM.P.S - Termográfica Tabuleiro	152
Figura 303.c - TM.P.S - Termográfica junta da cortina	152
Figura 304.c - TM.P.S - Termográfica Guarda roda	152
Figura 305.d - TM.P.U - Termográfica encabeçamento do viaduto	153
Figura 306.d - TM.P.U - Termográfica encabeçamento do viaduto	153
Figura 307.d - TM.P.U - Termográfica cortina de concreto	153
Figura 308.d - TM.P.U - Termográfica Tabuleiro	153
Figura 309.d - TM.P.U - Termográfica Junta da cortina de concreto	154
Figura 310d - TM.P.U - Termográfica Guarda roda	154
Figura 311.a Viaduto 209/210 Norte.....	154
Figura 312.a - E.A.R Guarda roda danificado	155
Figura 313.a - E.A.R Guarda roda danificado	155
Figura 314.a - E.A.R Exposição e corrosão de armadura no viaduto	155
Figura 315.a - E.A.R Exposição e corrosão de armadura	155
Figura 316.b - E.AP.R.....	156
Figura 317.b – E.AP.R Encabeçamento do viaduto	156
Figura 318.b – E.AP. R Junta do Encabeçamento.....	156
Figura 319.b – E.AP. R Junta da cortina de concreto.....	157
Figura 320.b – E.AP. R Encabeçamento do viaduto	157
Figura 321.b – E.AP. R Cortina de concreto	157
Figura 322.b – E.AP. R Guarda roda.....	157
Figura 323.c - TM.P.S - Termográfica encabeçamento do viaduto	158
Figura 324.c - TM.P.S – Termográfica junta do encabeçamento	158
Figura 325.c - TM.P.S – Termográfica junta da cortina	158
Figura 326.c - TM.P.S – Termográfica encabeçamento do viaduto	158
Figura 327.c - TM.P.S - Termográfica cortina de concreto.....	159
Figura 328.c - TM.P.S - Termográfica Guarda roda	159
Figura 329.d - TM.P.U - Termográfica encabeçamento do viaduto	159
Figura 330.d - TM.P.U – Termográfica junta do encabeçamento.....	159
Figura 331.d - TM.P.U – Termográfica junta da cortina	160
Figura 332d - TM.P.U – Termográfica encabeçamento do viaduto	160
Figura 333.d - TM.P.U - Termográfica cortina de concreto.....	160
Figura 334.d - TM.P.U - Termográfica Guarda roda	160
Figura 335.a Viaduto 211/212 Norte.....	161
Figura 336.a - E.A.R Acesso ao viaduto.....	161
Figura 337.a - E.A.R Guarda roda danificado	161
Figura 338.a - E.A.R Armadura exposta no encabeçamento e junta do viaduto	162
Figura 339.a - E.A.R Armadura exposta no encabeçamento	162
Figura 340.b - E.AP.R.....	162
Figura 341.b – E.AP.R Encabeçamento do viaduto	163

Figura 342.b – E.AP.R Guarda roda	163
Figura 343.b – E.AP.R Encabeçamento e junta do viaduto	163
Figura 344.b – E.AP.R Junta da cortina	163
Figura 345.b – E.AP.R Tabuleiro	164
Figura 346.b – E.AP.R Passagem de pedestre	164
Figura 347.c - TM.P.S - Termográfica encabeçamento do viaduto	164
Figura 348.c - TM.P.S - Termográfica Guarda roda	164
Figura 349.c - TM.P.S - Termográfica encabeçamento e junta do viaduto	165
Figura 350.c - TM.P.S - Termográfica junta da cortina	165
Figura 351.c - TM.P.S - Termográfica Tabuleiro	165
Figura 352.c - TM.P.S - Termográfica passagem de pedestre	165
Figura 353d - TM.P.U - Termográfica encabeçamento do viaduto	166
Figura 354.d - TM.P.U - Termográfica Guarda roda	166
Figura 355.d - TM.P.U - Termográfica encabeçamento e junta do viaduto	166
Figura 356.d - TM.P.U - Termográfica junta da cortina	166
Figura 357.d - TM.P.U - Termográfica Tabuleiro	167
Figura 358.d - TM.P.U - Termográfica passagem de pedestre	167
Figura 359.a Viaduto 213/214 Norte.....	167
Figura 360.a - E.A.R Encabeçamento do viaduto	168
Figura 361.a - E.A.R Guarda roda danificado	168
Figura 362.a - E.A.R Encabeçamento do viaduto com corrosão	168
Figura 363.a - E.A.R Guarda roda do viaduto.....	168
Figura 364.b - E.AP.R.....	169
Figura 365.a - E.A.R Encabeçamento do viaduto	169
Figura 366.a - E.A.R Encabeçamento do viaduto	169
Figura 367.a - E.A.R Passagem de pedestre	170
Figura 368.a - E.A.R Guarda roda	170
Figura 369.a - E.A.R Tabuleiro	170
Figura 370.a - E.A.R Guarda roda	170
Figura 371.c - TM.P.S - Termográfica encabeçamento do viaduto	171
Figura 372.c - TM.P.S - Termográfica encabeçamento do viaduto	171
Figura 373.c - TM.P.S - Termográfica cortina do viaduto	171
Figura 374.c - TM.P.S - Termográfica Guarda roda	171
Figura 375.c - TM.P.S - Termográfica Tabuleiro	172
Figura 376.c - TM.P.S - Termográfica Guarda roda	172
Figura 377.d - TM.P.U - Termográfica encabeçamento do viaduto	172
Figura 378.d - TM.P.U - Termográfica encabeçamento do viaduto	172
Figura 379.d - TM.P.U - Termográfica cortina do viaduto	173
Figura 380.d - TM.P.U - Termográfica Guarda roda	173
Figura 381.d - TM.P.U - Termográfica Tabuleiro	173
Figura 382d - TM.P.U - Termográfica Guarda roda	173
Figura 383.a Viaduto 215/216 Norte.....	174
Figura 384.a - E.A.R Guarda roda danificado	174
Figura 385.a - E.A.R Encabeçamento do viaduto	174
Figura 386.a - E.A.R Guarda roda e encabeçamento do viaduto.....	175
Figura 387.a - E.A.R Tabuleiro	175
Figura 388.b - E.AP.R.....	175
Figura 389.a - E.A.R Junta da cortina de concreto	176
Figura 390.a - E.A.R Passagem de pedestre	176
Figura 391.a - E.A.R Cortina de concreto	176
Figura 392.a - E.A.R Guarda roda	176
Figura 393.a - E.A.R Tabuleiro	177
Figura 394.a - E.A.R Junta da cortina.....	177
Figura 395.c - TM.P.S - Termográfica Junta da cortina de concreto	177
Figura 396.c - TM.P.S - Termográfica Passagem de pedestre.....	177
Figura 397.c - TM.P.S - Termográfica cortina	178
Figura 398.c - TM.P.S - Termográfica Guarda roda	178

Figura 399.c - TM.P.S - Termográfica Tabuleiro	178
Figura 400.c - TM.P.S - Termográfica Junta da cortina.....	178
Figura 401.d - TM.P.U - Termográfica Junta da cortina.....	179
Figura 402.d - TM.P.U - Termográfica Passagem de pedestre.....	179
Figura 403.d - TM.P.U - Termográfica cortina.....	179
Figura 404.d - TM.P.U - Termográfica Guarda roda	179
Figura 405.d - TM.P.U - Termográfica Tabuleiro	180
Figura 406.d - TM.P.U - Termográfica Cortina	180

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Frequência dos tipos de Inspeções em OAEs.....	55
Tabela 2 - Classificação da condição de OAE segundo os.....	57
Tabela 3 - Especificações da câmera de termografia infravermelha FLIR E8.....	66
Tabela 4 - Resultados obtidos para o viaduto L.....	74

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

CEB - Comité Euro-International du Béton

DER - Departamento de Estradas de Rodagem

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

END's – Ensaio não Destrutivo

E.A.R – Especificação Antes da Reforma

E.A.P.R – Especificação Após Reforma

IPR - Instituto de Pesquisas Rodoviárias

NBR - Norma Brasileira

OAEs - Obras de Arte Especiais

TM.P.S – Termografia Período Seco

TM.P.U – Termografia Período Úmido

1. INTRODUÇÃO

A compreensão dos fatores que favorecem a degradação de viadutos¹ é fundamental para aumentar a sua vida útil. Os viadutos estão expostos às intempéries, bem como a agentes agressivos e mecanismo de deterioração que afetam a funcionalidade de sua estrutura.

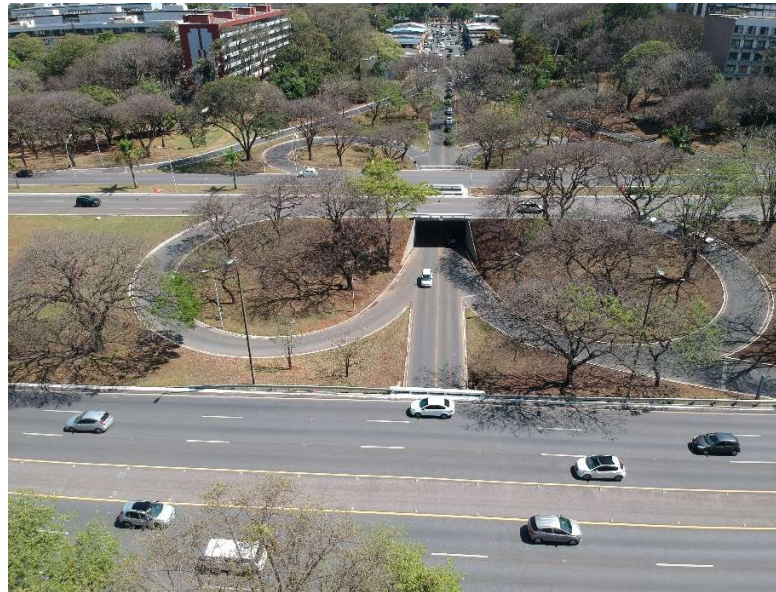
De acordo com o Manual do DNIT (2004), as pontes podem ser divididas em três partes: Estrado, Superestrutura e Infraestrutura:

Estrado – elemento da ponte no qual a carga móvel atua diretamente, possui função estrutural de transferir as cargas a outros elementos da ponte. Usualmente, é composto por lajes e um sistema estrutural secundário. Em alguns tipos de pontes, como as pontes em laje de concreto armado, o estrado e a superestrutura são um único elemento que transfere as cargas diretamente aos apoios.

Superestrutura – é o elemento da ponte que suporta o estrado e todas as cargas nele aplicadas, possui função estrutural de transmitir as cargas do estrado, ao longo dos vãos, para os apoios. Alguns elementos da superestrutura, além do tabuleiro, estão mostrados na Figura 1. O Elementos estruturais transversais, projetados para contraventar a superestrutura ou distribuir as cargas entre as diversas vigas longitudinais.

Infraestrutura – componente que engloba todos os elementos que suportam a superestrutura, possui a função de transmitir as cargas de superestrutura, e a sua própria carga, às fundações, diretas ou profundas. Há dois elementos: básicos nas infraestruturas: encontros e pilares. Os encontros são elementos que suportam as extremidades das pontes, ao mesmo tempo em que arrimam os acessos rodoviários. Os pilares isolados, maciços ou aporticados, são os apoios intermediários.

¹ Segundo a NBR 9452:2006, viaduto é uma estrutura destinada à transposição de obstáculo à continuidade do leito normal de uma via, e cujo obstáculo é constituído por rodovia, ferrovia, vale, grotta, contorno de encosta. Esta estrutura destina-se também à substituição de aterros.



Fonte: acervo pessoal.

As primeiras normas brasileiras relacionadas ao cálculo e execução de estruturas de concreto armado abrangiam obras com diferentes geometrias transversais, calculadas para solicitações causadas por diferentes carregamentos e dimensionadas e detalhadas seguindo os critérios utilizados na época da realização de seus projetos, critérios esses não mais aceitos (DNIT, 2004).

Deste modo, no Brasil existem pontes de diferentes idades, projetadas e dimensionadas segundo diferentes critérios. Portanto, o perfil das pontes da maioria das rodovias, senão da totalidade, é bastante heterogêneo.

Os viadutos são estruturas que se deterioram rapidamente, especialmente as suas lajes, porque estão diretamente expostas ao tráfego e ao meio ambiente (GUCUNSKI et al., 2015 apud J. H. A. Rocha, Y. V. Póvoas, 2017). A degradação do concreto, a corrosão do aço e o enfraquecimento das conexões, entre outros problemas, são fontes de preocupação permanente na manutenção dessas Obras de Artes Especiais (OAEs). Uma correta inspeção e avaliação dos viadutos e suas partes é necessária para evitar a deterioração da integridade estrutural e do serviço com o tempo (ISLAM et al., 2014).

Nesse contexto, há uma demanda por métodos de inspeção mais modernos, condizentes com a nova realidade tecnológica da construção civil, como é o caso do ensaio não destrutivo de

termografia infravermelha, que tem como base a detecção da radiação infravermelha emitida naturalmente pelos corpos com intensidade proporcional à sua temperatura. Através dessa técnica é possível identificar regiões, ou pontos, onde a temperatura está alterada com relação a um padrão preestabelecido.

A termografia infravermelha é um método baseado na captação e análise de imagens obtidas por uma câmera infravermelha que permite investigações rápidas e eficientes sem que haja sequer contato físico com a estrutura. Sua aplicação segue o princípio fundamental de que anomalias internas ao longo de uma estrutura de mesmo material apresentam fluxo de calor não uniforme. Essas diferenças de fluxo de calor podem ser percebidas na temperatura superficial do elemento em estudo (MENDONÇA, 2005). Sendo assim, a captação de imagens infravermelhas que sinalizem as temperaturas superficiais de um elemento submetido a um determinado fluxo de calor pode determinar a existência e a localização de anomalias ou descontinuidades internas.

[...] Segundo Carasek (2014 apud Cortizo, Barbosa e Souza, 2011, p.1) “apesar de a técnica ser bastante difundida nos países europeus, graças ao grande acervo histórico, no Brasil sua utilização é relativamente nova, seja pelo alto custo dos equipamentos de análise, seja por sua dificuldade de aplicação prática.

No Brasil, de acordo com a NBR 9452 (ABNT, 2016), os viadutos devem ser inspecionados a cada ano, mas apenas com uma inspeção rotineira. As inspeções mais detalhadas devem ocorrer entre 5 a 8 anos, dependendo do caso. As pesquisas na área (Mendes; Moreira; Pimienta, 2012; Pintan et al., 2015; Vitória e Barros, 2012) mostram que mais do que um terço dos viadutos estudados possuem características deficientes, associadas em muitos casos à falta de manutenção adequada ou oportuna.

De acordo com a 21ª Pesquisa CNT de Rodovias, divulgada pela Confederação Nacional do Transporte, das 10.447 pontes ou viadutos pesquisados em todo o país, 58,6% não possuem acostamentos ou defensas e 7,6% não possuem nenhum dos dois mecanismos de segurança. Além disso, 1.429 estão localizados em cidades, por onde as rodovias avaliadas transitam em áreas comerciais ou residenciais. Dessas, 79,8% não possuem passagem de pedestre, dificultando a mobilidade local.

[...] hoje, no Brasil, a falta de programas voltados à manutenção de pontes e viadutos é um dos maiores problemas enfrentados pelo sistema rodoviário. Um dos fatores que contribui para isso, é a ausência de políticas e estratégias voltadas para a conservação

dessas obras, que, por sua vez, estão sendo sobrecarregadas pelo grande fluxo de veículos pesados e com sobrepeso. (VITÓRIO, 2006, p.1)

Nesse sentido, o presente trabalho visa verificar a aplicabilidade da termografia infravermelha, como um ensaio não destrutivo, na avaliação de manifestações patológicas em um viaduto localizado na cidade de Brasília, Distrito Federal, considerando como premissas que as diferenças físicas e anomalias no interior dos viadutos apresentam comportamentos diferenciados quanto à transferência de calor, e que os registros dos gradientes térmicos superficiais podem ser um indicativo da presença de alterações, ou mesmo, de anomalias.

1.1. Problema de Pesquisa

Analisar a eficiência do uso da Termografia Infravermelha Passiva na análise das Manifestações Patológicas detectadas nos viadutos localizados nas quadras:

- 215/216 – 213/214 - 211/212 – 209/210 – 207/208 – 205/206 – 203/204 – 201/202, da Asa Sul, e nas quadras 215/216 – 213/214 - 211/212 – 209/210 – 207/208 – 205/206 – 203/204 – 201/202, da Asa Norte, na cidade de Brasília, Distrito Federal.

1.2. Justificativa

Em fevereiro de 2018, um evento trágico abalou a área central da cidade de Brasília: parte de um viaduto desabou, chamando a atenção para a falta de manutenção de estruturas vitais. O Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Distrito Federal (CREA/DF) classificou esse incidente como uma tragédia anunciada, uma vez que investigações subsequentes confirmaram que a negligência em conduzir inspeções adequadas foi um fator crucial.

No entanto, o desabamento do viaduto em Brasília não é um caso isolado. Em todo o território nacional, temos testemunhado uma série de colapsos relacionados a pontes e viadutos, o que aponta para a importância crucial de implementar programas regulares e detalhados de manutenção preventiva para tais estruturas.

Esses incidentes não apenas colocam vidas em risco, mas também têm implicações significativas para a mobilidade urbana e para economia como um todo.

Além disso, é vital reconhecer que a infraestrutura desempenha um papel fundamental no desenvolvimento sustentável das cidades. Investir em inspeções técnicas frequentes, análises de resistência estrutural e reparos adequados não apenas protege a segurança dos cidadãos, mas também preserva o patrimônio público a longo prazo. O custo de manutenção é consideravelmente menor quando comparado aos danos catastróficos e às interrupções causadas por colapsos inesperados.

Em face desses incidentes e lições aprendidas, é imperativo que as autoridades governamentais, juntamente com os profissionais de engenharia e construção, trabalhem de mãos dadas para estabelecer regulamentos mais rigorosos e eficazes, garantindo que todas as estruturas sejam submetidas a avaliações rigorosas e que os reparos sejam realizados de maneira oportuna. O investimento contínuo em pesquisa e tecnologia também pode fornecer métodos mais avançados de monitoramento e diagnóstico, contribuindo assim para a prevenção de desastres e a segurança de todos os usuários das rodovias.

[...] deve-se projetar e executar as OAEs visando garantir segurança estrutural, preservar desempenho e atingir a vida útil (com sustentabilidade), considerando também o conhecimento das demandas de desempenho, resposta dos materiais e componentes à diferentes condições de uso e exposição (mecanismos de degradação). Silva (2012 apud MOSCOSO, 2017, p.8)

A Figura 1 ilustra o Ciclo de vida das OAEs proposto por Silva (2012):



Fonte: Silva Filho (2012), (com adaptações).

Nota-se no modelo proposto que a opção de manutenção surge como uma alternativa antes de se contemplar a possibilidade de demolir a estrutura, visando assegurar o funcionamento adequado dos elementos das (OAEs) e prolongar a sua vida útil.

De acordo com Sitter (1983), cabe ressaltar que uma boa programação das manutenções preventivas nas pontes e viadutos, significa uma considerável economia no futuro, já que o custo relativo de intervenção é dado por uma progressão geométrica de razão 5, onde a cada fase do processo produtivo, multiplica-se por cinco os custos acumulados, conforme apresentado na figura 2.

Figura 2 - Lei de evolução de custos

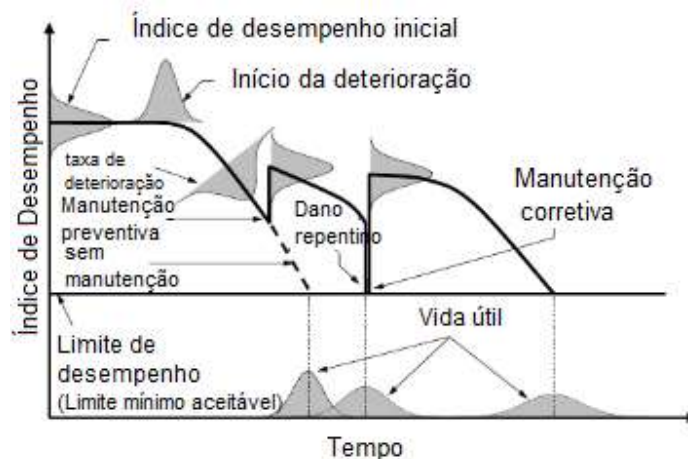


Fonte: Lei de Sitter (SITTER, 1983).

A extensão da vida útil da estrutura é alcançada através da implementação de manutenções preventivas e corretivas ao longo do tempo.

A Figura 3 ilustra como os tipos de intervenções citadas por Frangopol e Bochinni (2011) impactam no desempenho das OAEs.

Figura 3 - Impacto de diferentes tipos de intervenções no nível de desempenho estrutural ao longo do ciclo de vida das OAE



Fonte: Frangopol e Bochinni (2011).

A norma ABNT NBR 9452:2016, que aborda a inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto, estabelece diretrizes para inspeções regulares (visuais) anuais. Além disso, ela preconiza uma inspeção especial mais detalhada a cada cinco anos, podendo ser estendida para até oito anos, dependendo da classificação da obra de arte. Embora a NBR 9452 promova a cultura de inspeção em pontes e viadutos, a gestão dessas OAEs no Brasil ainda demanda progressos na implementação de um programa de gestão sólido.

A ausência de procedimentos de inspeção sistemáticos ao longo de toda a vida útil da estrutura, de modo a garantir que as atividades de manutenção sejam eficazes e viáveis sob os aspectos financeiros, estruturais, funcionais e de durabilidade, representa um ponto crítico que exige uma atenção especial.

Nesse contexto, a utilização de ensaios não destrutivos, como os empregados no presente estudo, contribui para os interesses da sociedade ao oferecer um diagnóstico preciso, reduzindo a subjetividade nas investigações de manifestações estruturais e, conseqüentemente, na segurança dos usuários.

A realização e implementação de manutenções preventivas nas OAEs (Obras de Arte Especiais) desempenha um papel crucial na extensão da vida útil da estrutura e no aumento do intervalo entre as intervenções de manutenções corretivas. Além disso, essa prática contribui para a redução dos custos necessários para garantir um desempenho ideal ao longo do tempo.

De acordo com Castro (1994), no ciclo de vida das estruturas, é importante o acompanhamento da degradação delas, já que o envelhecimento das OAEs deve ocorrer de acordo ao programado e na velocidade de projeção prevista no projeto. Sendo que, se a degradação da estrutura tem um desenvolvimento maior do que o previsto, é necessário realizar alguma intervenção para cumprir a vida útil esperada. Na busca em manter ou melhorar a capacidade resistente das estruturas, a realização de intervenções de manutenção surge como caminho para atingir esse objetivo.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo Geral

O presente trabalho visa avaliar a eficiência da termografia infravermelha como ensaio não destrutivo, de forma qualitativa, na verificação de manifestações patológicas em viadutos.

1.3.2. Objetivo Específico

Os objetivos específicos desta pesquisa são os seguintes:

- Levantar informações para o estudo de manifestações patológicas nos viadutos, situados nas Asas Sul e Norte, do Plano Piloto do DF: Chegada pelo Eixinho Leste (entre quadras 200) e retorno pelo Eixinho Oeste (entre quadras 100) 215/216 – 213/214 – 211/212 – 209/210 – 207/208 – 205/206 – 203/204 -201/202 Sul. 215/216 – 213/214 – 211/212 – 209/210 – 207/208 – 205/206 – 203/204 – 201/20, na Asa Sul2 Norte.

- Conhecer as normas para o emprego da câmera termográfica;
- Analisar dados de levantamento visual em conjunto com as imagens termográficas para a correta identificação das anomalias no viaduto;
- Relacionar as irregularidades na estrutura do viaduto com as possíveis identificações das manifestações patológicas no termograma;
- Avaliar a técnica de termografia como ensaio não destrutivo para diagnóstico de manifestações patológicas em viadutos.

1.4. Estrutura do Trabalho

O primeiro capítulo apresenta uma contextualização do tema, delimitação dos objetivos e exposição da justificativa com a relevância do assunto abordado no trabalho.

O segundo capítulo aborda de maneira concisa o funcionamento da técnica de termografia infravermelha, além de realizar uma revisão da literatura relacionada à sua aplicação. Também são mencionadas algumas manifestações patológicas em viadutos, associadas às possíveis causas, e são apresentados métodos de inspeção existentes para viadutos.

No terceiro capítulo são detalhados os aspectos metodológicos utilizados na pesquisa, incluindo a descrição do processo de captura de termogramas por meio da termografia infravermelha passiva.

O quarto capítulo se concentra na análise das imagens termográficas e das variáveis utilizadas no procedimento, visando identificar anomalias e fornecer um diagnóstico da condição estrutural do viaduto por meio da termografia.

Nas conclusões da pesquisa, demonstra-se que o objetivo de destacar a relevância da termografia infravermelha na investigação de manifestações patológicas em viadutos foi alcançado.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

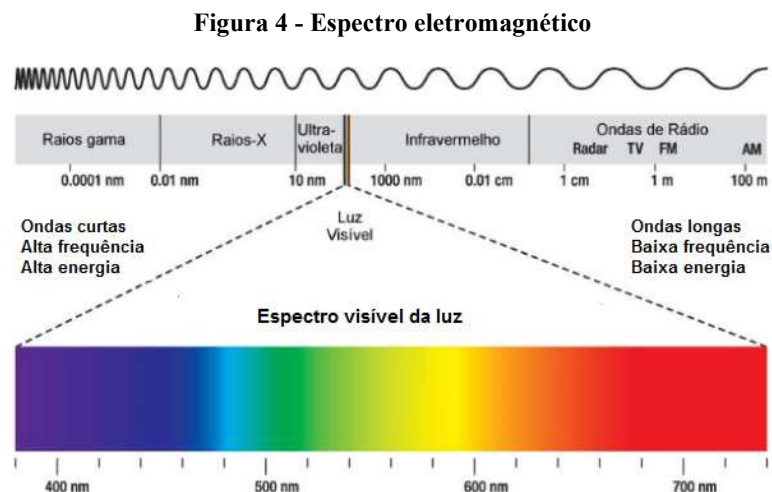
1.5. Termografia Infravermelha

Iniciar o estudo com uma boa fundamentação teórica é fundamental para que sejam demonstrados a ampla gama de definições e princípios utilizados para a abordagem do tema.

1.5.1. Princípios Básico

A etimologia da palavra “termografia” origina do grego *therme*, que significa “calor”, e grafia, “escrita”. Trata-se de uma ferramenta de manutenção preditiva que busca mapear um corpo ou uma região com o objetivo de distinguir áreas de diferentes temperaturas.

Quanto maior a temperatura do objeto, maior a radiação infravermelha emitida por ele. Esta radiação possui um comprimento de onda impossível de ser vista a olho nu, mas que pode ser sentida na forma de calor, conforme apresentado na figura 4.



Fonte: Dreaminc (com adaptações).

Os princípios fundamentais da termografia infravermelha se baseiam na relação entre a temperatura e a radiação eletromagnética. Conforme a Lei de Stefan-Boltzmann,

todos os objetos com temperaturas acima do zero absoluto emitem radiação térmica, e essa emissão é mais intensa à medida que a temperatura aumenta. A termografia infravermelha aproveita essa radiação na faixa do espectro infravermelho, que é invisível ao olho humano.

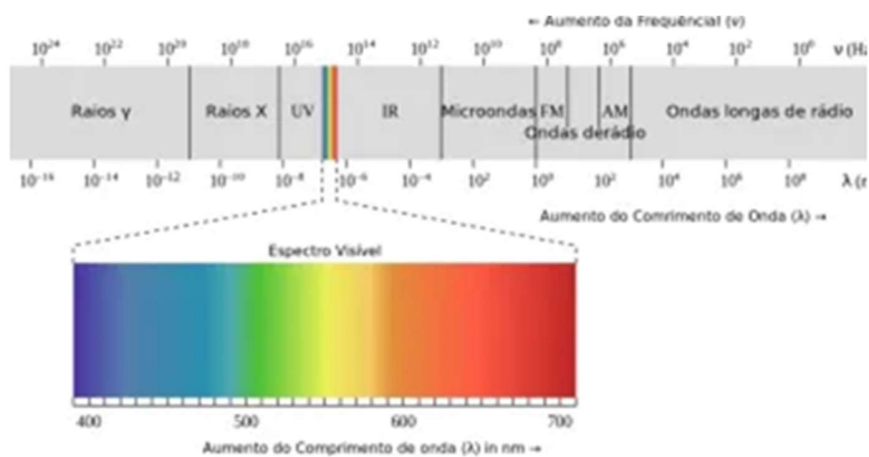
Os princípios essenciais da termografia infravermelha são:

- Emissão de Radiação: Qualquer objeto com temperatura acima do zero absoluto emite radiação eletromagnética, e a temperatura do objeto influencia o comprimento de onda dessa radiação, sendo que objetos mais quentes emitem radiação de comprimento de onda menor.
- Detecção de Infravermelho: Câmeras de termografia infravermelha são sensíveis à radiação infravermelha e conseguem capturar variações de temperatura em uma cena. Cada pixel na câmera registra a radiação infravermelha emitida por pontos na imagem.
- Imagem Termográfica: A câmera termográfica converte a radiação infravermelha em uma imagem visível, onde cores diferentes representam temperaturas distintas. Normalmente, as cores quentes são exibidas em tons de vermelho ou amarelo, enquanto as temperaturas mais frias são representadas em tons de azul ou verde.
- Anomalias Térmicas: Áreas com temperaturas diferentes das áreas circundantes podem indicar anomalias, como pontos quentes (locais com temperatura mais alta) ou pontos frios (locais com temperatura mais baixa). Essas variações térmicas podem ser causadas por defeitos, desgaste, umidade, vazamentos ou outros problemas.
- Inspeção e Diagnóstico: A análise das imagens termográficas possibilita identificar padrões de temperatura anômalos, o que pode sugerir a existência de manifestações patológicas, como trincas, corrosão, infiltração de umidade, falhas de isolamento ou outros problemas estruturais.

Os raios infravermelhos fazem parte do espectro eletromagnético e se deslocam à velocidade da luz no vácuo em relação ao observador. A capacidade visual humana percebe apenas uma pequena parte desse espectro, com comprimento de onda entre $0,4 \mu\text{m}$ e $0,7 \mu\text{m}$. Os raios infravermelhos, por sua vez, possuem comprimentos de onda

mais longos e podem ser divididos em duas categorias: ondas curtas (2-5 μm) e ondas longas (8-12 μm). sendo que é neste último intervalo que trabalham as câmaras termográficas utilizadas em inspeções em viadutos.

Figura 5 - Espectro visível da luz



Fonte: <http://www.infratherm.net.br/termografia>. Acesso em dez. 2023.

A câmera termográfica, ou câmera térmica, é um equipamento desenvolvido com a finalidade de “visualizar” a faixa invisível a olho humano, associando cores às temperaturas medidas.

A tecnologia parte do princípio de que qualquer corpo aquecido à temperatura maior que o zero absoluto ($-273,15\text{ }^\circ\text{C}$) gera ondas eletromagnéticas cuja intensidade é proporcional à temperatura do corpo.

A técnica da termografia Infravermelha² pode ser descrita como sendo um ensaio térmico não destrutivo, utilizado na obtenção do perfil de temperatura superficial em estruturas e,

² A primeira documentação de experimentos utilizando a termografia infravermelha é de 1973, publicada pelo ministro de transportes e comunicações de Ontario, no Canadá. O objetivo era de detectar delaminações da subsuperfície de concreto e relatava, embora de forma grosseira e com técnicas ineficientes, métodos efetivos para sua determinação. Posteriormente, foram realizados ensaios com auxílio de um scanner infravermelho portátil em uma ponte de concreto, também no Canadá. Os ensaios foram realizados tanto

subseqüentemente, a correlação da informação obtida com algumas imperfeições internas. Para Krapez et al. (1994), a termografia pode ser definida como uma técnica de diagnose, que avalia o comportamento temporal do campo de temperatura superficial de uma estrutura excitada termicamente.

A aplicação da termografia infravermelha abrange uma gama diversificada de campos, incluindo manutenção preditiva de instalações industriais, inspeções de construções e infraestruturas, além de aplicações médicas e científicas. Ao capturar as variações térmicas em uma superfície, essa técnica oferece percepções valiosas para a identificação de problemas internos, desgaste e anomalias, contribuindo assim para tomadas de decisões informadas em relação a reparos e ações preventivas. e, subseqüentemente a correlação da informação obtida com algumas imperfeições internas. Para Krapez et al. (1994), a termografia pode ser definida como uma técnica de diagnose, que avalia o comportamento temporal do campo de temperatura superficial de uma estrutura excitada termicamente.

De acordo com Giorleo et al. (2002), a termografia é uma técnica não destrutiva, bidimensional, utilizada na medição do campo de temperatura da superfície de todos os tipos de materiais.

[...] Os dispositivos de medição infravermelha captam a radiação infravermelha emitida por um objeto e a transformam em um sinal eletrônico. A energia térmica medida pelo sensor de temperatura da câmara de infravermelhos é a energia emitida pelo próprio alvo mais a energia refletida pelo ambiente através da superfície do objeto (KYLILI et al., 2014, p.16)

Usamentiaga (2014) afirma que “as imagens adquiridas usando câmeras infravermelhas são convertidas em imagens visíveis através da atribuição de uma cor para cada nível de energia infravermelha.” O resultado é uma imagem em cor falsa chamada de termograma. Toda conclusão obtida de um estudo termográfico vai ser resultado do processamento e análise do termograma.

A primeira documentação de experimentos utilizando a termografia infravermelha é de 1973, publicada pelo ministro de transportes e comunicações de Ontario, no Canadá. O objetivo era de

no solo como em helicóptero, com medições de temperatura durante o dia e noite. Provou-se efetivo através desse, para pontes de concreto, o uso da técnica de termografia infravermelha para delaminações da subsuperfície do concreto (MALHOTRA, CARINO, 1991, p. 63, tradução nossa).

detectar delaminações da subsuperfície de concreto e relatava, embora de forma grosseira e com técnicas ineficientes, métodos efetivos para sua determinação. Posteriormente, foram realizados ensaios com auxílio de um scanner infravermelho portátil em uma ponte de concreto, também no Canadá. Os ensaios foram realizados tanto no solo como em helicóptero, com medições de temperatura durante o dia e noite. Provou-se efetivo através desse, para pontes de concreto, o uso da técnica de termografia infravermelha para delaminações da subsuperfície do concreto (MALHOTRA, CARINO, 1991, p. 63, tradução nossa).

De acordo com Vilbig (2014), embora a inspeção visual seja um método amplamente utilizado na inspeção de estruturas de concreto e o primeiro passo na avaliação de estruturas, o seu âmbito é limitado apenas à análise qualitativa de forma subjetiva. Ademais, não é capaz de detectar problemas internos da estrutura, a menos que seja uma deterioração avançada que apresente sinais externos, sendo este um caso indesejado e que deve ser evitado.

Forde (2001) afirma que os ensaios não destrutivos fornecem informações relevantes do estado da estrutura o que permite avaliar rapidamente e eficazmente os danos e dessa forma evitar o colapso prematuro e imprevisível. Vários pesquisadores têm demonstrado a aplicação destes métodos para a inspeção e a avaliação de estruturas, fornecendo orientações dos seus usos (Clark; McCann; Forde, 2003; Scott et al., 2003; Meola 2007).

McCann (2001) apresenta uma variedade de métodos não destrutivos adequados para obras de construção civil e, especificamente, Rehman et al. (2016), apresentam em detalhes os ensaios não destrutivos para a inspeção de pontes.

Segundo Santos et al. (2019), a aplicação da termografia infravermelha em inspeções de estruturas de concreto tem se mostrado uma abordagem eficaz na detecção de anomalias e deterioração interna. A capacidade da termografia de capturar variações sutis de temperatura ao longo da superfície do concreto permite identificar regiões com potencial comprometimento estrutural, como áreas de delaminação, vazios ou armadura corroídas. Essa técnica, como mencionado por Santos et al. (2019), oferece a vantagem de realizar inspeções não destrutivas, reduzindo a necessidade de intervenções intrusivas e, conseqüentemente, minimizando os riscos de danos adicionais.

Lima et al. (2020) destacam que a termografia tem se mostrado particularmente útil na avaliação de estruturas de concreto expostas a ambientes agressivos, como regiões costeiras ou sujeitas a produtos químicos corrosivos. Ao identificar padrões térmicos anômalos, a termografia contribui para a rápida identificação de áreas de possível corrosão das armaduras, permitindo uma intervenção em áreas de possível corrosão das armaduras, de maneira pontual e precisa antes que os danos se propaguem. Essa abordagem preventiva, como observado por Lima et al. (2020), é fundamental para estender a vida útil das estruturas e garantir sua integridade ao longo do tempo.

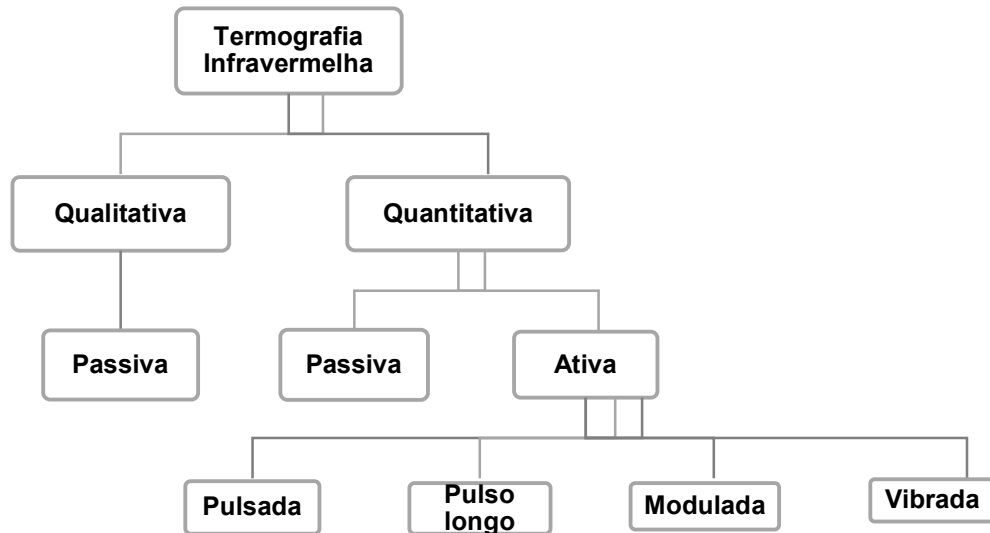
De acordo com Silva et al. (2018), a capacidade da termografia de identificar padrões de aquecimento não uniforme pode revelar áreas de tensões internas e microfissuras, que podem se agravar sob condições de carregamento repetitivo. A detecção precoce dessas anomalias permite a implementação de medidas corretivas antes que ocorram falhas estruturais, contribuindo para a segurança e a durabilidade das estruturas, como argumentado por Silva et al. (2018).

A termografia infravermelha como um ensaio não destrutivo tem sido utilizada para a inspeção de estruturas civis com resultados satisfatórios (Meola, 2007; Fox; Goodhew; Wilde, 2016; Hiasa; Birgul; Catbas, 2016), e a sua aplicação específica na inspeção de pontes está cada vez mais consolidada (Watase et al., 2015; Ellenberg et al., 2016; Dabous et al., 2017; Hiasa; Birgul; Catbas, 2017a). No entanto apresenta algumas limitações quanto à profundidade de detecção de defeitos, influência das condições ambientais e horário de coleta de dados, entre outros.

1.5.2. Classificação da Termografia Infravermelha

A termografia infravermelha é categorizada de acordo com o método de análise e interpretação das imagens térmicas, podendo ser qualitativa ou quantitativa, e com base no tipo de estimulação empregada, que pode ser termografia passiva ou ativa. A Figura 6 ilustra de forma simplificada a abordagem das inspeções termográficas de acordo com essa classificação.

Figura 6 - Esquema simplificado das técnicas e métodos da termografia infravermelha



Fonte: Bagavathiappan *et al.* (2013) (com adaptações).

A termografia qualitativa é baseada em uma análise relativamente simples de identificação de pontos quentes e pontos frios da imagem térmica, através da diferença de cores, ou seja, é uma análise visual do termograma.

A análise qualitativa é feita por comparação com uma situação padrão, levando em consideração apenas a diferença local da temperatura superficial, através da variação de cores no termograma, indicando assim, a existência ou não de uma anomalia (ALAM *et al.*, 2016, p. 10).

“A técnica permite o acompanhamento sistemático de condições normais de trabalho e possibilita investigação periódica para conhecer e identificar possíveis anomalias invisíveis ao olho (PEDRA, 2011, p.52).”

Na termografia qualitativa, os inspetores e analistas utilizam suas habilidades de observação e experiência para reconhecer padrões térmicos irregulares ou incomuns, que podem sugerir áreas de interesse para investigação mais detalhada. Essa abordagem é particularmente útil na detecção preliminar de falhas ou problemas, permitindo que sejam tomadas medidas corretivas ou preventivas antes que os danos se agravem ou se propaguem.

A interpretação termográfica qualitativa envolve a compreensão das relações de temperatura relativa entre diferentes partes de um objeto ou estrutura, regiões quentes ou frias podem indicar problema como vazamentos, isolamento térmico inadequado, falhas elétricas ou desgaste anormal. Embora a termografia qualitativa não forneça dados numéricos precisos, ela desempenha um papel crucial ao destacar áreas suspeitas que necessitam de investigação mais detalhada por meio de métodos complementares ou inspeções mais aprofundadas.

“Em investigações de sistemas nos quais existe uma determinada tipologia de fluxo térmico constante, em que a detecção de um ponto ou região com temperaturas fora da faixa de trabalho indica uma anomalia, a termografia pode assumir um padrão qualitativo (CERDEIRA et al., 2011, p.20).”

Nesses casos o objetivo é descobrir se existe uma anomalia e onde ela está localizada, por analogia de padrões de falha que dependem do sistema em estudo. Neste tipo de análise, são poucas as preocupações com as correções e os ajustes dos parâmetros de aquisição da imagem.

[...] A termografia quantitativa é usada para classificar a severidade de uma anomalia, sendo necessário ter a maior precisão possível nas temperaturas obtidas no termograma e realizar os ajustes e medições dos parâmetros termográficos de medição (emissividade, distância, temperatura refletida, dentre outros). Bauer (2014 apud PAVON, 2017, p.20)

Nesse sentido, o estabelecimento de critérios associativos às anomalias e patologias são fundamentais. De acordo com Rebelo (2017), neste caso, as variações de temperatura na imagem térmica são quantificadas podendo-se detectar e avaliar anomalias. Este tipo de abordagem requer maiores cuidados na introdução de parâmetros para a obtenção dos termogramas (temperatura ambiente, temperatura aparente refletida, umidade, distância e emissividade). Geralmente, os resultados da análise não são avaliados *in situ*, as imagens são gravadas e, posteriormente, tratadas em um computador para depois serem interpretadas.

No método passivo, nenhuma estimulação artificial é utilizada, devendo existir uma diferença natural de temperatura entre o objeto em estudo e o meio no qual ele está inserido. Na termografia passiva, as diferenças de temperatura que identificam as prováveis anomalias têm origem nos fluxos de calor gerados pelas condições de exposição natural dos elementos.

Pedra (2011, p.53) “na termografia ativa, um estímulo externo é necessário para gerar diferenças relevantes de temperatura. Em geral, a sua aplicação se dá em casos em que se desejem resultados quantitativos.” Os estímulos externos usados na termografia ativa podem ser de

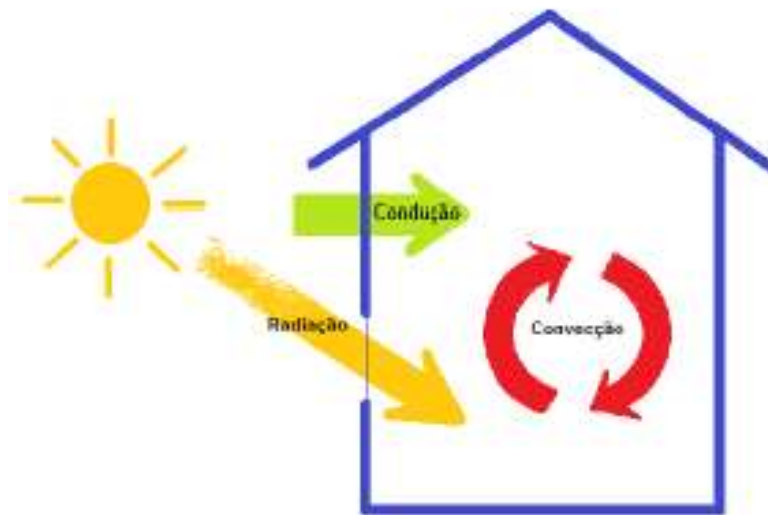
diferentes naturezas. Os mais usados são os chamados: pulsado, de pulso longo, modulado e vibrado.

1.5.3. Transferência de Calor

Os autores Máximo e Alvarenga (1997, p. 342) definem calor como sendo “a energia transferida de um corpo para o outro em virtude unicamente de uma diferença de temperatura entre eles”. Sendo assim, sempre que colocados em contato corpos de diferentes temperaturas, haverá transferência de calor.

A transferência de calor pode ocorrer de três formas: condução, convecção e radiação. As três formas podem ser observadas da Figura 7:

Figura 7 - Mecanismos de transmissão de calor



Fonte: (MARQUES, 2012, p. 21).

Kreith (2003, p. 3) trata “da condução de calor fluindo da região de temperatura mais alta para a mais fria, sempre que houver gradiente de temperatura.” Pode-se afirmar que ao existir contato entre os corpos, ocorrerá essa transferência por condução, segundo Marques (2014, p. 21, tradução nossa).

Somando às transferências de calor, a convecção geralmente está associada aos líquidos. Para a aplicação em um edifício, o fluido em questão é o ar, que trocará calor com o ambiente pela ação do vento, condicionadores de ar etc. Marques (2012, p. 23, tradução nossa) coloca

ainda dois tipos de convecções que pode ocorrer “convecção ar-sólido, que ocorre entre as faces dos elementos e o ambiente em contato com elas (interior ou exterior), e convecção ar-ar que ocorre entre massas de ar e diferentes temperaturas.”

Diferente dos outros tipos de transmissões de calor, a radiação não necessita de um meio material, sendo transferida pelo sol, conforme afirma Máximo e Alvarenga (1997, p. 352). Destaca-se ainda:

A transferência de calor por radiação é feita por meio de ondas eletromagnéticas (raios infravermelhos), que podem se propagar mesmo na ausência de um meio material (vácuo). (MÁXIMO e ALVARENGA, 1997, p.352).

A radiação que é emitida pela superfície de um corpo tem sua origem na energia térmica da matéria delimitada pela superfície. A taxa na qual a energia é liberada por unidade de área (W/m^2) é conhecida como poder emissivo da superfície.

A lei de Stefan-Boltzmann define a relação entre poder emissivo de um corpo negro (E_n) e sua temperatura conforme mostra a equação abaixo:

$$E_n = \sigma T_s^4 \quad (1)$$

Em que:

E_n : poder emissivo de um corpo negro (W/m^2)

σ : constante de Stefan-Boltzmann ($\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$)

T_s : Temperatura absoluta em Kelvin (K)

Um corpo negro ideal deve ter a emissividade igual a 1 enquanto qualquer objeto real deve ter a emissividade menor que 1. Isso significa que um objeto real não absorve e nem emite toda energia nele incidente.

Portanto, um fluxo térmico emitido por uma superfície real é menor que aquele emitido por um corpo negro à mesma temperatura e é dado pela equação:

$$E = \varepsilon \sigma T_s^4 \quad (2)$$

Em que:

E_n : poder emissivo (W/m^2)

ε : emissividade de um corpo

No momento em que a radiação atinge superfície de um corpo, uma parte é absorvida, outra parte é refletida e outra, se houver, é transmitida.

Uma inspeção termográfica externa está sujeita à influência da radiação solar, principalmente se for realizada durante o dia. Segundo Craveiro (2008), a radiação solar pode interferir em uma inspeção termográfica de duas maneiras: pelo carregamento solar, que eleva a temperatura dos corpos, e pelo reflexo da luz solar, que resulta em uma medição equivocada da radiação infravermelha emitida pelo objeto.

Mendonça (2005) sugere que, para o melhor aproveitamento do carregamento solar, os testes em concreto sejam efetuados durante o período dia, em que a radiação solar produz um rápido aquecimento da superfície, ou durante a noite, em um período que depois de ser exposta à radiação durante o dia, a superfície se resfrie. Portanto, se a inspeção for realizada à noite, a maioria dos defeitos se apresentará no termograma em valores de $0,01^\circ$ a 5° C abaixo da temperatura das áreas sem defeitos. Por outro lado, em inspeções diurnas, os resultados são inversos, ou seja, nos locais onde há anomalias estarão mais quentes que as superfícies correspondentes ao concreto sem defeitos.

A desvantagem da radiação solar para a termografia infravermelha é o fenômeno de reflexão. A reflexão solar ocorre com mais intensidade em superfícies que apresentam baixa emissividade. No local onde ocorre a reflexão solar no termograma, a temperatura apresenta-se mais alta induzindo o registro de uma falsa temperatura elevada e a dedução de uma falha em um local sem defeitos. Entretanto, é simples eliminar essa influência modificando a direção da visão da câmera ou fazendo a inspeção em períodos noturnos.

1.6. Manifestações Patológicas em Viadutos

A descaracterização de um elemento ou sistema integrante da OAE em relação à sua concepção original denomina-se anomalia. Patologia é o estudo técnico e especializado do fator (ou conjunto de fatores) que gera determinada anomalia, bem como das alterações por esta trazida ao elemento em análise e à OAE.

Os viadutos estão sujeitos às manifestações patológicas inerentes às construções em concreto. A compreensão das principais ocorrências patológicas e suas origens, bem como as possíveis causas desses defeitos na estrutura, agrega informações e conhecimentos em relação aos procedimentos que devem ser levados em consideração quando da concepção de um projeto de um viaduto.

Anomalias na Estrutura da OAE
<ul style="list-style-type: none"> • Defeitos construtivos (falhas de montagem, desaprumo ou desalinhamento de elemento, armaduras aparentes, juntas frias, falhas nas condições superficiais do concreto, falhas de concretagem e outros)
<ul style="list-style-type: none"> • Danos causados por acidentes, como impacto
<ul style="list-style-type: none"> • Deslocamento linear ou angular
<ul style="list-style-type: none"> • Deformações excessivas
<ul style="list-style-type: none"> • Desaprumo de pilares
<ul style="list-style-type: none"> • Estado de fissuração dos elementos
<ul style="list-style-type: none"> • Exposição de armaduras
<ul style="list-style-type: none"> • Corrosão de armaduras
<ul style="list-style-type: none"> • Condições superficiais do concreto
<ul style="list-style-type: none"> • Esborcinamento (quebra) de concreto
<ul style="list-style-type: none"> • Esmagamento de concreto
<ul style="list-style-type: none"> • Deterioração por agentes agressivos
<ul style="list-style-type: none"> • Falhas de acabamento dos nichos de ancoragens das armaduras protendidas, se visíveis

<ul style="list-style-type: none"> • Drenos de injeção não arrematados
Anomalias nos Aparelhos de Apoio e Entorno
<ul style="list-style-type: none"> • Ausência de aparelho de apoio
<ul style="list-style-type: none"> • Bloqueio
<ul style="list-style-type: none"> • Posicionamento inadequado
<ul style="list-style-type: none"> • Acúmulo de detritos, ocorrência de agentes agressivos
<ul style="list-style-type: none"> • Ruptura
<ul style="list-style-type: none"> • Fissuras
<ul style="list-style-type: none"> • Trincas
<ul style="list-style-type: none"> • Esmagamentos
<ul style="list-style-type: none"> • Deformações laterais excessivas
<ul style="list-style-type: none"> • Deslocamentos
<ul style="list-style-type: none"> • Distorção excessiva
<ul style="list-style-type: none"> • Peças de aço oxidadas do aparelho, expostas
<ul style="list-style-type: none"> • Descolamentos da fretagem
<ul style="list-style-type: none"> • Assentamento irregular com concentração de esforços
<ul style="list-style-type: none"> • Deterioração do berço de assentamento e de nivelamento superior
Anomalias nas Pistas e seu Entorno
<ul style="list-style-type: none"> • Fuga de material, existência de erosão e indícios de instabilidade no talude
<ul style="list-style-type: none"> • Desgaste superficial, espessura excessiva, ondulações e cavidades no pavimento
<ul style="list-style-type: none"> • Deficiência e/ou ausência de sinalização horizontal, vertical e aérea
<ul style="list-style-type: none"> • Descontinuidade de greide
<ul style="list-style-type: none"> • Deficiência no sistema de drenagem (entupimento, vazamento, conduto rompido, mau posicionamento do buzinote e empoçamento)

Anomalias nas Juntas de Dilatação
• Ausência do perfil de vedação
• Falta de estanqueidade
• Saliência ou depressão causando desconforto ao usuário ou impacto na obra
• Deterioração dos lábios poliméricos
• Deterioração dos berços
• Acúmulo de detritos, ocorrência de agentes agressivos
• Perfil elastomérico com descolamento, rasgos, ressecamento ou esmagamento
• Abertura excessiva
Anomalias Específicas em Obras Ferroviárias
• Defeitos nos trilhos (ondulações e desgastes)
• Falha de adensamento do lastro
• Dormentes soltos, ausentes ou danificados
• Fixações danificadas
• Trilhos desalinhados em região de junta
• Espessura excessiva do lastro

A seguir é apresentada uma breve revisão de literatura de algumas manifestações patológicas recorrentes em viadutos.

1.7. Fissuras

A detecção de patologias em estruturas de concreto se manifesta através de diversas indicações, como trincas, fissuras e a corrosão das armaduras, que podem apresentar diferentes características. As trincas e fissuras são fenômenos frequentes em estruturas de concreto, advindo da fragilidade do material em lidar com tensões de tração, o que pode culminar em colapsos súbitos e explosivamente. Contudo, é importante ressaltar que o número, a localização e a

abertura dessas fissuras desempenham um papel crucial na degradação progressiva das estruturas (CÁNOVAS 1988 apud BASTOS et al, 2017).

De acordo com Souza et al. (1998), fissuras decorrentes de deficiências de projeto surgem como resultado de erros no dimensionamento de elementos estruturais ou da ausência de detalhamento adequado nos planos de construção. Essas falhas são frequentemente responsáveis pelo surgimento de fissuras nas estruturas, comprometendo sua integridade.

Carmona (2005) ressalta que a manifestação de fissuras é indício de que a estrutura perde sua durabilidade e o nível de segurança, comprometendo sua utilização tanto na redução de sua vida útil quanto no prejuízo ao seu funcionamento e estética, podendo causar a corrosão da armadura, quando estas se encontram em ambiente agressivo.

A análise das patologias nas estruturas de concreto não apenas nos permite entender os desafios inerentes ao material, mas também realça a importância de projetos precisos e detalhados, A análise das patologias nas estruturas de concreto não apenas nos permite entender os desafios inerentes ao material, mas também realça a importância de projetos precisos e detalhados,

1.8. Desagregação

Outro fator patológico é a desagregação, que é a deterioração do concreto por separação de suas partes, provocada, em geral, pela expansão devida à oxidação ou dilatação das armaduras, pelo aumento de volume de concreto quando este absorve água, e pelas aberturas insuficientes das juntas de dilatação, gerando tensões tangenciais não previstas. Pode ocorrer também devido às movimentações estruturais e choques na estrutura. (LANER, 2001, apud BASTOS et al, 2017).

1.9. Falhas nas Instalações de Drenagem

As falhas em instalações de drenagem, são fatores que também influenciam na degradação do concreto e das armações. Por esse motivo, elas devem ser evitadas para que, de fato, não se deixe água acumular em pontos críticos como, por exemplo, encontros de apoio de vigas, nos

caixões, nos encontros com tabuleiros, na pista de rolamento, nos aparelhos de apoio, entre outros. (LANER 2001 apud BASTOS et al, 2017).

1.10. Falhas na Pista de Rolamento

Falhas sobre a pista de rolamento dos viadutos geram acréscimos de solicitações para as estruturas destas obras e, segundo manual do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1980), os ressaltos, depressões e desníveis de juntas, produzem importantes efeitos dinâmicos, que aumentam as solicitações de cargas móveis, muitas vezes provocando deslocamento do tabuleiro quando os aparelhos de apoio estão em más condições.

1.11. Falhas na Concretagem

Segundo Bauer (1994 apud Bastos et al, 2017), as falhas na concretagem são um fator preocupante para os engenheiros, podendo haver segregação dos materiais do concreto na hora de seu lançamento, o que pode gerar diversas falhas posteriores na estrutura. Por esse motivo, devem existir procedimentos para evitar essas falhas, lançando o concreto logo após o amassamento num intervalo de no máximo 1 hora, e com altura de queda livre do concreto não superior a 2 metros de altura.

1.12. Abrasão

Dentre as causas da deterioração do concreto destacamos o desgaste superficial: os elementos de concreto estão susceptíveis a ações de desgaste por agente abrasivo ocasionando perdas de material na superfície. A abrasão é um desgaste em que ocasiona perda de desempenho mecânico, o atrito entre diversos objetos e o concreto (AMORIM, 2010, apud BASTOS et al, 2017).

1.13. Corrosão

A água geralmente está presente na maioria dos casos de deterioração de estruturas de concreto, a facilidade com que penetra nos sólidos porosos determina a taxa de deterioração. Outros efeitos que influenciam a durabilidade do concreto são: o desgaste das superfícies, fissurações, exposição a temperaturas extremas, congelamento ou fogo e efeitos químicos (MEHTA; MONTEIRO 2008 apud BASTOS et al, 2017).

Lima (2005) explica que a água salgada é o maior agente de deterioração das estruturas, sendo composta por diversos elementos químicos que provocam degradação física, química e biológica. Dentre as patologias das estruturas de concreto em ambiente marinho a que mais preocupa é a corrosão das armaduras, pois afeta diretamente a segurança estrutural também há grande dificuldade e alto custo para repará-las.

Segundo Vitório (2003 apud BASTOS et al, 2017), fatores como a porosidade do concreto, a existência de trincas e a deficiência no revestimento são responsáveis pela oxidação da armadura, quando esta é atingida por elementos agressivos. A parte que sofre oxidação tem seu volume aumentado em 8 vezes, e a força da expansão expulsa o concreto do revestimento, deixando a armadura totalmente exposta à ação agressiva do meio. A continuidade desse fenômeno acarreta a total destruição da armação.

Um concreto de boa qualidade, mesmo possuindo ótima resistência, quando em meio agressivo está sujeito a sofrer danos. Porém, um concreto de má qualidade, permeável, segregado está mais vulnerável aos ataques. As chuvas que ocorrem sobre os viadutos, podem atacar o concreto através da infiltração e do acúmulo ao longo do tempo, devido à ausência de pingadeiras e da deficiência das juntas e da drenagem do tabuleiro (VITÓRIO 2003 apud BASTOS et al, 2017).

1.14. Inspeções em Viadutos

As inspeções em viadutos são essenciais para garantir a vida útil da estrutura e assegurar segurança aos usuários. Tais inspeções perpassam pela definição de um plano de investigação e análise de resultados a fim de gerar informações sobre o estado de conservação.

O levantamento do estado de conservação de um viaduto requer que procedimentos padronizados eficazes e confiáveis sejam adotados. Os objetivos da investigação, resultados esperados, recursos, limitações e o tempo disponível devem ser previamente definidos. A partir de tal definição é possível traçar um cronograma de trabalho com o planejamento das atividades e a demanda de recursos.

Os dados levantados na inspeção seguem para análise, a partir da qual é possível definir um diagnóstico para, então, concluir a investigação com o exame dos resultados, por meio de um critério de julgamento - etapa denominada de avaliação. Por fim, com base nos dados

disponíveis, estima-se a evolução futura dos problemas para os cenários de não-intervenção e após intervenção corretiva ou preventiva - etapa denomina de prognóstico (CEB, 1989).

Segundo Brinckerhoff (1993, apud Mitre, 2005), a inspeção não é, portanto, um objetivo em si, mas o modo pelo qual se obtêm dados desejados sobre uma estrutura. Como tal, tem um ponto de partida (demanda de informações), um meio (procedimentos de inspeção, obtenção e julgamento dos resultados) e um ponto de chegada (levantamento, avaliação e julgamento das informações requeridas).

Ainda que de modo geral os conceitos empregados na inspeção e diagnóstico de viadutos de concreto se assemelham aos empregados no estudo de outras edificações, no entanto, há que ressaltar que os requisitos de desempenho desejáveis, as solicitações estruturais e ambientais, as condições de acessibilidade são quase sempre mais complexas no caso dos viadutos.

A NBR 9452:2016 considera os seguintes tipos de inspeções em viadutos³:

- **Inspeção cadastral:** É a primeira inspeção realizada na obra e deve ser efetuada imediatamente após sua conclusão, instalação ou assim que se integra a um sistema de monitoramento e acompanhamento viário. Deve também ser realizada quando houver alterações na configuração da obra, como alargamento, acréscimo de comprimento, reforço, mudança no sistema estrutural.
- **Inspeção rotineira:** Inspeção de acompanhamento periódico, visual, com ou sem a utilização de equipamentos e/ou recursos especiais para análise ou acesso, realizado em prazo não superior a um ano. Na inspeção rotineira deve ser verificada a evolução de anomalias já observadas em inspeções anteriores, bem como novas ocorrências, reparos e/ou recuperações efetuadas no período.

³ Vistoria refere-se a um exame prioritariamente visual da estrutura e de seus elementos que pode ter diferentes níveis de profundidade. Já a inspeção remete a um exame mais detalhado no qual, além da vistoria, faz-se uso de equipamentos e recursos para realizar ensaios sobre a estrutura e seus materiais constituintes.

- **Inspeção especial:** A inspeção especial deve ter uma periodicidade de cinco anos, podendo ser postergada para até oito anos, desde que se enquadre concomitantemente aos seguintes casos:
 - a) obras com classificação de intervenção de longo prazo (notas de classificação 4 e 5);
 - b) obras com total acesso a seus elementos constituintes na inspeção rotineira. A inspeção especial deve ser pormenorizada e contemplar mapeamento gráfico e quantitativo das anomalias de todos os elementos aparentes e/ou acessíveis da OAE, com o intuito de formular o diagnóstico e prognóstico da estrutura.

- **Inspeção extraordinária:** A inspeção extraordinária é gerada por uma das demandas não programadas a seguir, associadas ou não:
 - a) necessidade de avaliar com mais critério um elemento ou parte da OAE, podendo ou não ser gerada por inspeção anterior;
 - b) ocorrência de impacto de veículo, trem ou embarcação na obra;
 - c) ocorrência de eventos da natureza, como inundação, vendaval, sismo e outros.

A inspeção extraordinária deve ser apresentada em relatório específico, com descrição da obra e identificação das anomalias, incluindo mapeamento, documentação fotográfica e terapia recomendada.

De acordo com EUA (1993), há ainda os seguintes tipos de inspeções:

- **Inspeção de auxílio a estudos para passagem de cargas especiais (CVC):** inspeção que pode ser realizada antes e depois da passagem de uma carga excepcional que exceda o trem-tipo de projeto para auxílio à verificação estrutural da obra visando a determinar a

necessidade de reforços provisórios e definir as condições de travessia sobre a obra (trajetória, velocidade etc.). Para tanto, executa-se uma inspeção prévia de caracterização geométrica e do estado da estrutura, levantando a existência de danos que comprometam a capacidade portante da obra. Durante a passagem da carga pode-se efetuar um monitoramento estático e/ou dinâmico da estrutura para confrontar com o previsto. A inspeção posterior visa a identificar eventuais danos resultantes da sobrecarga tais como fissuras ou aumento das deformações permanentes;

- **Inspeção de auxílio à verificação da capacidade portante ou a projeto de recuperação e reforço:** estudos que envolvem a realização de ensaios destrutivos e não destrutivos, além de provas de carga estáticas e/ou dinâmicas para o levantamento das propriedades mecânicas dos materiais e da obra, do seu quadro patológico e de seu comportamento estrutural para fornecer dados à verificação da capacidade portante (caso de OAEs obsoletas ou danificadas). É comum também o levantamento cadastral geométrico da estrutura;

O DNIT define ainda a Inspeção Intermediária como sendo:

- **Inspeção Intermediária:** recomendada para monitorar uma deficiência suspeitada ou já detectada, tal como um pequeno recalque de fundação, uma erosão incipiente, um encontro parcialmente descalçado, o estado de um determinado elemento estrutural etc.

A frequência recomendada para as inspeções é a apresentada na Tabela 1:

Tabela 1 - Frequência dos tipos de Inspeções em OAEs

Tipo de Inspeção	Frequência
Inspeção Cadastral	imediatamente após a conclusão da obra, ou quando se inclui a obra no SGO, ou quando a obra é submetida a importantes alterações estruturais.
Inspeção Rotineira	a cada dois anos.
Inspeção Especial	a cada cinco anos.
Inspeção Extraordinária	quando ocorrer um grave acidente na obra.
Inspeção Intermediária	para certas obras, quando recomendado por inspeções anteriores.

Fonte: Norma DNIT 010/2004-PRO (com adaptações).

De acordo com a NBR 9452:2016, as OAE devem ser classificadas segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade e a gravidade dos problemas detectados, respeitando as Normas Brasileiras aplicáveis em cada caso.

Os parâmetros estruturais são aqueles relacionados à segurança estrutural da OAE, ou seja, referentes à sua estabilidade e capacidade portante, sob o critério de seus estados limites último e de utilização, conforme ABNT NBR 6118.

Por parâmetros funcionais entendem-se aqueles aspectos da OAE relacionados diretamente aos fins a que ela se destina, devendo, para tanto, possuir requisitos geométricos adequados, como: visibilidade, gabaritos verticais e horizontais. Deve proporcionar também conforto e segurança a seus usuários, apresentando, por exemplo, guarda-corpos íntegros, ausência de depressões e/ou buracos na pista de rolamento e sinalização adequada.

Designam-se por parâmetros de durabilidade aquelas características das OAE diretamente associadas à sua vida útil, ou seja, com o tempo estimado em que a estrutura deve cumprir suas funções em serviço.

A classificação da OAE consiste na atribuição de avaliação de sua condição, que pode ser excelente, boa, regular, ruim ou crítica, associando notas aos parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade. Essas notas de avaliação devem variar de 1 a 5, refletindo a maior ou menor gravidade dos problemas detectados.

A classificação deve seguir o estabelecido na Tabela 2, que correlaciona essas notas com a condição da OAE e caracteriza os problemas detectados, segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade.

Tabela 2 - Classificação da condição de OAE segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade

Nota de Classificação	Condição	Caracterização estrutural	Caracterização funcional	Caracterização de durabilidade
5	Excelente	A estrutura apresenta-se em condições satisfatórias, apresentando defeitos irrelevantes e isolados.	A obra de arte apresenta segurança e conforto aos usuários.	A obra de arte está em perfeitas condições, devendo ser prevista manutenção de rotina.
4	Boa	A estrutura apresenta danos pequenos e em áreas isoladas, sem comprometer a segurança estrutural.	A obra de arte apresenta pequenos danos que não chegam a causar perda redução significativa de desempenho, desconforto ou insegurança ao usuário.	A obra de arte apresenta pequenas e poucas anomalias que comprometam sua vida útil. Estrutura em região de baixa agressividade ambiental.
3	Regular	Há danos que podem vir a gerar alguma deficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra. Recomenda-se acompanhamento dos problemas. Intervenções podem ser necessárias a médio prazo.	A obra de arte apresenta desconforto ao usuário, com defeitos que requerem ações de médio prazo.	A obra de arte apresenta pequenas e poucas anomalias, que comprometam sua vida útil, em regiões de moderada a alta agressividade ambiental ou apresenta moderadas a muitas anomalias, mas a estrutura está em região de baixa agressividade ambiental.
2	Ruim	Há danos que comprometem a segurança da estrutura, porém SEM risco iminente. Sua evolução pode levar ao colapso estrutural. A obra de arte necessita de intervenções significativas a curto prazo.	A obra de arte com funcionalidade visivelmente comprometida, com riscos de segurança ao usuário, requerendo intervenções de curto prazo.	A obra de arte apresenta anomalias moderadas a abundantes, que comprometam sua vida útil, em regiões de alta agressividade ambiental
1	Crítica	Há danos que geram grave insuficiência estrutural. Há elementos estruturais em estado crítico, com risco tangível de colapso estrutural. A obra de arte necessita de intervenção imediata, podendo ser	A obra de arte não apresenta condições funcionais de utilização.	A obra de arte encontra-se em elevado grau de deterioração, apontando problema já de risco estrutural e/ou funcional.

		necessária restrição de carga, interdição parcial ou total ao tráfego e escoramento provisório, associada a monitoramento por instrumentalização, ou não.		
--	--	---	--	--

Fonte: ABNT 9452:2016.

1.15. Sistema de Gerenciamento de Obras de Artes Especiais no Brasil

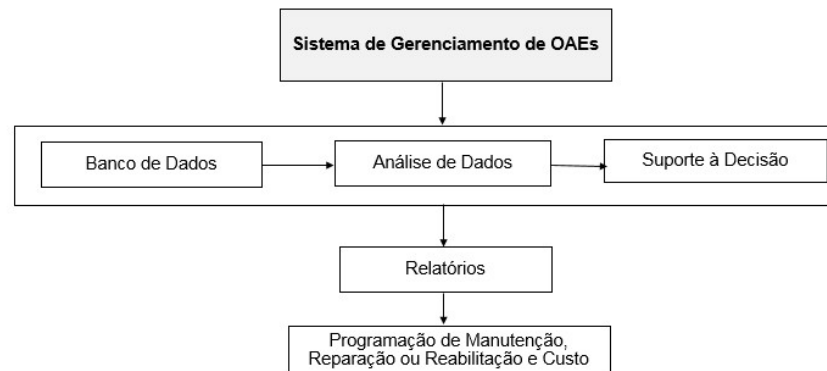
Segundo HORTA (2000), Sistema de Gerenciamento de Obras de Artes Especiais (SGO) é um programa que viabiliza o planejamento e controle das inspeções e medidas de manutenção realizadas em um conjunto de OAEs sob gestão de um órgão público ou privado.

Para ELBEHAIRY, HEGAZY e SOUDKI (2006 apud MOSCOSO, 2017) e ELBEHAIRY (2007 apud MOSCOSO, 2017), um SGO pode ser definido como uma ferramenta que auxilia os gestores e as entidades responsáveis na otimização de políticas de decisão de uma rede viária, relativa ao planejamento de ações de manutenção, reabilitação ou substituição, tendo em consideração objetivos a longo prazo e os recursos disponíveis.

Usualmente o SGO é constituído por um programa de computador dotado de um banco de dados que armazena as informações de cadastro e do estado de conservação de cada OAE, a partir dos dados levantados por inspeções de campo. A cada nova inspeção, o banco é atualizado com parâmetros mais precisos sobre o estado presente da estrutura e com dados sobre eventuais alterações ou intervenções realizadas no período. De posse dessas informações, o programa gerencia e aloca de forma racional e otimizada os recursos disponíveis para a manutenção das OAEs.

Moscoso (2017, p.15), elucida que “de maneira geral um sistema de gerenciamento de Obras de Arte Especiais está dividido em três grandes grupos: banco de dados, análise dos dados e suporte à decisão.” As decisões tomadas por o grupo de engenheiros baseiam-se na entrada de informação dos trabalhos realizados nas OAEs e das inspeções programadas nas estruturas. Na Figura 8 pode-se observar o fluxograma de um sistema de Gerenciamento de OAEs.

Figura 8 - Fluxo de atividades de um sistema de Gestão de Obras Especiais



Fonte: MOSCOSO (2017).

De acordo com MITRE (2005), para fazer a distinção entre a urgência de intervenção devido à gravidade e à extensão dos problemas de cada OAE, deve-se fornecer ao SGO a classificação das condições das OAEs segundo o critério em vigor, seja ele mais genérico e subjetivo ou complexo e aprofundado.

Com base na classificação do estado das OAEs e em informações complementares sobre sua idade, extensão, relevância para o sistema viário, entre outros, o programa emprega um critério que pondera os riscos e custos envolvidos, gerando uma distribuição balanceada de recursos que, de modo geral, tende a priorizar a solução dos casos mais graves e, ao longo do tempo, proporciona a homogeneização do estado geral das OAEs sob sua gestão.

No Brasil, uma das entidades encarregadas do cuidado das OAEs é o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), onde a implementação do Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais (SGO) é recente, portanto, o processo de manutenção das OAEs é de pequeno porte para a quantidade de obras de arte especiais que existem no país. Dessa maneira, é importante ressaltar a necessidade de estudos que tratem a implementação de metodologias de previsão das performances das OAEs.

O sistema é composto de três subferramentas: SGO Mobile, SGO Inspetor e SGO Web. A primeira reúne as anotações das vistorias de campo. A segunda permite que o inspetor insira dados da vistoria (como fotos, croquis, vídeos) no sistema, por meio de um aplicativo disponível em tablets. A terceira, o SGO Web, disponibiliza os dados na internet, sendo os dados utilizados internamente pelo órgão.

Para Vitório (2013) no Brasil, a importância da conservação das obras públicas como as OAEs é recente. Constituindo a manutenção a primeira ferramenta na prolongação de seu ótimo desempenho, mas, sendo estas intervenções aplicadas ainda como manutenções corretivas, realizadas em sua maioria quando a obra está perto de atingir seu estado limite de utilização.

Os estudos sobre a inspeção e gerenciamento de viadutos, no Brasil, não são suficientemente integrados. A pesquisa bibliográfica indicou que os programas de pesquisa realizados no país têm pouca ou nenhuma integração e não tiveram difusão significativa se comparados aos estudos de outros países, como os Estados Unidos e Inglaterra.

3. MÉTODO

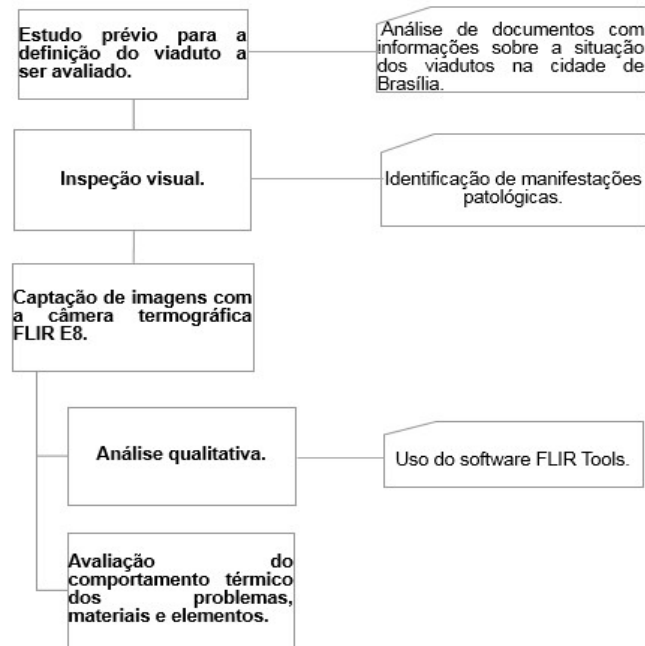
Este trabalho possui elementos que o caracteriza como uma pesquisa aplicada exploratória, com abordagem qualitativa. Trata-se de um estudo de caso que busca avaliar as manifestações patológicas em viadutos localizados na cidade de Brasília, Distrito Federal, por meio do uso da termografia infravermelha.

Viadutos em estudo:

215/216 – 213/214 - 211/212 – 209/210 – 207/208 – 205/206 – 203/204 – 201/202, Asa Sul e 215/216 – 213/214 - 211/212 – 209/210 – 207/208 – 205/206 – 203/204 – 201/202, Asa Norte.

O fluxograma (Figura 9) representa a metodologia adotada, com o resumo das etapas do presente estudo.

Figura 9 - Fluxograma com a metodologia do trabalho



Fonte: Próprio autor.

Inicialmente foi realizado um estudo prévio para a definição dos viadutos que seriam avaliados no presente trabalho. Nessa etapa, foram considerados os seguintes documentos:

- I) Parecer. Técnico SEI-GDF n.º 5/2018 - SEGETH/COPRESB/DIPRE – Secretaria de Estado de Gestão do Território e Habitação do Distrito Federal.
- II) a Monografia de Projeto Final em Engenharia Civil sobre Avaliação dos Viadutos do Eixo Rodoviário Sul de Brasília pela Metodologia Grau de Deterioração Estrutural (GDE)/UnB, da estudante Maria Luisa M. Lauria, apresentada ao Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília em 2018.
- III) Características da obra “Proj-DE-041-18ORC-106-18”, “Proj-DE-041-18-ORC-107-18”, “Proj-DE-041-18-ORC-108-18”.
- IV) Projeto Básico De Arquitetura “PROJ-DF-41-18-ACV-PB-001-GER-DET-RA01”.
- V) Projeto Básico De Arquitetura “PROJ-DE-041-18-ACV-PB-001-GER-DGE-R00”.

- VI) Projeto Básico De Arquitetura “PROJ-DE-041-18-ACV-PB-002-GER-DET-R01”.
- VII) Projeto Básico De Arquitetura “PROJ-DE—041-18-ACV-PB-00-GER-DGE-R00”.
- VIII) Projeto Básico de Arquitetura “Laudo de Vistoria Especificações Para Recuperação Tesourinhas 101/102 E 201/202 SUL – Brasília – DF”.
- IX) Projeto Básico de Arquitetura “Laudo de Vistoria Especificações Para Recuperação Tesourinhas 103/104 E 203/204 SUL – Brasília – DF”.
- X) Projeto Básico de Arquitetura “Laudo de Vistoria Especificações Para Recuperação Tesourinhas 105/106 E 205/206 SUL – Brasília – DF”.
- XI) Projeto Básico de Arquitetura “Laudo de Vistoria Especificações Para Recuperação Tesourinhas 107/108 E 207/208 SUL – Brasília – DF”.
- XII) Projeto Básico de Arquitetura “Laudo de Vistoria Especificações Para Recuperação Tesourinhas 109/110 E 209/210 SUL – Brasília – DF”.
- XIII) Projeto Básico de Arquitetura “Laudo de Vistoria Especificações Para Recuperação Tesourinhas 111/112 E 211/212 SUL – Brasília – DF”.
- XIV) Projeto Básico de Arquitetura “Laudo de Vistoria Especificações Para Recuperação Tesourinhas 113/114 E 213/214 SUL – Brasília – DF”.
- XV) Projeto Básico de Arquitetura “Laudo de Vistoria Especificações Para Recuperação Tesourinhas 115/116 E 215/2016 SUL – Brasília – DF”.
- XVI) Projeto Básico de Arquitetura “Laudo de Vistoria Especificações Para Recuperação Tesourinhas 101/102 E 201/202 Norte – Brasília – DF”.
- XVII) Projeto Básico de Arquitetura Projeto Básico de Arquitetura “Laudo De Vistoria Especificações Para Recuperação Tesourinhas 103/104 E 203/204 Norte – Brasília -DF”.

- XVIII) Projeto Básico de Arquitetura “Laudo de Vistoria Especificações Para Recuperação Tesourinhas 105/106 E 205/206 Norte – Brasília – DF”.
- XIX) Projeto Básico de Arquitetura “Laudo de Vistoria Especificações Para Recuperação Tesourinhas 107/108 E 207/208 Norte – Brasília – DF”.
- XX) Projeto Básico de Arquitetura “Laudo de Vistoria Especificações Para Recuperação Tesourinhas 109/110 E 209/210 Norte – Brasília – DF”.
- XXI) Projeto Básico de Arquitetura “Laudo de Vistoria Especificações Para Recuperação Tesourinhas 111/112 E 211/212 Norte – Brasília – DF”.
- XXII) Projeto Básico de Arquitetura “Laudo de Vistoria Especificações Para Recuperação Tesourinhas 113/114 E 213/214 Norte – Brasília – DF”.
- XXIII) Projeto Básico de Arquitetura “Laudo de Vistoria Especificações Para Recuperação Tesourinhas 115/116 E 215/216 Norte – Brasília – DF”.
- XXIV) Projeto Básico de Arquitetura “Laudo de Vistoria Especificações Para Recuperação Tesourinhas Sob o Eixo Rodoviário da Asa Sul – Brasília – DF”.
- XXV) Projeto Básico de Arquitetura “Laudo de Vistoria Especificações Para Recuperação Tesourinhas Sob o Eixo Rodoviário da Asa Norte – Brasília – DF”.
- XXVI) Projeto Básico de Arquitetura “Memorial Descritivo Recuperação Estrutural Tesourinhas – Brasília – DF (NOVACAP).
- XXVII) Projeto Básico de Arquitetura “Detalhe de Guard Rail – Tesourinhas.
- XXVIII) Projeto Básico de Arquitetura “Detalhe de Guard Rail – Passagens de Pedestres (NOVACAP).
- XXIX) Projeto Básico de Arquitetura “Proposta de Revitalização Viadutos e Guarda-rodas Tesourinhas do Plano Piloto” (NOVACAP).
- XXX) Projeto Básico de Arquitetura “Carta Proposta SOL TEC-ENGENHARIA LTDA”.

XXXI) Projeto Básico de Arquitetura “Termo De Referência SEI-GDF - NOVACAP-DF”.

XXXII) Projeto Básico de Arquitetura.

XXXIII) o Relatório de Inspeção N° 02/2018, do Núcleo de Fiscalização de Obras e Serviços de Engenharia do Tribunal de Contas do Distrito Federal, que avaliou o atual estado de conservação de algumas Obras de Arte Especiais indicadas no âmbito de auditoria operacional, de modo a verificar riscos à população;

A partir das sinalizações de manifestações patológicas, o viaduto localizado na 215/216 sul foi definido como objeto de inspeção visual e análise de ocorrência de anomalias térmicas.

A Figura 10 ilustra a localização dos viadutos das quadras:

Intersecções das quadras: 215/216 – 213/214 - 211/212 – 209/210 – 207/208 – 205/206 – 203/204 – 201/202, Asa Sul, e 215/216 – 213/214 - 211/212 – 209/210 – 207/208 – 205/206 – 203/204 – 201/202, Asa Norte.

Figura 10 - Vista aérea dos viadutos asas sul e norte, Brasília-DF



Fonte: Google Earth (acesso em 16. outubro.2023)

A inspeção visual do viaduto ocorreu no dia 22 de maio de 2019, ocasião em que foram observadas algumas manifestações patológicas na estrutura do viaduto consideradas como sendo viáveis para análise por meio do uso da termografia infravermelha. Na ocasião, foram também verificados aspectos tais como segurança do local, posicionamento e ângulo para captura das imagens, acessibilidade a pontos críticos do viaduto e fluxo de veículos.

Figura 11 - Inspeção visual do viaduto da 215/216 sul



Fonte: Acervo pessoal.

As imagens termográficas do viaduto foram captadas nos dias 24 de maio de 2019, 16 de setembro de 2023, 30 de setembro de 2023, 14 de outubro de 2023, 21 de outubro de 2023, 04 de novembro de 2023, 09 de dezembro de 2023, 23 de dezembro 2023, 13 de janeiro 2024 e 27

de janeiro de 2024 entre 6h e 8h20, sem estímulos térmicos artificiais no objeto, isto é, por termografia infravermelha passiva, que depende apenas da distribuição de calor natural ambiental na superfície do objeto em inspeção, sendo utilizadas na análise apenas as condições de contorno naturais. A câmera termográfica FLIR E8 foi a utilizada no registro das imagens.

Figura 12 - Câmera de termografia infravermelha FLIR E8



Fonte: <https://prod.flir.com.br/products/e8-wifi/>. Acesso em 28 mai.2019.

As principais especificações técnicas do equipamento são apresentadas na Tabela 3:

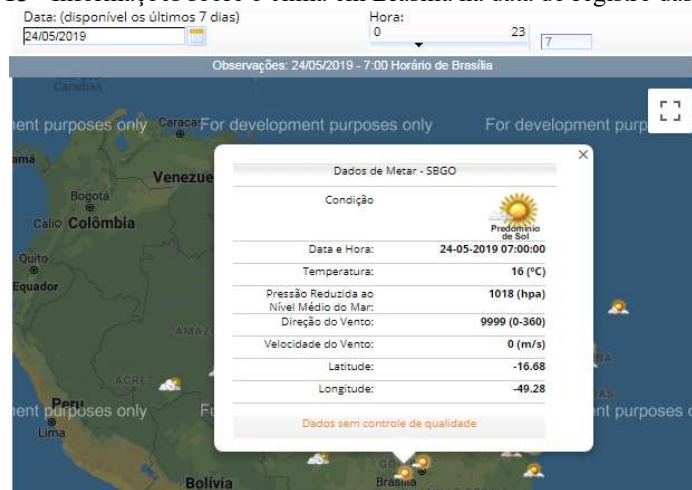
Tabela 3 -Especificações da câmera de termografia infravermelha FLIR E8

ITEM	ESPECIFICAÇÃO
PRECISÃO	$\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ($\pm 3,6 \text{ }^\circ\text{F}$) ou $\pm 2\%$ DA leitura para temperatura ambiente $10 \text{ }^\circ\text{C}$ a $35 \text{ }^\circ\text{C}$ ($+50 \text{ }^\circ\text{F}$ A $95 \text{ }^\circ\text{F}$) e temperatura de objetos acima de $+0 \text{ }^\circ\text{C}$ ($+32 \text{ }^\circ\text{F}$)
TIPO DE DETECTOR	Microbolômetro não refrigerado
RESOLUÇÃO DE IV	320×240 pixels
IMAGENS DINÂMICAS MULTIESPECTRAIS (MSX)	Imagem infravermelha melhorada com detalhe de câmera de luz visível
FAIXA DE TEMPERATURA DE OBJETOS	-4°F a $+482^\circ\text{F}$ (-20°C a $+250^\circ\text{C}$)
SENSIBILIDADE TÉRMICA/NETD	$<0,06 \text{ }^\circ\text{C}$ ($0.11 \text{ }^\circ\text{F}$)/ $<60 \text{ mK}$
CAMPO DE VISÃO (FOV)	$45^\circ \times 34^\circ$
AJUSTE DA IMAGEM	Automático/Manual
FREQUÊNCIA DA IMAGEM	9 Hz
MODOS DE IMAGEM	Thermal MSX®, térmico, picture-in-picture, combinação térmica, câmera digital
RESOLUÇÃO/FOV DA CÂMERA DIGITAL	$640 \times 480/55^\circ \times 43^\circ$

Fonte: <https://prod.flir.com.br/products/e8-wifi/>. Acesso em 28 mai.2019.

A temperatura ambiente no horário da coleta das imagens era em torno de 16° C e o céu apresentava poucas nuvens, sem quaisquer indícios de chuva.

Figura 13 - Informações sobre o clima em Brasília na data do registro das imagens.

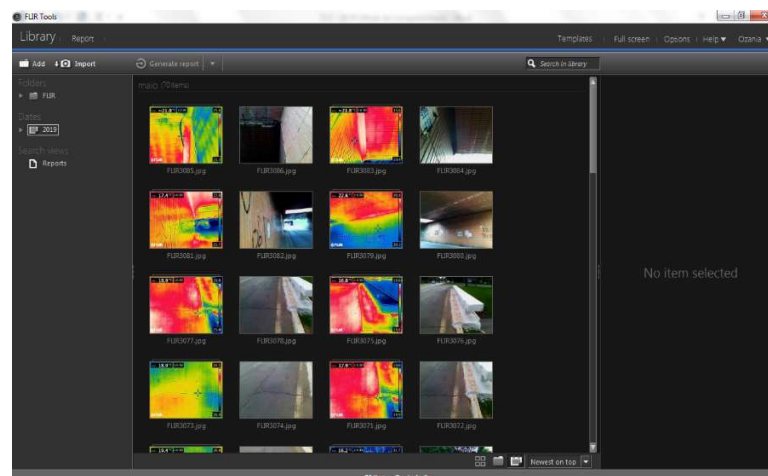


Fonte: <http://bancodedados2.cptec.inpe.br/>. Acesso em 25 mai.2019.

As imagens foram capturadas respeitando-se o limite de 10 m de alcance da câmera. Foram registradas cerca de 70 imagens, que subsidiaram a análise das anomalias identificadas e descritas no capítulo seguinte.

O software FLIR Tools foi utilizado na avaliação das imagens térmicas coletadas.

Figura 14 - Análise das imagens termográficas no Software FLIR Tools



Fonte: Print Screen da tela do software FLIR Tools.

A análise dos termogramas obtidos foi realizada com o objetivo de verificar se as anomalias térmicas podem ser vinculadas às manifestações patológicas existentes na estrutura do viaduto. O Grau de Deterioração Estrutural (GDE) obtido no estudo realizado por Lauria (2018), bem como os danos encontrados nos elementos do viaduto foram considerados na avaliação dos problemas detectados com o uso da termografia infravermelha.

2.RESULTADOS

A partir da análise das imagens termográficas serão apresentados os resultados pertinentes à cada situação estudada.

Localizados:

Intersecções das quadras: 215/216 – 213/214 - 211/212 – 209/210 – 207/208 – 205/206 – 203/204 – 201/202, Asa Sul, e 215/216 – 213/214 - 211/212 – 209/210 – 207/208 – 205/206 – 203/204 – 201/202, Asa Norte.

Os viadutos são formados por laje apoiada diretamente nas cortinas de concreto armado, que por sua vez descarregam em fundações de características desconhecidas, conforme Figura 15 abaixo.

Figura 15 - Vista frontal do Viaduto da 215/216 Sul



Fonte: Acervo pessoal.

A parte inferior do viaduto possui duas faixas com aproximadamente 3,5 m e 0,20 m de recuo cada, totalizando uma largura de 7,40 m. A altura desse tipo de viaduto, na cidade de Brasília, apresenta uma variação entre 3,50 m a 4,0 m de altura. Com o passar dos anos, o recapeamento leva a um acréscimo de 0,10 m a 0,12 m de capa de asfalto.

Após a inspeção visual e avaliação dos termógrafos constatou-se que o elemento tabuleiro apresenta abrasão do concreto, manchas e armaduras expostas.

Abrasão

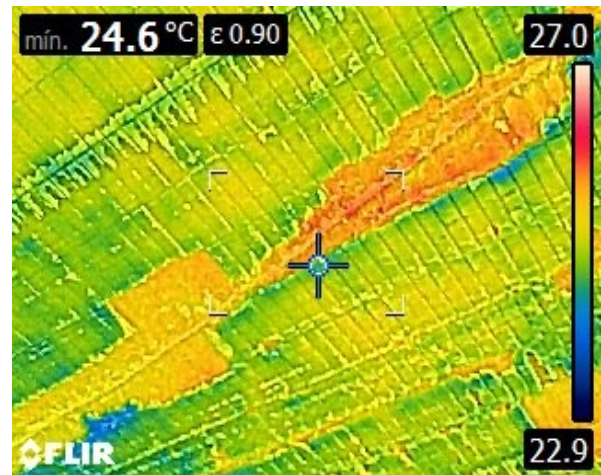
O desgaste por abrasão na laje do viaduto foi provocado pelo atrito da superfície com veículos que excederam a altura permitida para trafegar por baixo do viaduto. A remoção do material da superfície por fricção ocasiona perda do desempenho mecânico. É possível observar na Figura 16.b que a região em que ocorreu a remoção do revestimento apresenta maior temperatura quando comparada com uma região adjacente sem defeito.

Figura 16.a - Abrasão do concreto na laje



Fonte: acervo pessoal.

Figura 16.b - Termograma da região afetada - abrasão



Fonte: acervo pessoal.

Umidade

A umidade é uma das manifestações patológicas, no contexto da construção civil, que mais tem sido objeto de estudo com o uso da termografia infravermelha. O aumento da quantidade de água é diretamente proporcional ao aumento da densidade, do calor específico e da condutividade térmica (Pavon e 2017 apud Kominky *et al.*, 2006).

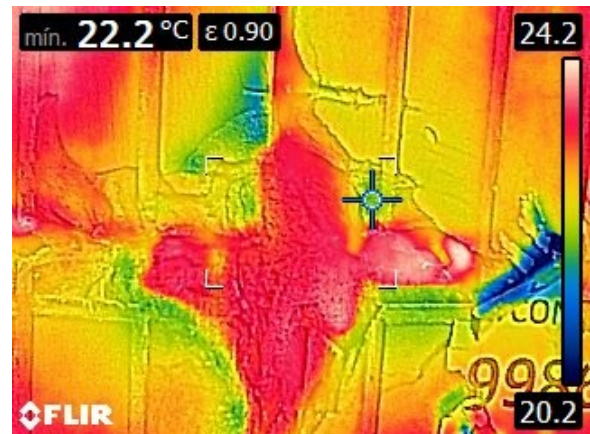
Assim, como a água possui um calor específico mais elevado do que materiais comuns de construção, as áreas com elevado conteúdo de umidade aparecem com temperaturas diferentes às áreas vizinhas sem presença de umidade, podendo ser observada esta diferença de temperatura com a termografia infravermelha.

Figura 17.a - Fenda no revestimento lateral



Fonte: acervo pessoal.

Figura 17.b - Termograma da fenda no revestimento



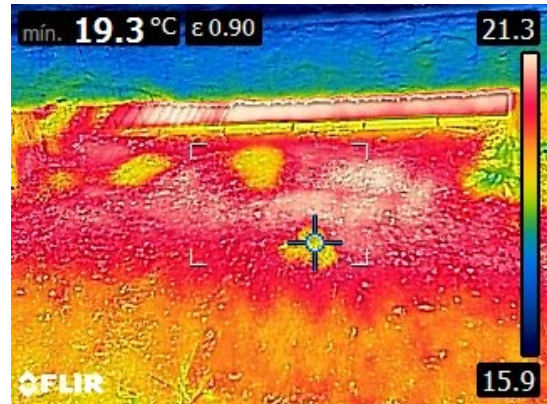
Fonte: acervo pessoal.

Segundo a NBR. 15575:2013, a água é o principal agente de degradação de um amplo grupo de materiais de construção. No caso em questão, a água ao penetrar pela flecha exagerada no revestimento lateral do viaduto pode ocasionar corrosão da armadura e desagregação do concreto comprometendo a capacidade da estrutura de resistir aos esforços solicitados.

O guarda-corpo apresenta bolhas na pintura, que podem surgir a partir de repinturas em locais onde não se tenha extraído toda a poeira ou reaplicação de uma tinta sobre outra de má qualidade sem as devidas preparações. É possível identificar também o desagregamento da pintura, que se esfarela e se destaca da superfície juntamente com partes do reboco. Este problema ocorre quando a tinta é aplicada antes da cura do reboco.

Figura 18.a - Guarda-corpo 1 do viaduto

Fonte: acervo pessoal.

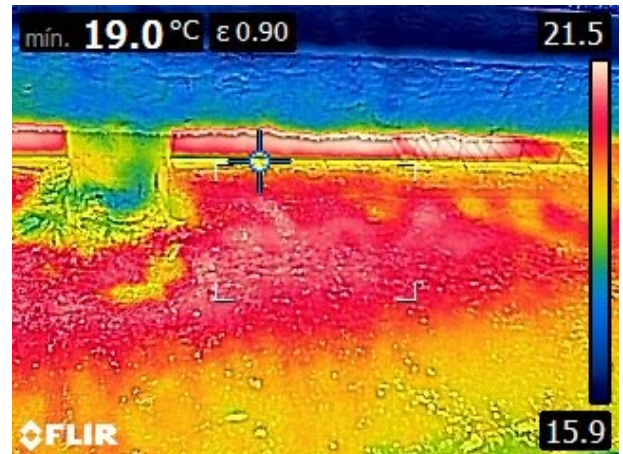
Figura 18.b - Termograma do Guarda-corpo 1

Fonte: acervo pessoal.

No guarda-corpo do viaduto também foi constatada a presença de umidade, conforme ilustrado nas figuras 18.b e 19.b. A base de tal elemento apresenta manchas e formação de bolor, que é entendido como a colonização por diversas populações de fungos filamentosos sobre vários tipos de substrato. A umidade no guarda-corpo do viaduto pode ter sido trazida por capilaridade, por chuvas ou pela ausência de impermeabilização.

Figura 19.a - Guarda-corpo 02 do viaduto

Fonte: acervo pessoal.

Figura 19.b - Termograma do Guarda-corpo 2

Fonte: acervo pessoal.

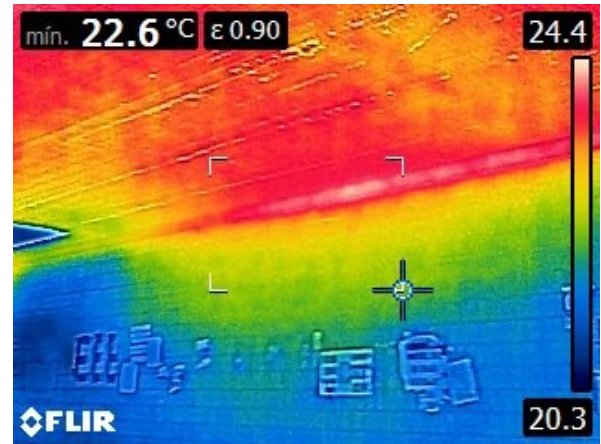
A cortina de concreto armado é outro elemento do viaduto em que possivelmente há presença de umidade. A imagem termográfica 20.b apresenta áreas de menor temperatura, resultado do arrefecimento local pela evaporação da água nessas zonas.

Figura 20.a - Cortina de concreto do viaduto



Fonte: acervo pessoal.

Figura 20.b - Termograma da Cortina do viaduto



Fonte: acervo pessoal.

A possível presença de umidade na cortina pode ser advinda da capilaridade do solo ou de problemas decorrentes de falhas no sistema de drenagem. A figura 20.b ilustra ainda uma ponte térmica decorrente da presença de diferentes materiais.

Embora haja uma distribuição diferente no termograma acima, não indica necessariamente a presença de alguma anomalia. O termograma exibe a distribuição de calor na estrutura.

Corrosão

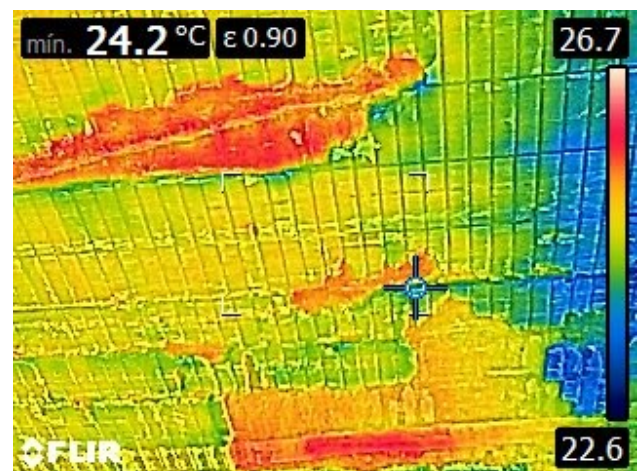
Ainda que tenha sido constatada a presença de armadura exposta, a utilização da termografia infravermelha não possibilitou a conclusão de corrosão.

Figura 21.a - Armadura exposta na laje



Fonte: acervo pessoal.

Figura 21.b - Termograma da laje



Fonte: acervo pessoal.

Vale frisar a complexidade de detecção de corrosão em concreto armado por meio do uso da termografia infravermelha. (ROCHA, 2019)

Dentre os ensaios para detectar corrosão, destacam-se:

- Ensaios eletroquímicos: potencial de corrosão, ruído eletroquímico, impedância eletroquímica, sonda Kelvin.
- Ensaios complementares: MEV/FEG, AFM, Microscopia de elétrons Auger;
- Ensaios de corrosão: ensaios de imersão, avaliação da suscetibilidade a corrosão intergranular, por pite, à corrosão em frestas, ensaios acelerados (névoa salina, dióxido de enxofre, umidade);
- Ensaios de caracterização: análises químicas, exames metalográficos e ensaios mecânicos;
- Ensaios de corrosão específicos: ensaios de imersão em meios que simulam as condições reais de uso;
- Ensaios de corrosão em campo: ensaios não acelerados de corrosão;
- Ensaios complementares: MEV/FEG.

Lauria (2018, p.74) identificou corrosão na armadura do viaduto da 215/216 Sul ao avaliar a aplicação da metodologia do Grau de Deterioração Estrutural da Universidade de Brasília (GDE-UnB), para análise do estado de conservação dos viadutos do Eixo Rodoviário Sul, em Brasília.

Tabela 4 - Resultados obtidos para o viaduto L

Quadra 15/16					
Viaduto L					
Elementos	Grau de Deterioração do Elemento	Grau de Deterioração da Família	Fator de Relevância	Grau de Deterioração Estrutural	Nível de Deterioração
Tabuleiro	139,32	139,32	4	89,65	Sofrível
Guarda-rodas W	152,83	197,10	1		
Guarda-rodas C	148,13				
Guarda-rodas L	152,83				
Cortina Sul W	6,98	8,28	3		
Cortina Sul L	0,00				
Cortina Norte W	4,80				
Cortina Norte L	0,00				
Cortina Central Sul	0,00	0,00	5		
Cortina Central Norte	0,00				
Pista de Rolamento	4,80	4,80	2		

Fonte: LAURIA, 2018.

(LAURIA 2018 apud Verly 2015, p.74) “O grau de deterioração da estrutura foi classificado como sofrível, sendo recomendada intervenção em um prazo máximo de 6 meses.”

Fissuras

A termografia infravermelha tem sido utilizada na avaliação de fissuras, principalmente, naquelas superficiais em revestimentos externos em argamassa ou elementos de concreto.

A camada de ar dentro da fissura e sua geometria estreita são dois dos fatos que facilitam o estudo desta patologia. Quando o calor penetra ou sai da fissura, parte da radiação é refletida nas paredes e parte é absorvida, por tais motivos, esta região não fica aquecida da mesma forma que a superfície totalmente exposta, o que gera diferenças que podem ser detectadas na inspeção termográfica. (PAVON, 2017, p.28)

No entanto, ressalta-se que estudos sugerem a detecção das fissuras utilizando fontes de aquecimento e não água, porque a presença da água gera termogramas pouco claros, não sendo possível comentar em relação a como apareceram as fissuras, se como áreas mais frias ou mais quentes.

Porém, foi verificada presença de fissuras no estudo desenvolvido em um prédio histórico da cidade de Madri (MARTÍNEZ *et al.*, 2013). Segundo os autores pelas elevadas diferenças de temperatura encontradas em ambos os lados das fissuras. Na análise visual do termograma

realizado durante o dia, se percebe a fissura como uma área mais fria, quando comparada com a área vizinha bem próxima à fissura.

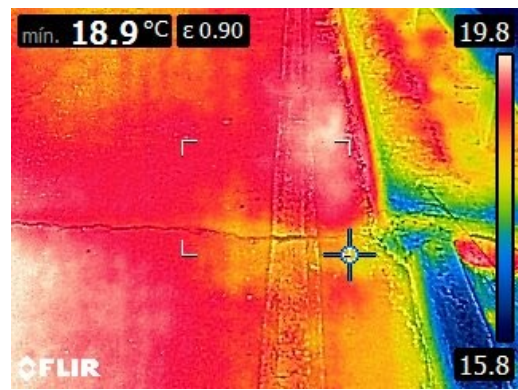
No presente estudo não foi possível concluir sobre o comportamento das imagens termográficas em regiões com fissuras. A junta de movimentação na parte superior do viaduto apresenta uma fissura na camada asfáltica e não apresenta variação de temperatura na área vizinha.

Figura 22.a - Fissura na junta de dilatação



Fonte: acervo pessoal.

Figura 22.b - Termograma da fissura



Fonte: acervo pessoal.

Anexo A – Imagens do Viaduto da 201/202 Sul, na cidade de Brasília – DF. Especificações antes da Recuperação. (E.A.R).

Figura 23a - Viaduto 201/202 Sul



Fonte: acervo Novacap.

Figura 24.a - E.A.R Revestimento cerâmico viaduto



Fonte: acervo Novacap.

Figura 25.a – E.A.R – Revestimento deslocando do viaduto



Fonte: acervo Novacap.

Figura 26.a – E.A.R Cortina de Concreto do viaduto



Fonte: acervo Novacap.

Figura 27.a - E.A.R - Guarda Roda Danificado



Fonte: acervo Novacap.

Anexo A1 – Imagens do Viaduto da 201/202 Sul, na cidade de Brasília – DF. Especificações após a reforma. (E.A.P.R).

Figura 28.b - E.A.P.R



Fonte: acervo pessoal.

Figura 29.b - E.A.P.R - Tabuleiro após reforma



Fonte: acervo pessoal.

Figura 30.b - E.A.P.R - Revestimento



Fonte: acervo pessoal.

Figura 31.b - E.AP.R - Cortina de concreto do viaduto após reforma



Fonte: acervo pessoal.

Figura 32.b - E.AP.R - Guarda roda após reforma



Fonte: acervo pessoal.

Figura 33.b - E.AP.R - Guarda roda após reforma



Fonte: acervo pessoal.

Figura 34. b - E.AP.R - Guarda roda após reforma



Fonte: acervo pessoal.

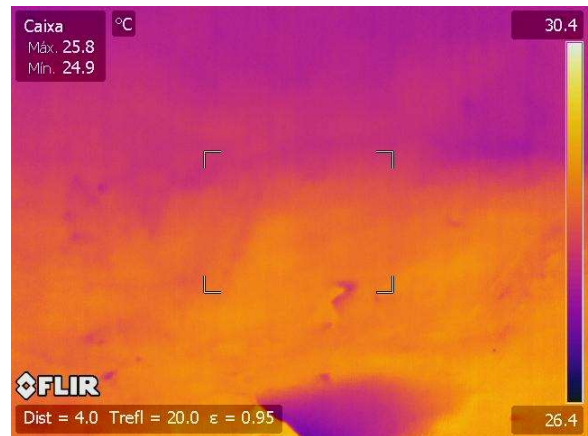
ANEXO A2 – Imagens do viaduto da 201/202 Sul, na cidade de Brasília-DF. Especificações utilizando câmera termográfica para identificação de patologia. Época sem chuva em Brasília, período seco. (TM.P.S).

Figura 35.c – TM.P.S - Termográfica tabuleiro



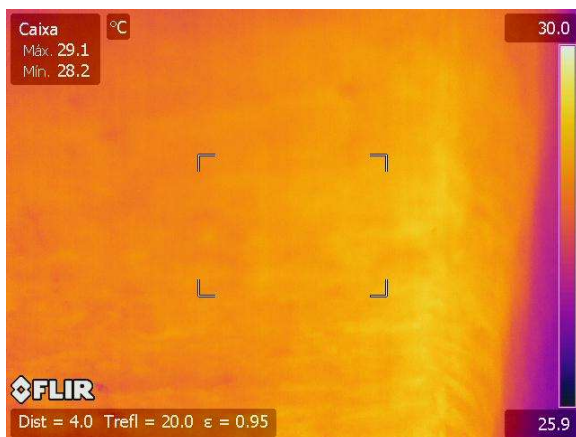
Fonte: acervo pessoal.

Figura 36.c - TM.P.S - Termográfica laje



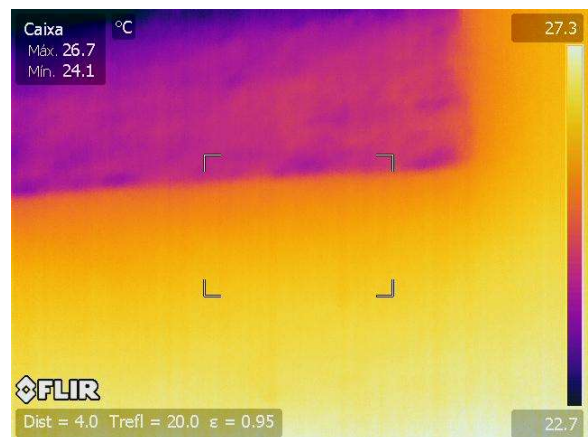
Fonte: acervo pessoal

Figura 37.c - TM.P.S - Termográfica cortina

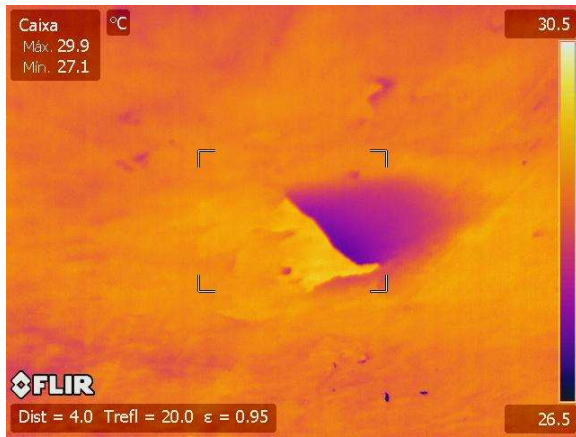


Fonte: acervo pessoal.

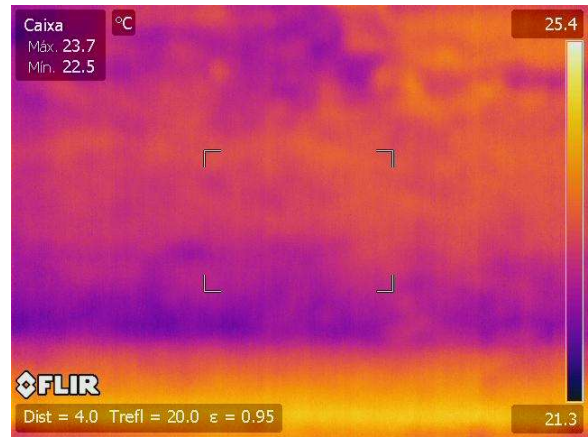
Figura 38.c - TM.P.S – Termográfica guarda roda



Fonte: acervo pessoal.

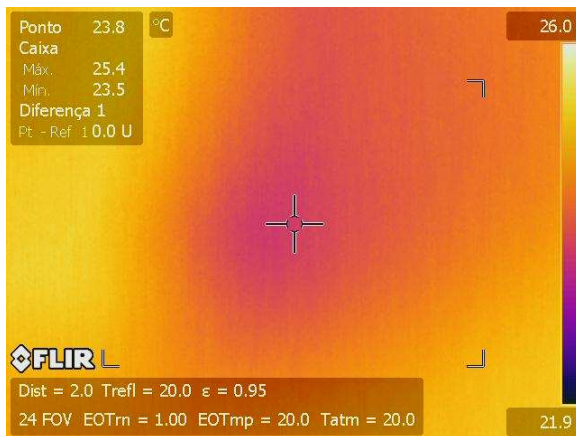
Figura 39.c - TM.P.S - Termográfica tabuleiro

Fonte: acervo pessoal.

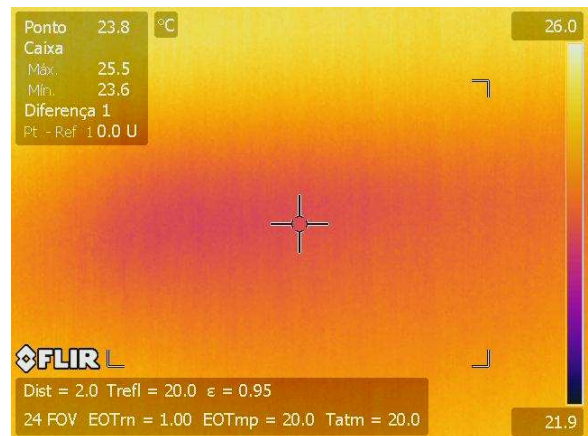
Figura 40.c - TM.P.S - Termográfica Guarda roda

Fonte: acervo pessoal.

ANEXO A3 – Imagens do Viaduto da 201/202 Sul, na cidade de Brasília-DF. Especificações utilizando câmera termográfica para identificação de patologia. Época com período de chuva em Brasília, período úmido. (TM.P.U).

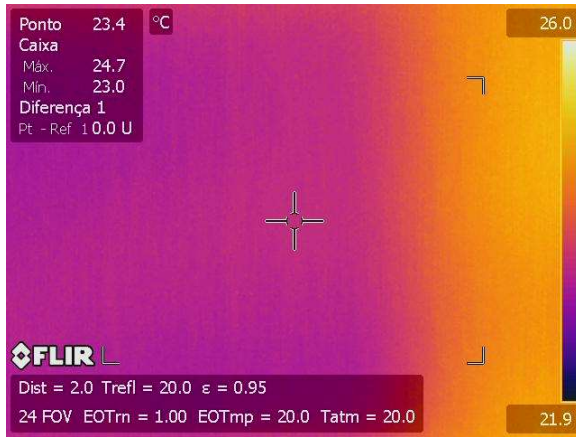
Figura 41.d - TM.P.U - Termográfica tabuleiro

Fonte: acervo pessoal.

Figura 42.d - TM.P.U - Termográfica laje

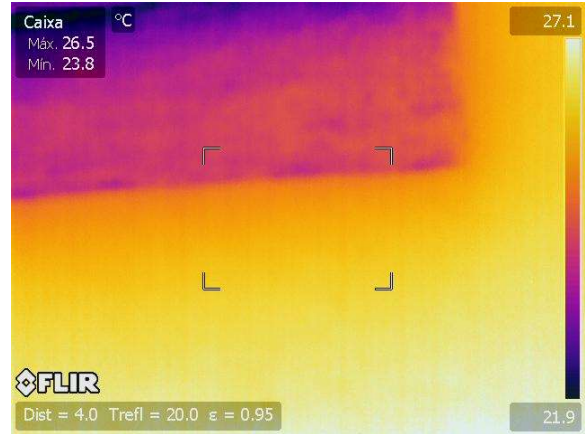
Fonte: acervo pessoal.

Figura 43.d - TM.P.U - Termográfica laje



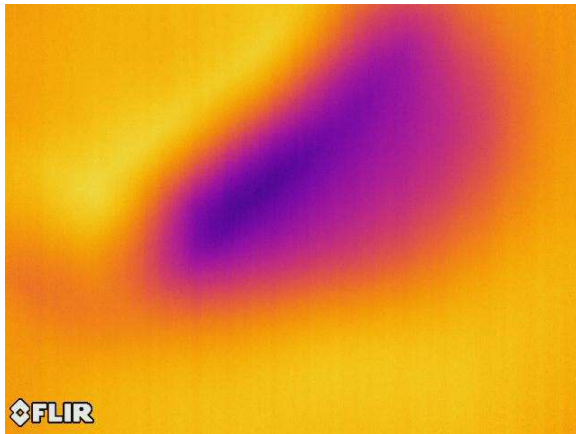
Fonte: acervo pessoal.

Figura 44.d - TM.P.U - Termográfica Guarda roda



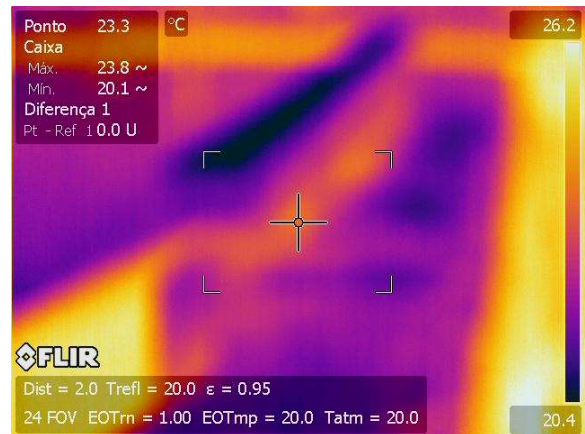
Fonte: acervo pessoal.

Figura 45.d - TM.P.U - Termográfica Tabuleiro



Fonte: acervo pessoal.

Figura 46.d - TM.P.U - Termográfica Guarda roda



Fonte: acervo pessoal.

Anexo B – Imagens do Viaduto da 203/204 Sul, na cidade de Brasília – DF. Especificações antes da Recuperação. (E.A.R).

Figura 47.a Viaduto 203/204 Sul



Fonte: acervo Novacap.

Figura 48.a - E.A.R Revestimento cerâmico



Fonte: acervo Novacap.

Figura 49.a – E.A.R – Revestimento deslocando



Fonte: acervo Novacap.

Figura 50.a - E.A.R Acesso oeste da tesourinha



Fonte: acervo Novacap.

Figura 51.a - E.A.R - Guarda Roda Danificado



Fonte: acervo Novacap.

Anexo B1 – Imagens do Viaduto da 203/204 Sul, na cidade de Brasília – DF. Especificações após a reforma. (E.A.P.R).

Figura 52.b - E.A.P.R



Fonte: acervo pessoal.

Figura 53.b - E.A.P.R - Tabuleiro após reforma



Fonte: acervo pessoal.

Figura 54.b - E.A.P.R - Revestimento



Fonte: acervo pessoal.

Figura 55.b - E.A.P.R - Cortina de concreto



Fonte: acervo pessoal.

Figura 56.b - E.A.P.R - Guarda roda após



Fonte: acervo pessoal.

Figura 57.b - E.A.P.R - Tabuleiro após reforma



Fonte: acervo pessoal.

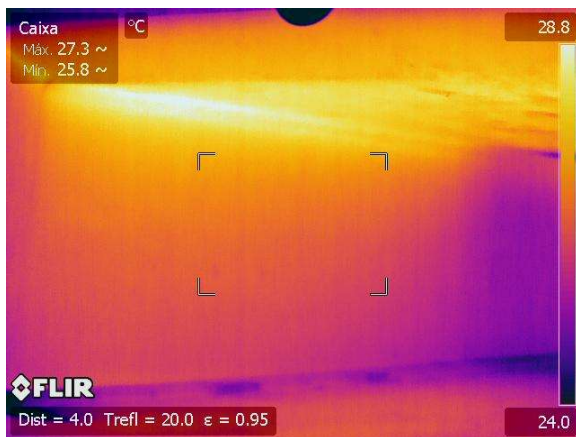
Figura 58.b - E.A.P.R - Junta da cortina



Fonte: acervo pessoal.

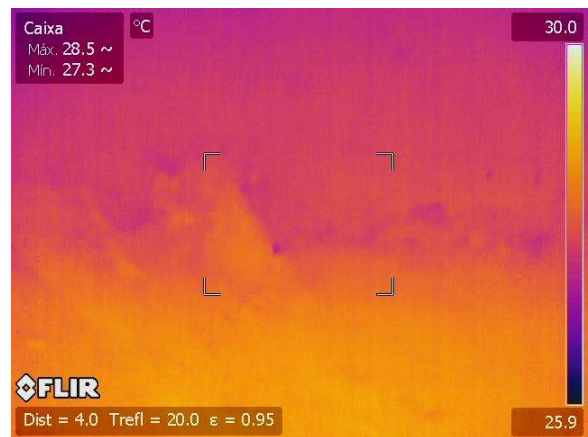
ANEXO B2 – Imagens do viaduto da 203/204 Sul, na cidade de Brasília-DF. Especificações utilizando câmera termográfica para identificação de patologia. Época sem chuva em Brasília, período seco. (TM.P.S).

Figura 59.c – TM.P.S - Termográfica tabuleiro



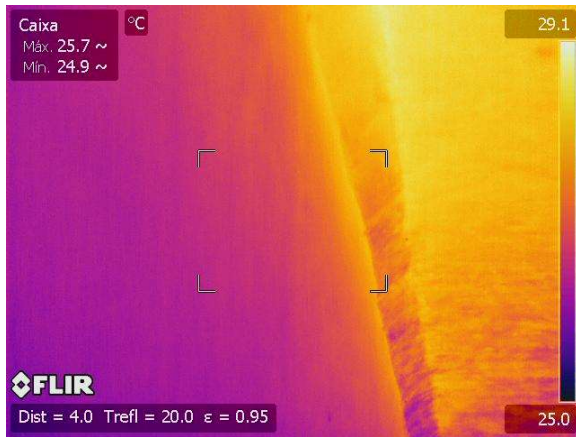
Fonte: acervo pessoal.

Figura 60.c - TM.P.S - Termográfica laje



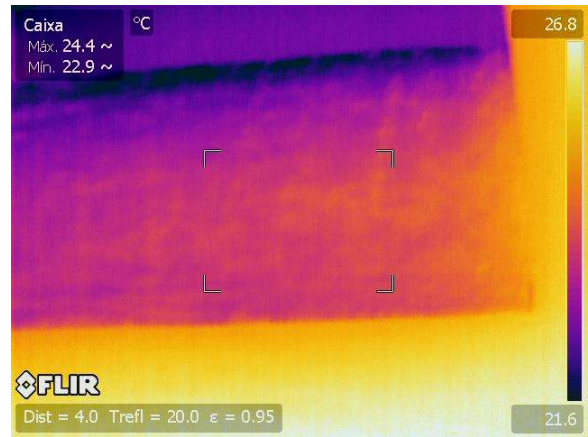
Fonte: acervo pessoal.

Figura 61.c - TM.P.S - Termográfica cortina de concreto



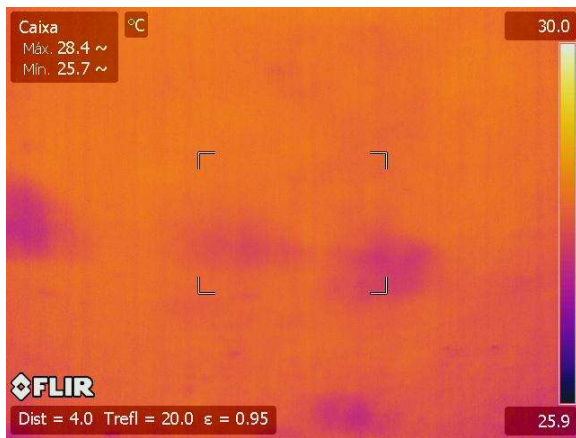
Fonte: acervo pessoal.

Figura 62.c – TM.P.S Termográfica do Guarda-corpo



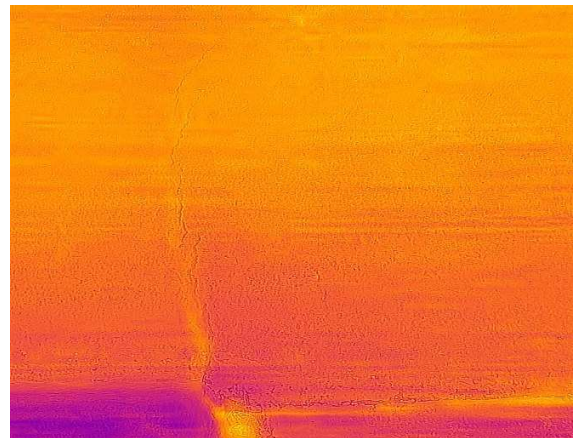
Fonte: acervo pessoal.

Figura 63.c - TM.P.S - Termográfica tabuleiro



Fonte: acervo pessoal.

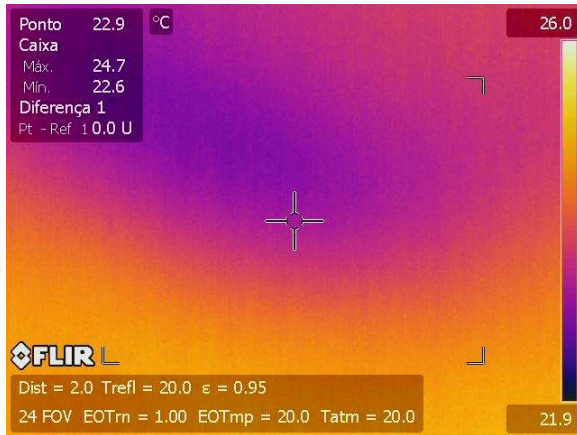
Figura 64.c - TM.P.S - Termográfica Junta da cortina



Fonte: acervo pessoal.

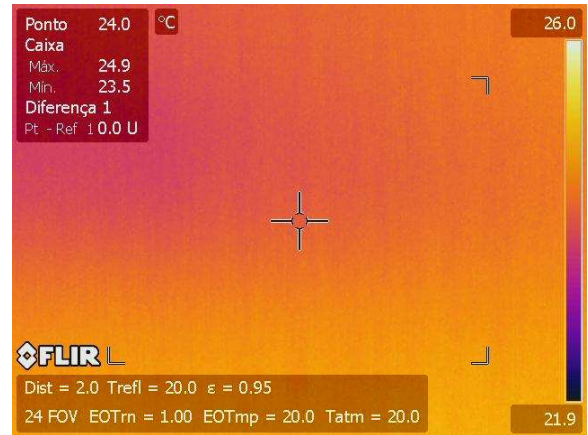
ANEXO B3 – Imagens do Viaduto da 203/204 Sul, na cidade de Brasília-DF. Especificações utilizando câmera termográfica para identificação de patologia. Época com período de chuva em Brasília, período úmido. (TM.P.U).

Figura 65.d - TM.P.U - Termográfica tabuleiro



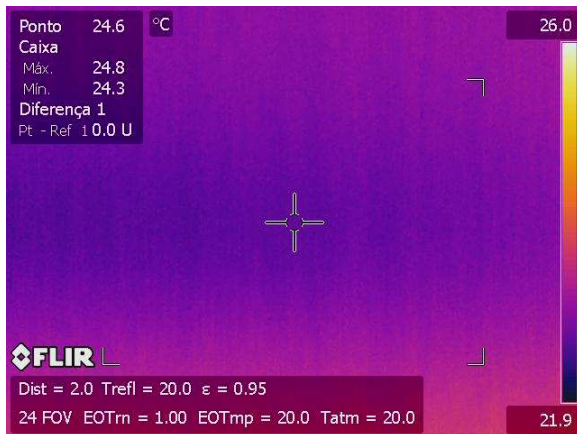
Fonte: acervo pessoal.

Figura 66.d - TM.P.U - Termográfica laje



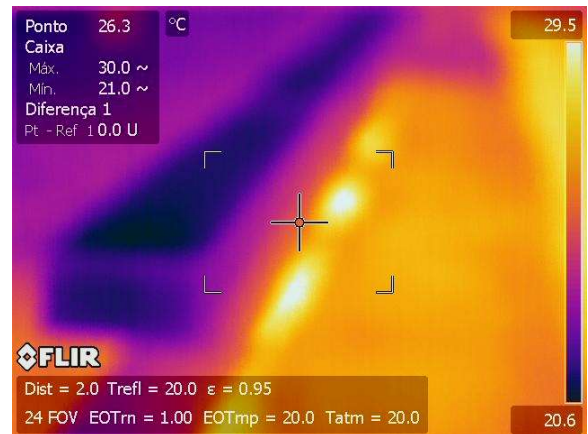
Fonte: acervo pessoal.

Figura 67.d - TM.P.U - Termográfica cortina de concreto



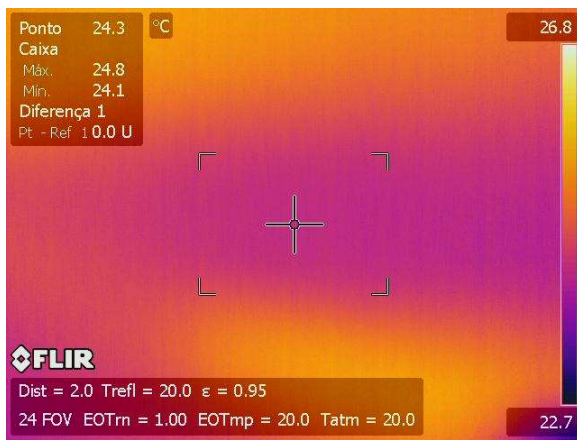
Fonte: acervo pessoal.

Figura 68.d - TM.P.U Termográfica do Guarda-corpo



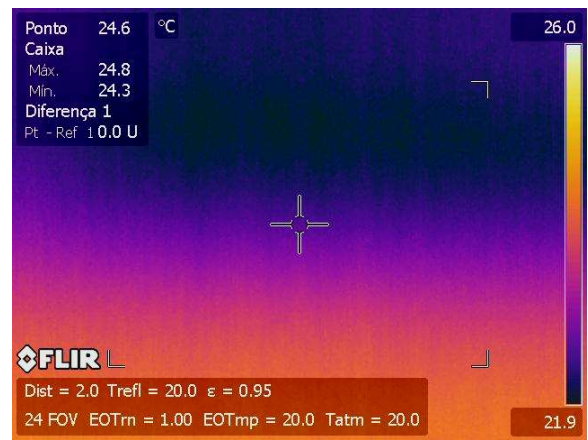
Fonte: acervo pessoal.

Figura 69.d - TM.P.U - Termográfica tabuleiro



Fonte: acervo pessoal.

Figura 70.d - TM.P.U - Termográfica laje



Fonte: acervo pessoal.

Anexo C – Imagens do Viaduto da 205/206 Sul, na cidade de Brasília – DF. Especificações antes da Recuperação. (E.A.R).

Figura 71.a Viaduto 205/206 Sul



Fonte: acervo Novacap.

Figura 72.a – E.A.R – Revestimento deslocando



Fonte: acervo Novacap.

Figura 73.a – E.A.R – Detalhe do acesso oeste da tesourinha sob o Eixo W



Fonte: acervo Novacap.

Figura 74.a - E.A.R - Guarda Roda Danificado



Fonte: acervo Novacap.

Figura 75.a - E.A.R - Detalhe de fissura em tesourinha sob o Eixo



Fonte: acervo Novacap.

Anexo C1 – Imagens do Viaduto da 205/206 Sul, na cidade de Brasília – DF. Especificações após a reforma. (E.AP.R).

Figura 76.b - E.AP.R



Fonte: acervo pessoal.

Figura 77.b - E.AP.R - Tabuleiro após reforma



Fonte: acervo pessoal.

Figura 78.b - E.AP.R - Revestimento



Fonte: acervo pessoal.

Figura 79.b - Cortina de Concreto do Viaduto



Fonte: acervo pessoal.

Figura 80.b – E.A.R – Revestimento tabuleiro



Fonte: acervo pessoal.

Figura 81.b - E.AP.R - Guarda roda após reforma



Fonte: acervo pessoal.

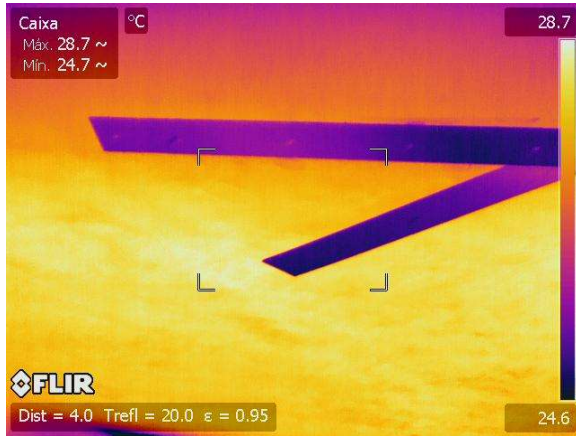
Figura 82.b – E.AP.R Cortina de Concreto do Viaduto



Fonte: acervo pessoal.

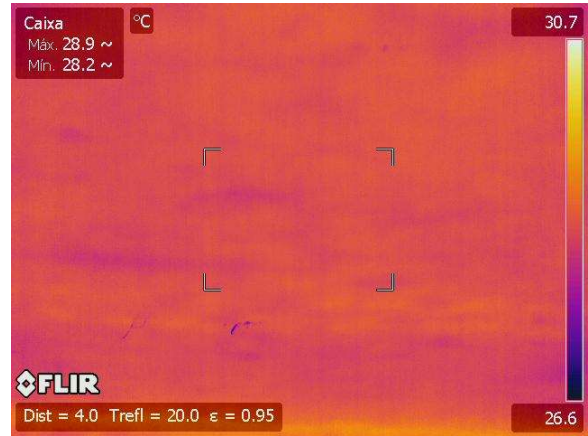
ANEXO C2 – Imagens do viaduto da 205/206 Sul, na cidade de Brasília-DF. Especificações utilizando câmera termográfica para identificação de patologia. Época sem chuva em Brasília, período seco. (TM.P.S).

Figura 83.c – T.M.P.S - Termográfica tabuleiro



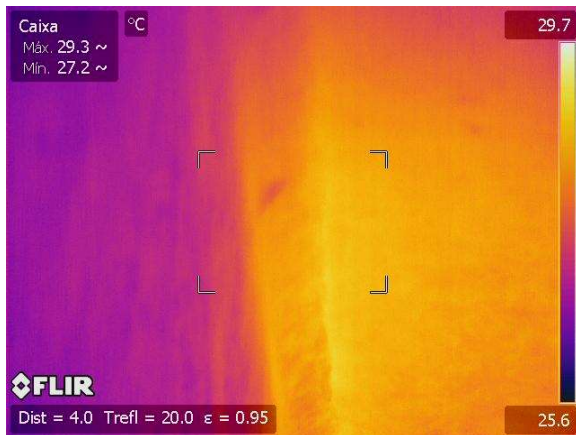
Fonte: acervo pessoal.

Figura 84.c - T.M.P.S - Termográfica laje



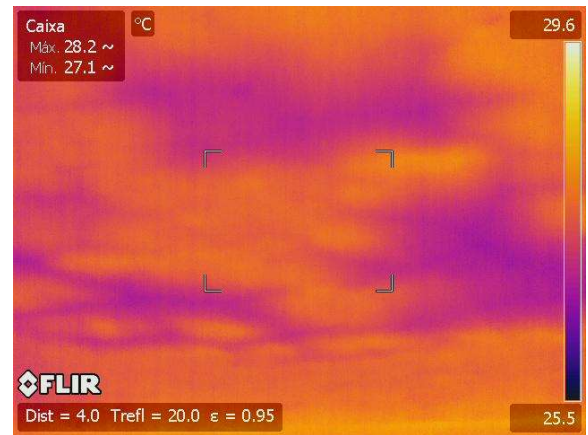
Fonte: acervo pessoal.

Figura 85.c - T.M.P.S Termográfica cortina de concreto



Fonte: acervo pessoal.

Figura 86.c - T.M.P.S - Termográfica laje



Fonte: acervo pessoal.

Figura 87.c - TM.P.S - Termográfica Guarda roda



Fonte: acervo pessoal.

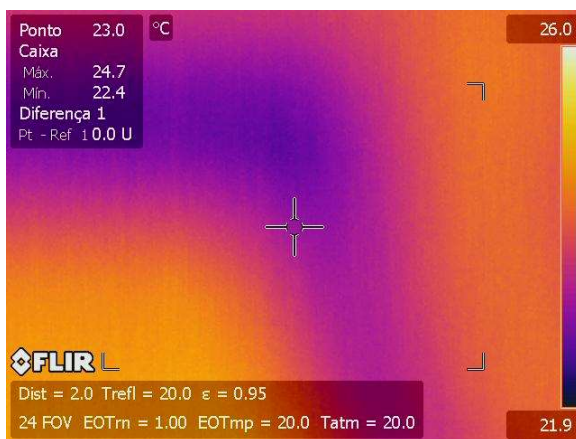
Figura 88.c - TM.P.S Termográfica junta da cortina



Fonte: acervo pessoal.

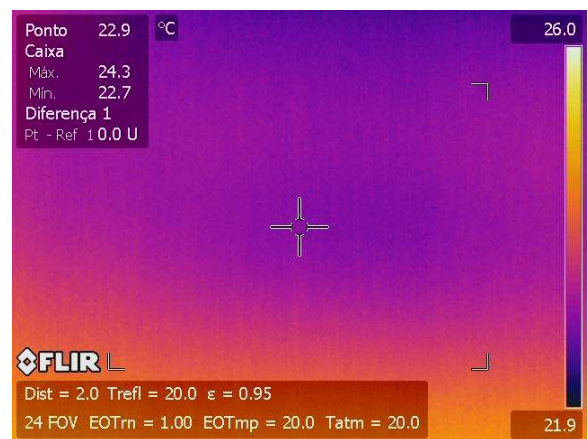
ANEXO C3 – Imagens do Viaduto da 205/206 Sul, na cidade de Brasília-DF. Especificações utilizando câmera termográfica para identificação de patologia. Época com período de chuva em Brasília, período úmido. (TM.P.U).

Figura 89.d – TM.P.U - Termográfica tabuleiro



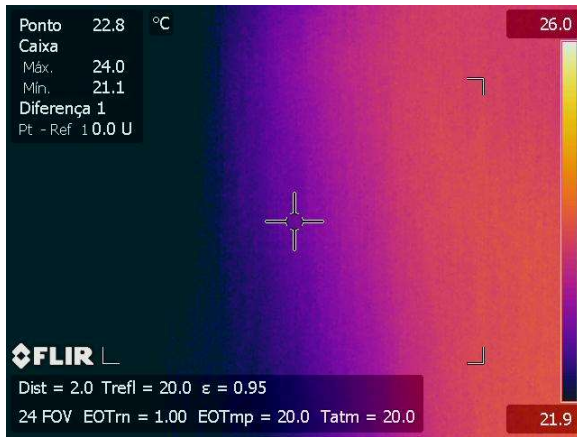
Fonte: acervo pessoal.

Figura 90.d - TM.P.U - Termográfica laje



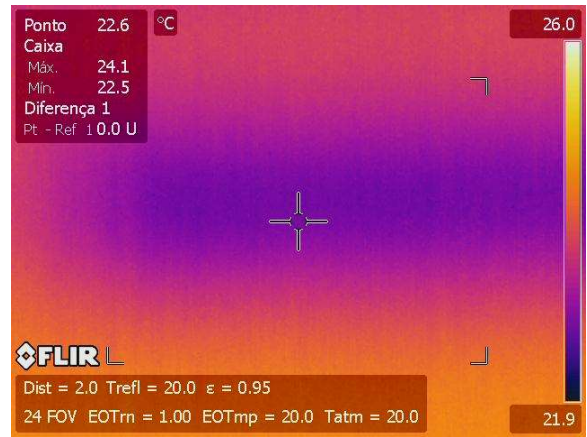
Fonte: acervo pessoal.

Figura 91.d - TM.P.U Termográfica cortina de concreto



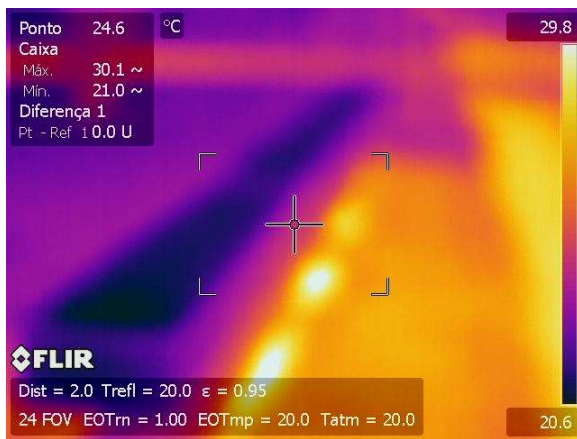
Fonte: acervo pessoal.

Figura 92.d - TM.P.U - Termográfica laje



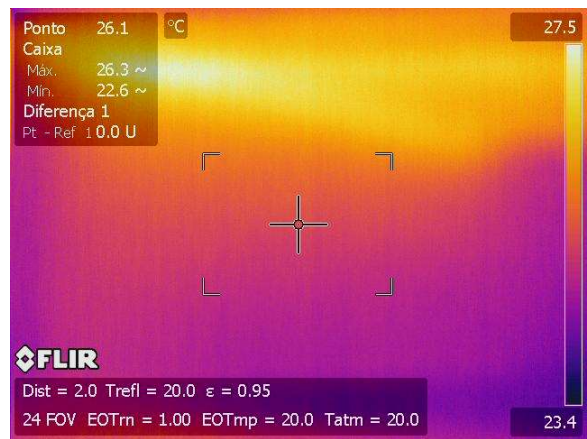
Fonte: acervo pessoal.

Figura 93.d - TM.P.U - Termográfica Guarda roda



Fonte: acervo pessoal.

Figura 94.d - TM.P.U Termográfica junta cortina de concreto



Fonte: acervo pessoal.

Anexo D – Imagens do Viaduto da 207/208 Sul, na cidade de Brasília – DF. Especificações antes da Recuperação. (E.A.R).

Figura 95.a Viaduto 207/208 Sul



Fonte: acervo Novacap.

Figura 96.a - E.A.R Revestimento cerâmico



Fonte: acervo Novacap.

Figura 97.a – E.A.R – Revestimento deslocando



Fonte: acervo Novacap.

Figura 98.a - E.A.R - Guarda Roda Danificado



Fonte: acervo Novacap.

Figura 99.a - E.A.R - cortina de concreto



Fonte: acervo Novacap.

Anexo D1 – Imagens do Viaduto da 207/208 Sul, na cidade de Brasília – DF. Especificações após a reforma. (E.AP.R).

Figura 100.b - E.AP.R



Fonte: acervo pessoal.

Figura 101.b - E.A.P.R - Tabuleiro após reforma



Fonte: acervo pessoal.

Figura 102.b – E.A.P.R Cortina de Concreto do viaduto



Fonte: acervo pessoal.

Figura 103.b – E.A.P.R Junta Cortina de Concreto



Fonte: acervo pessoal.

Figura 104.b - E.A.P.R - Guarda roda após reforma



Fonte: acervo pessoal.

Figura 105.b – E.A.R – Revestimento tabuleiro



Fonte: acervo pessoal.

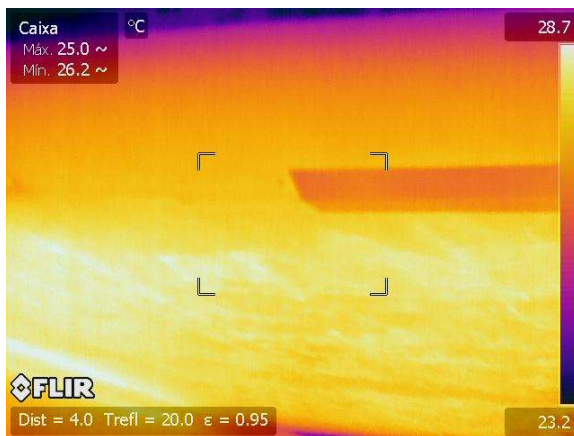
Figura 106.b – E.AP.R Cortina de concreto



Fonte: acervo pessoal.

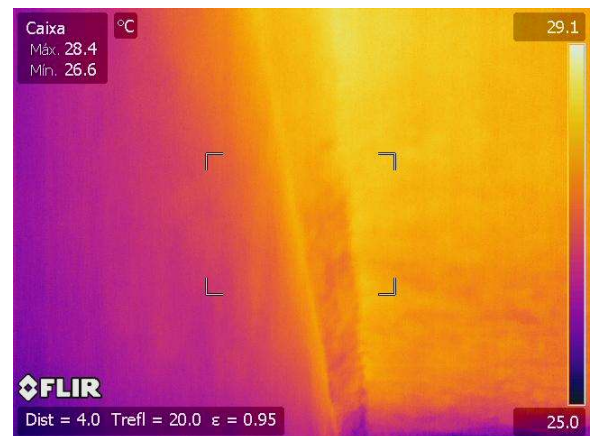
ANEXO D2 – Imagens do viaduto da 207/208 Sul, na cidade de Brasília-DF. Especificações utilizando câmera termográfica para identificação de patologia. Época sem chuva em Brasília, período seco. (TM.P.S).

Figura 107.c – TM.P.S - Termográfica tabuleiro



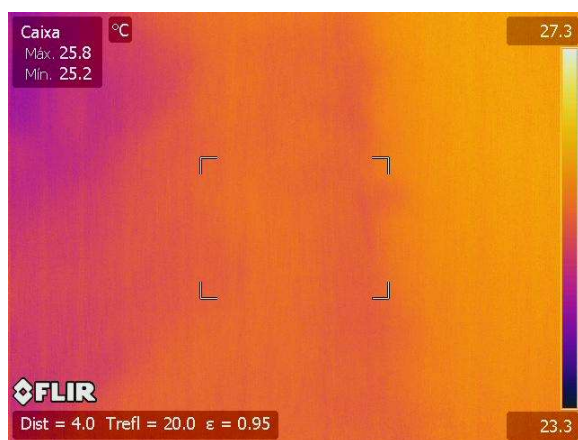
Fonte: acervo pessoal.

Figura 108.c - TM.P.S Termográfica cortina de concreto



Fonte: acervo pessoal.

Figura 109.c – TM.P.S Cortina de concreto



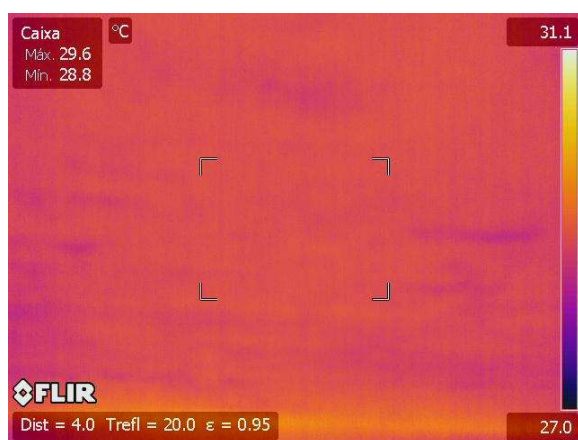
Fonte: acervo pessoal.

Figura 110.c – TM.P.S Termograma do Guarda-roda



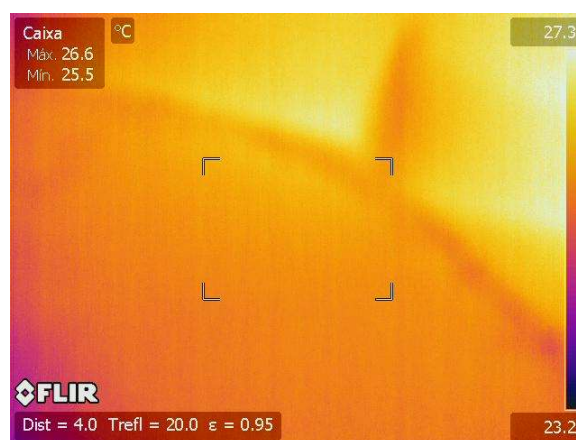
Fonte: acervo pessoal.

Figura 111.c - TM.P.S - Termográfica laje



Fonte: acervo pessoal.

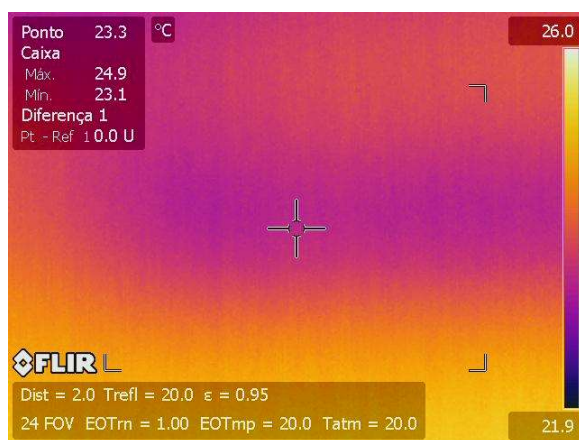
Figura 112.c - TM.P.S Termográfica cortina de concreto



Fonte: acervo pessoal.

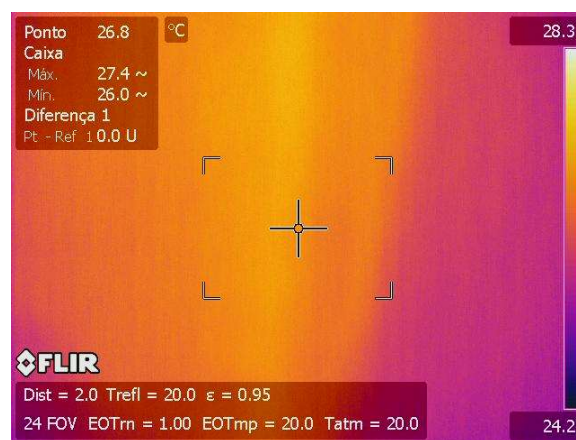
ANEXO D3 – Imagens do Viaduto da 207/208 Sul, na cidade de Brasília-DF. Especificações utilizando câmera termográfica para identificação de patologia. Época com período de chuva em Brasília, período úmido. (TM.P.U).

Figura 113.d – TM.P.U - Termográfica tabuleiro



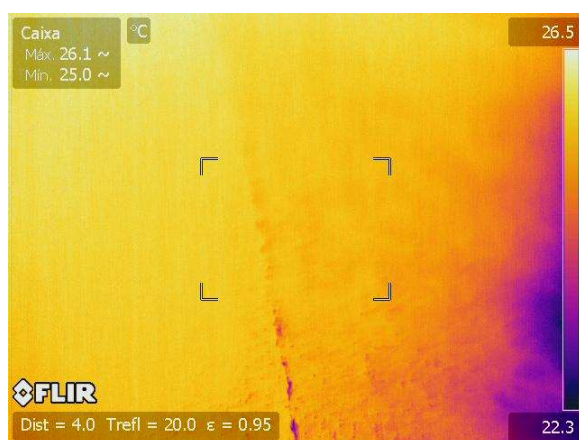
Fonte: acervo pessoal.

Figura 114.d - TM.P.U Termográfica cortina de concreto



Fonte: acervo pessoal.

Figura 115.d – TM.P.U Cortina de concreto



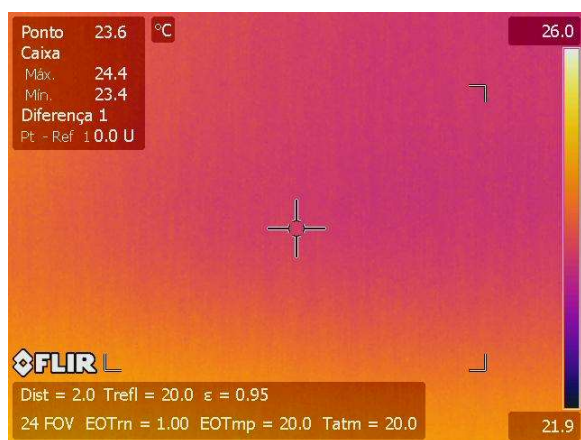
Fonte: acervo pessoal.

Figura 116.d – TM.P.U Termograma do guarda roda



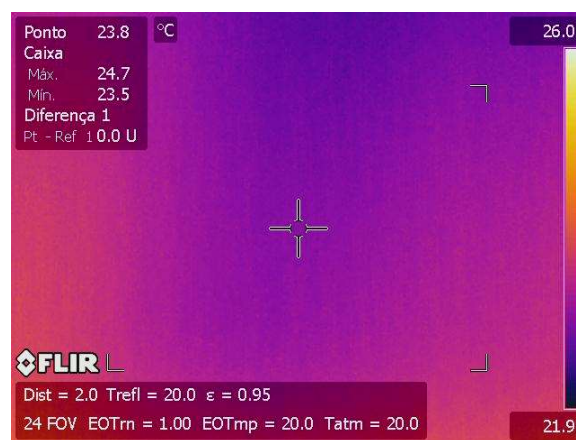
Fonte: acervo pessoal.

Figura 117.d - TM.P.U - Termográfica laje



Fonte: acervo pessoal.

Figura 118.d - TM.P.U Termográfica cortina de concreto



Fonte: acervo pessoal.

Anexo E – Imagens do Viaduto da 209/210 Sul, na cidade de Brasília – DF. Especificações antes da Recuperação. (E.A.R).

Figura 119.a Viaduto 209/210 Sul



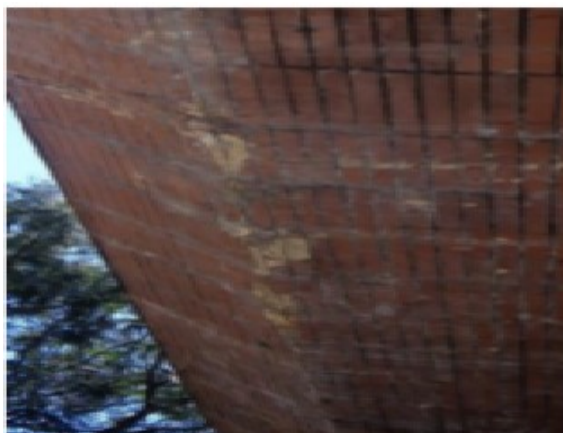
Fonte: acervo Novacap.

Figura 120.a - E.A.R Revestimento cerâmico



Fonte: acervo Novacap.

Figura 121.a – E.A.R – Revestimento deslocando



Fonte: acervo Novacap.

Figura 122.a - E.A.R – Cortina de concreto



Fonte: acervo Novacap.

Figura 123.a - E.A.R - Guarda Roda Danificado



Fonte: acervo Novacap.

Anexo E1 – Imagens do Viaduto da 209/210 Sul, na cidade de Brasília – DF. Especificações após a reforma. (E.A.P.R).

Figura 124.b - E.A.P.R



Fonte: acervo pessoal.

Figura 125.b - E.A.P.R - Tabuleiro após reforma



Fonte: acervo pessoal.

Figura 126.b – E.A.P.R Cortina de Concreto do viaduto



Fonte: acervo pessoal.

Figura 127.b – E.AP.R Junta da cortina de concreto



Fonte: acervo pessoal.

Figura 128.b - E.AP.R - Guarda roda após reforma



Fonte: acervo pessoal.

Figura 129.b – E.A.R – Revestimento tabuleiro



Fonte: acervo pessoal.

Figura 130.b - E.AP.R - Guarda roda após reforma



Fonte: acervo pessoal.

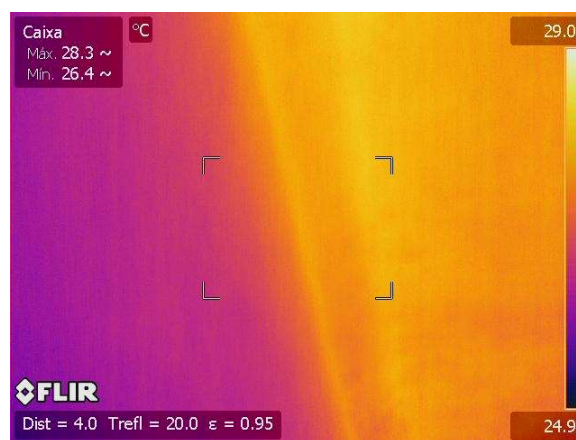
ANEXO E2 – Imagens do viaduto da 209/210 Sul, na cidade de Brasília-DF. Especificações utilizando câmera termográfica para identificação de patologia. Época sem chuva em Brasília, período seco. (TM.P.S).

Figura 131.c – TM.P.S – Termográfica Tabuleiro



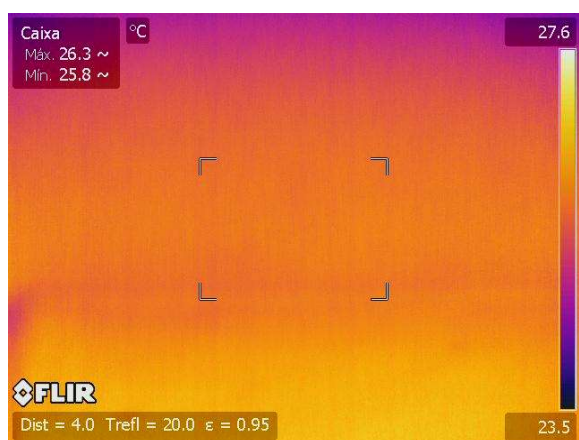
Fonte: acervo pessoal.

Figura 132.c - TM.P.S Termográfica cortina de concreto



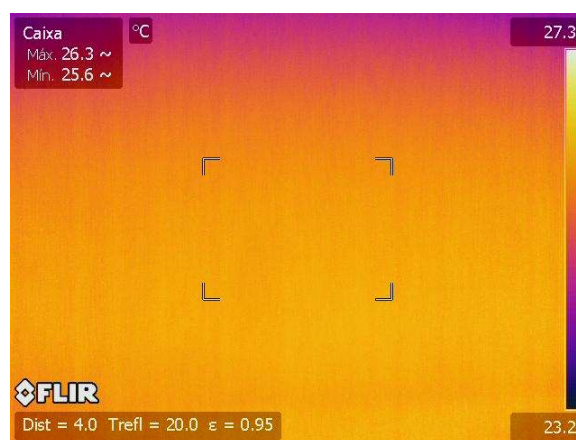
Fonte: acervo pessoal.

Figura 133.c - TM.P.S Termográfica junta da cortina



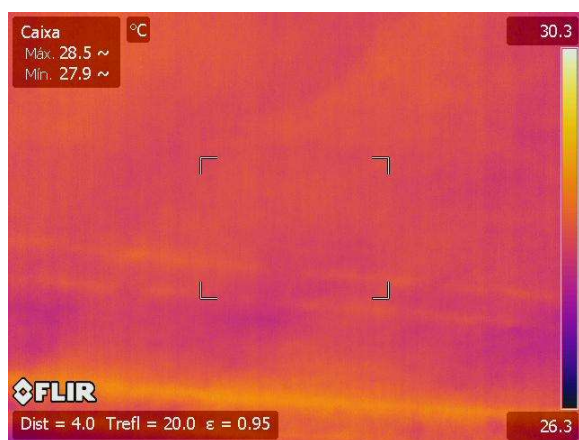
Fonte: acervo pessoal.

Figura 134.c – TM.P.S Termograma do Guarda roda



Fonte: acervo pessoal.

Figura 135.c - TM.P.S - Termográfica laje



Fonte: acervo pessoal.

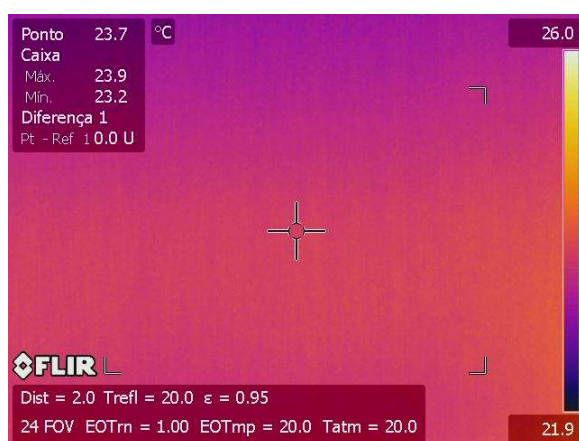
Figura 136.c – TM.P.S Termograma do Guarda roda



Fonte: acervo pessoal.

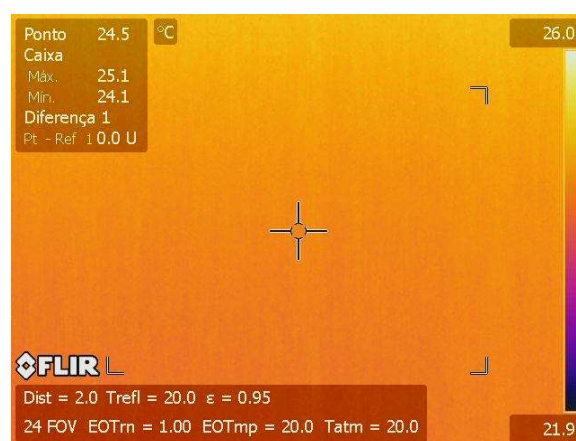
ANEXO E3 – Imagens do Viaduto da 209/210 Sul, na cidade de Brasília-DF. Especificações utilizando câmera termográfica para identificação de patologia. Época com período de chuva em Brasília, período úmido. (TM.P.U).

Figura 137.d – TM.P.U - Termográfica tabuleiro



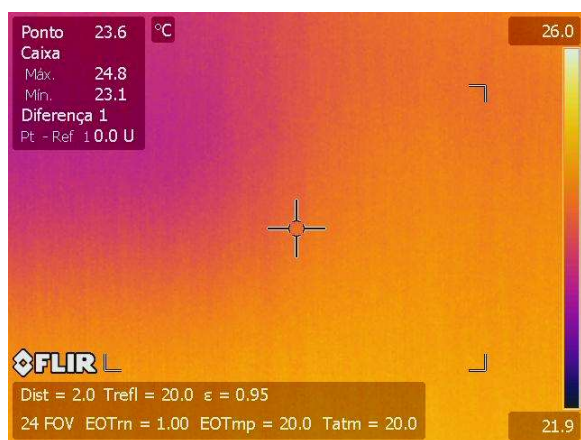
Fonte: acervo pessoal.

Figura 138.d - TM.P.U Termográfica cortina de concreto



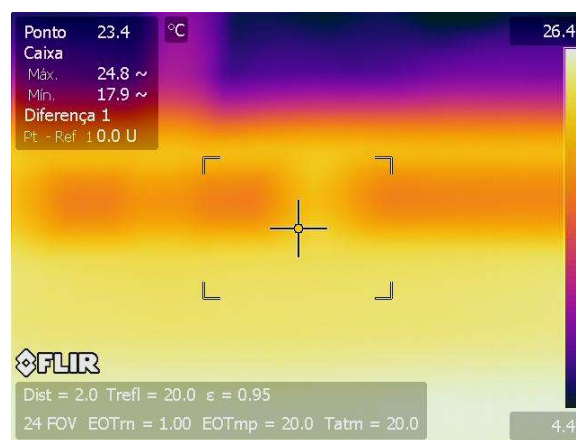
Fonte: acervo pessoal.

Figura 139.d - TM.P.U Termográfica junta da cortina



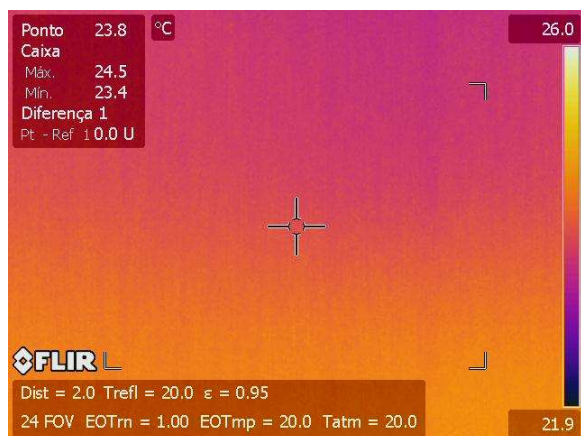
Fonte: acervo pessoal.

Figura 140.d – TM.P.U Termograma do Guarda roda



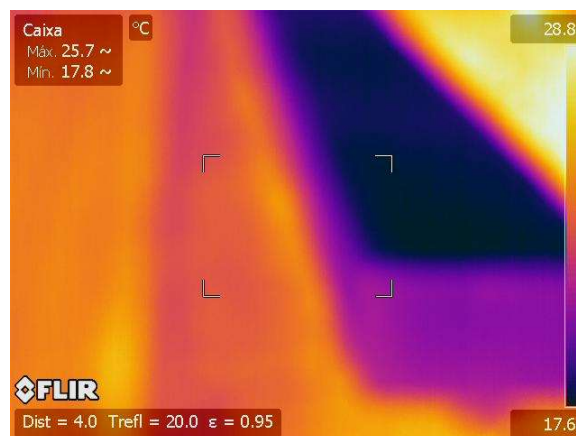
Fonte: acervo pessoal.

Figura 141.d – TM.P.U Termograma da laje



Fonte: acervo pessoal.

Figura 142.d – TM.P.U Termograma do Guarda roda



Fonte: acervo pessoal.

Anexo F – Imagens do Viaduto da 211/212 Sul, na cidade de Brasília – DF. Especificações antes da Recuperação. (E.A.R).

Figura 143.a Viaduto 211/212 Sul



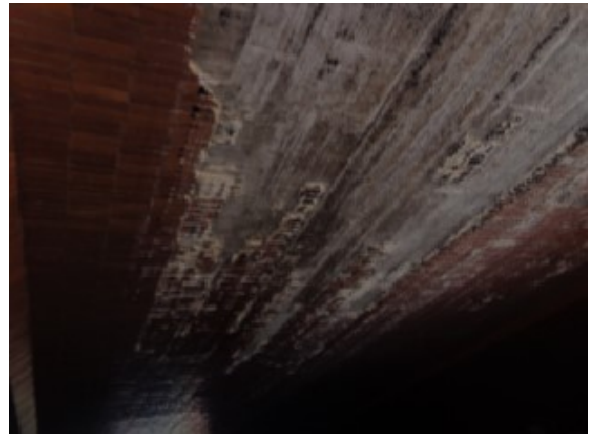
Fonte: acervo Novacap.

Figura 144.a - E.A.R Revestimento cerâmico



Fonte: acervo Novacap.

Figura 145.a – E.A.R – Revestimento deslocando



Fonte: acervo Novacap.

Figura 146.a - E.A.R - cortina de concreto



Fonte: acervo Novacap.

Figura 147.a - E.A.R - Guarda Roda Danificado



Fonte: acervo Novacap.

Anexo F1 – Imagens do Viaduto da 211/212 Sul, na cidade de Brasília – DF. Especificações após a reforma. (E.A.P.R).

Figura 148.b - E.A.P.R



Fonte: acervo pessoal.

Figura 149.b – E.AP.R Junta da cortina de concreto



Fonte: acervo pessoal.

Figura 150.b – E.AP.R Cortina de Concreto



Fonte: acervo pessoal.

Figura 151.b – E.A.R – Revestimento tabuleiro



Fonte: acervo pessoal.

Figura 152.b - E.AP.R - Guarda roda após reforma



Fonte: acervo pessoal.

Figura 153.b – E.A.P.R Junta da Cortina de concreto



Fonte: acervo pessoal.

Figura 154.b - E.A.P.R - Guarda roda após reforma



Fonte: acervo pessoal.

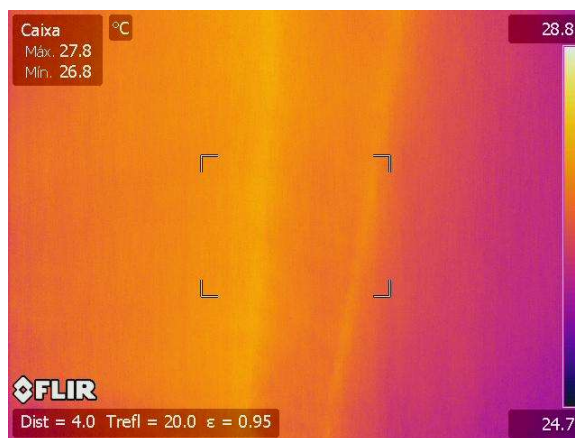
ANEXO F2 – Imagens do viaduto da 211/212 Sul, na cidade de Brasília-DF. Especificações utilizando câmera termográfica para identificação de patologia. Época sem chuva em Brasília, período seco. (TM.P.S).

Figura 155.c – TM.P.S - Termográfica tabuleiro



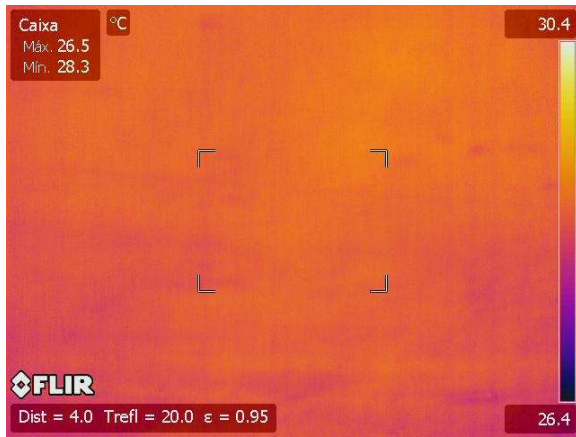
Fonte: acervo pessoal.

Figura 156.c - TM.P.S Termográfica da cortina



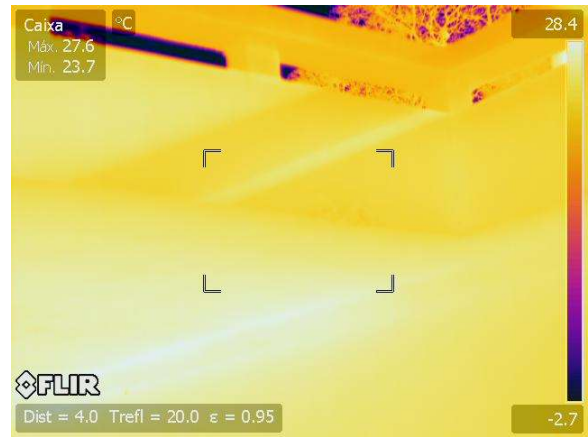
Fonte: acervo pessoal.

Figura 157.c - TM.P.S - Termográfica laje



Fonte: acervo pessoal.

Figura 158.c – TM.P.S Termograma do Guarda roda



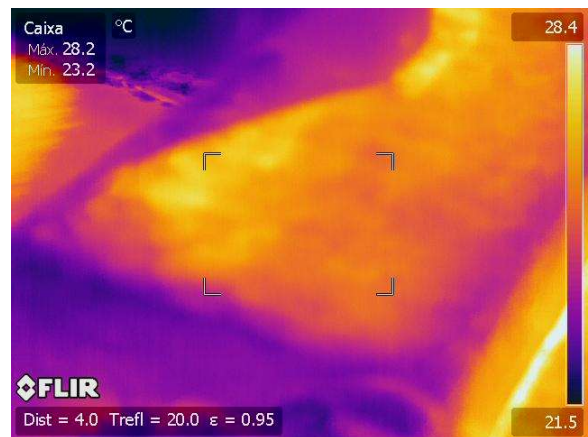
Fonte: acervo pessoal.

Figura 159.c – TM.P.S Cortina de concreto



Fonte: acervo pessoal.

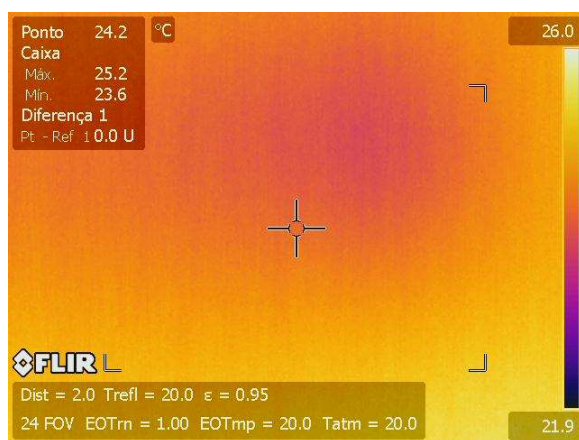
Figura 160.c – TM.P.S Termograma do Guarda roda



Fonte: acervo pessoal.

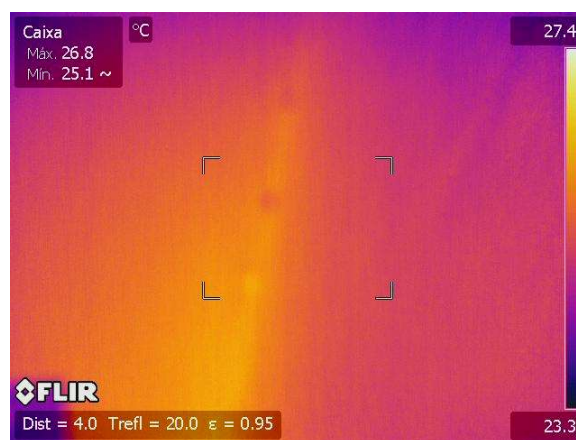
ANEXO F3 – Imagens do Viaduto da 211/212 Sul, na cidade de Brasília-DF. Especificações utilizando câmera termográfica para identificação de patologia. Época com período de chuva em Brasília, período úmido. (TM.P.U).

Figura 161.d – TM.P.U - Termográfica tabuleiro



Fonte: acervo pessoal.

Figura 162.d - TM.P.U Termográfica da cortina



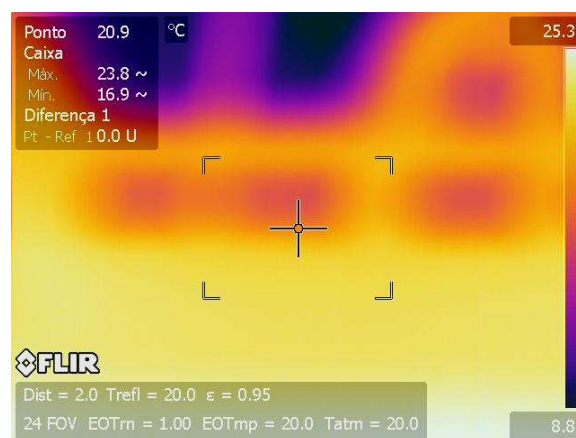
Fonte: acervo pessoal.

Figura 163.d - TM.P.U - Termográfica laje



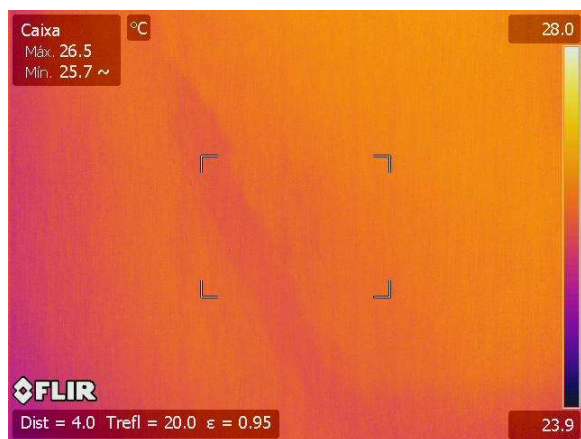
Fonte: acervo pessoal.

Figura 164.d – TM.P.U Termograma do Guarda roda



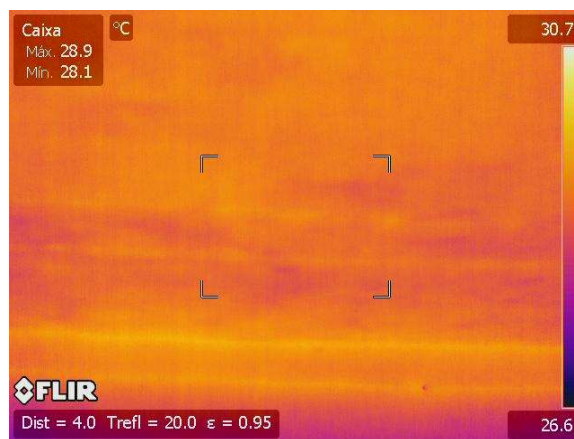
Fonte: acervo pessoal.

Figura 165.d – TM.P.U Junta da cortina de concreto



Fonte: acervo pessoal.

Figura 166.d – TM.P.U Termograma do Guarda roda



Fonte: acervo pessoal.

Anexo G – Imagens do Viaduto da 213/214 Sul, na cidade de Brasília – DF. Especificações antes da Recuperação. (E.A.R).

Figura 167.a Viaduto 213/214 Sul



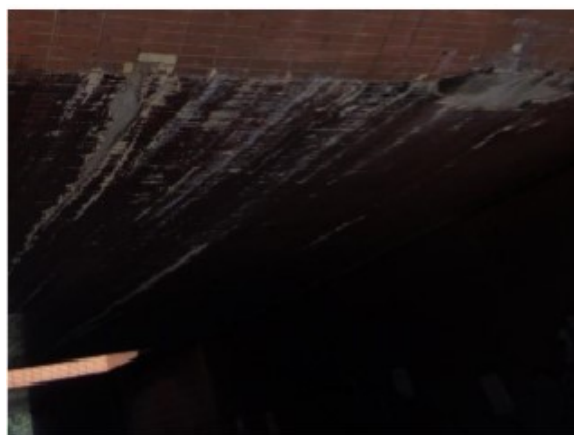
Fonte: acervo Novacap.

Figura 168.a - E.A.R Revestimento cerâmico



Fonte: acervo Novacap.

Figura 169.a – E.A.R – Revestimento deslocando



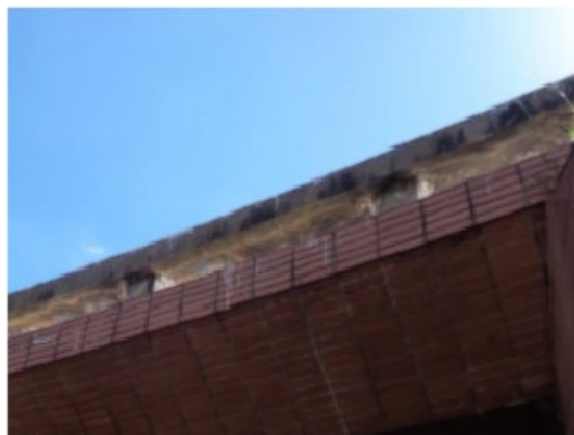
Fonte: acervo Novacap.

Figura 170.a - E.A.R - laje



Fonte: acervo Novacap.

Figura 171.a - E.A.R - Guarda Roda Danificado



Fonte: acervo Novacap.

Anexo G1 – Imagens do Viaduto da 213/214 Sul, na cidade de Brasília – DF. Especificações após a reforma. (E.A.P.R).

Figura 172.b - E.AP.R



Fonte: acervo pessoal.

Figura 173.b - E.AP.R - Tabuleiro após reforma



Fonte: acervo pessoal.

Figura 174.b – E.AP.R Cortina de Concreto



Fonte: acervo pessoal.

Figura 175.b – E.AP.R Junta da cortina de concreto



Fonte: acervo pessoal.

Figura 176.b - E.AP.R - Guarda roda após reforma



Fonte: acervo pessoal.

Figura 177.b - E.AP.R - Guarda roda após reforma



Fonte: acervo pessoal.

Figura 178.b – E.A.R – Revestimento tabuleiro



Fonte: acervo pessoal.

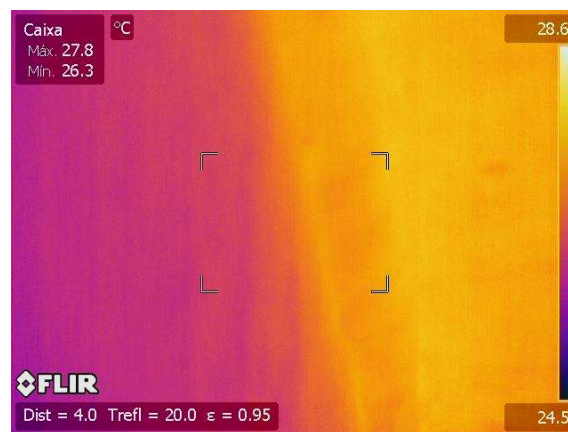
ANEXO G2 – Imagens do viaduto da 213/214 Sul, na cidade de Brasília-DF. Especificações utilizando câmera termográfica para identificação de patologia. Época sem chuva em Brasília, período seco. (TM.P.S).

Figura 179.c - TM.P.S - Termográfica laje



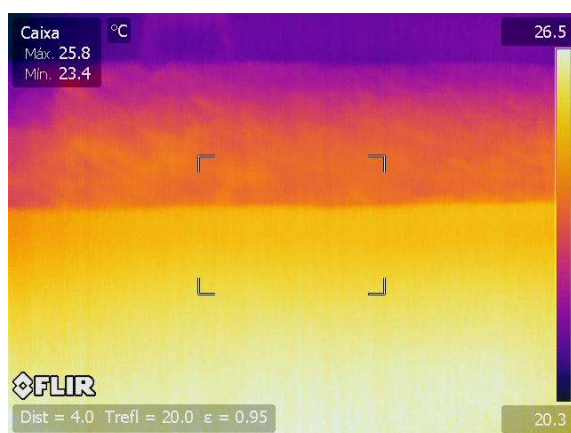
Fonte: acervo pessoal.

Figura 180.c - TM.P.S Termográfica da cortina



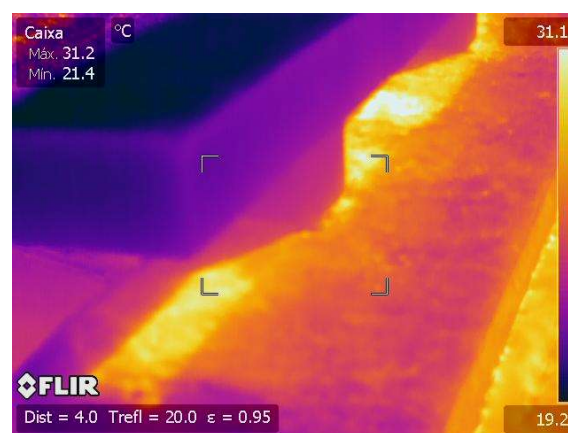
Fonte: acervo pessoal.

Figura 181.c - TM.P.S Termográfica junta da cortina



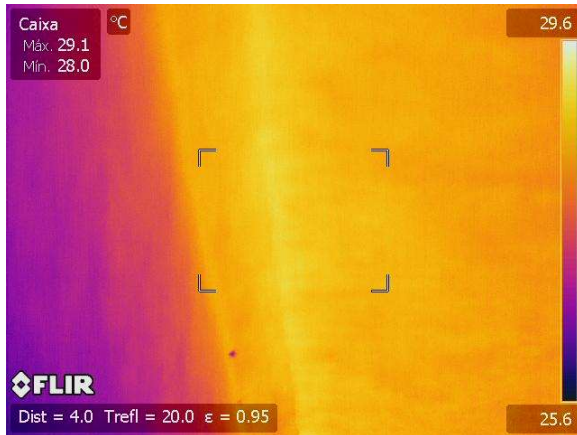
Fonte: acervo pessoal.

Figura 182.c - TM.P.S Termograma do Guarda roda



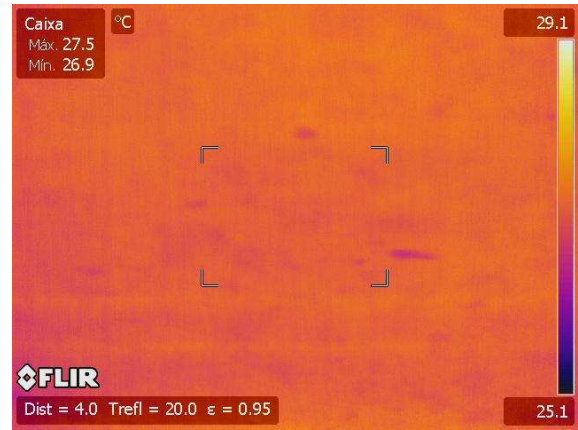
Fonte: acervo pessoal.

Figura 183.c – TM.P.S Cortina de concreto



Fonte: acervo pessoal.

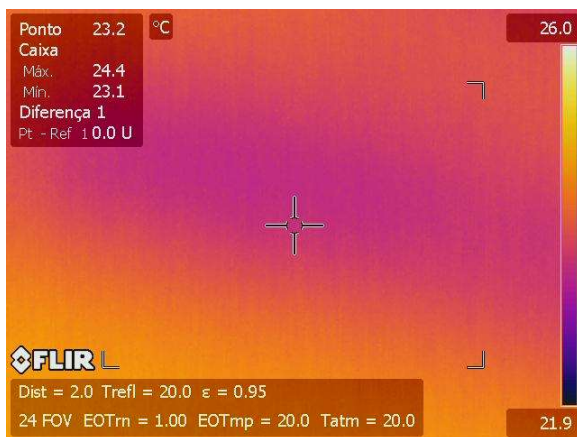
Figura 184.c - TM.P.S - Termográfica laje



Fonte: acervo pessoal.

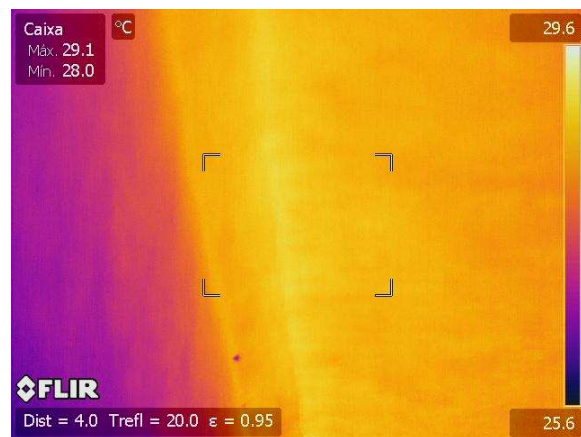
ANEXO G3 – Imagens do Viaduto da 213/214 Sul, na cidade de Brasília-DF. Especificações utilizando câmera termográfica para identificação de patologia. Época com período de chuva em Brasília, período úmido. (TM.P.U).

Figura 185.d - TM.P.U - Termográfica laje



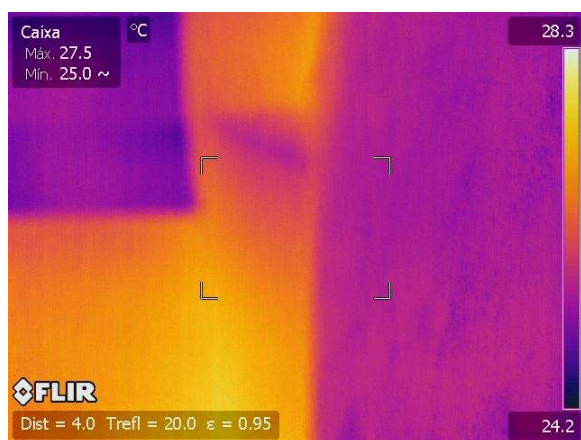
Fonte: acervo pessoal.

Figura 186.d - TM.P.U Termográfica da cortina



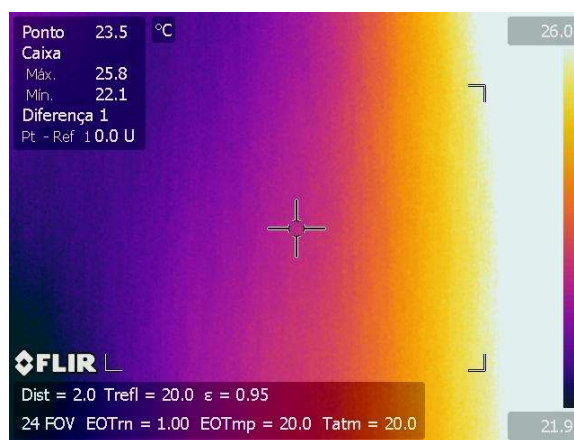
Fonte: acervo pessoal.

Figura 187.d - TM.P.U Termográfica junta da cortina



Fonte: acervo pessoal.

Figura 188.d – TM.P.U Termograma do Guarda roda



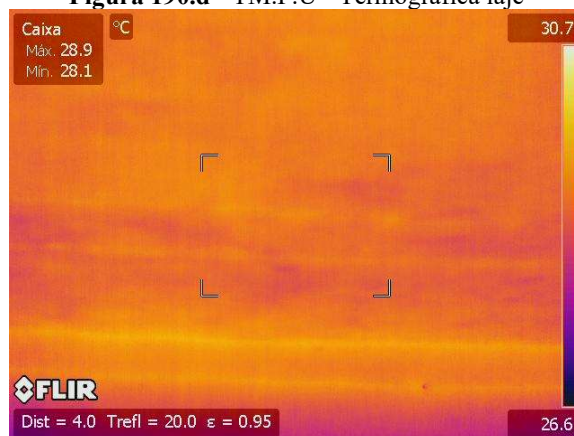
Fonte: acervo pessoal.

Figura 189.d – TM.P.U Cortina de concreto



Fonte: acervo pessoal.

Figura 190.d - TM.P.U - Termográfica laje



Fonte: acervo pessoal.

Anexo H – Imagens do Viaduto da 215/216 Sul, na cidade de Brasília – DF. Especificações antes da Recuperação. (E.A.R).

Figura 191.a Viaduto 215/216 Sul



Fonte: acervo Novacap.

Figura 192.a - E.A.R Revestimento cerâmico



Fonte: acervo Novacap.

Figura 193.a - E.A.R - laje



Fonte: acervo Novacap.

Figura 194.a – E.A.R calçada danificada próximo a ponto de drenagem do viaduto



Fonte: acervo Novacap.

Figura 195.a - E.A.R - Guarda Roda Danificado



Fonte: acervo Novacap.

Anexo H1 – Imagens do Viaduto da 215/216 Sul, na cidade de Brasília – DF. Especificações após a reforma. (E.A.P.R).

Figura 196.b - E.A.P.R



Fonte: acervo pessoal.

Figura 197.b - E.A.P.R - Tabuleiro após reforma



Fonte: acervo pessoal.

Figura 198.b - E.A.P.R - laje



Fonte: acervo pessoal.

Figura 199b – E.A.P.R Cortina de Concreto



Fonte: acervo pessoal.

Figura 200.b – E.A.R – Revestimento tabuleiro



Fonte: acervo pessoal.

Figura 201.b – E.A.P.R Junta da cortina de concreto



Fonte: acervo pessoal.

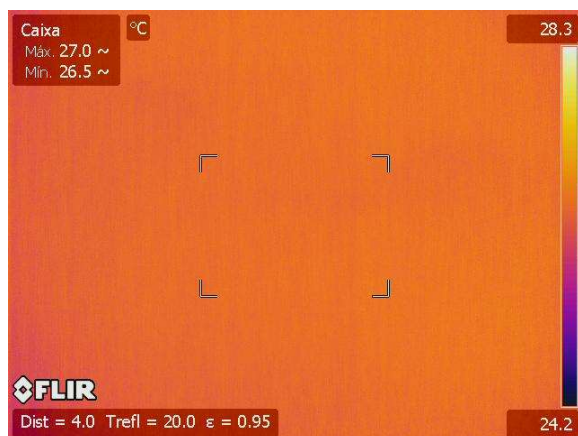
Figura 202.b - E.A.P.R - Guarda roda após reforma



Fonte: acervo pessoal.

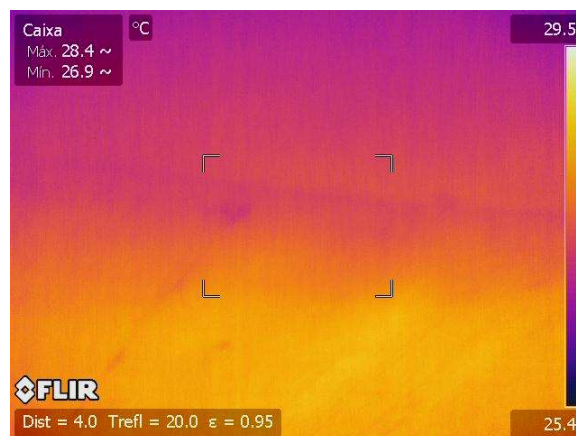
ANEXO H2 – Imagens do viaduto da 215/216 Sul, na cidade de Brasília-DF. Especificações utilizando câmera termográfica para identificação de patologia. Época sem chuva em Brasília, período seco. (TM.P.S).

Figura 203.c - TM.P.S - Termográfica Tabuleiro



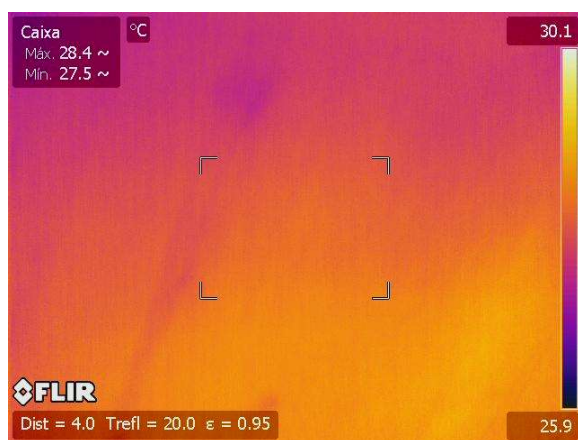
Fonte: acervo pessoal.

Figura 204.c - TM.P.S - Termográfica laje



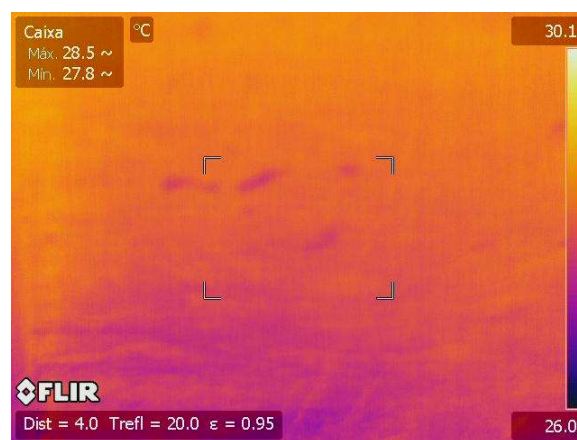
Fonte: acervo pessoal.

Figura 205.c - TM.P.S Termográfica da cortina



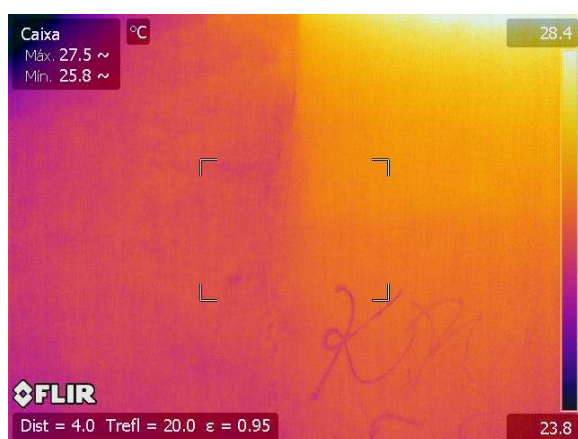
Fonte: acervo pessoal.

Figura 206.c - TM.P.S - Termográfica laje



Fonte: acervo pessoal.

Figura 207.c - TM.P.S Termográfica junta da cortina



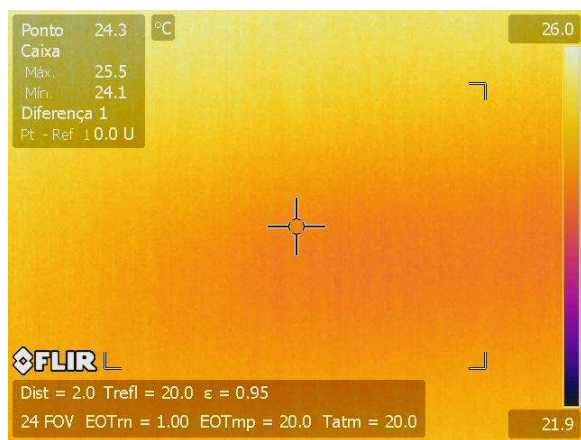
Fonte: acervo pessoal.

Figura 208.c - TM.P.S Termograma do Guarda roda

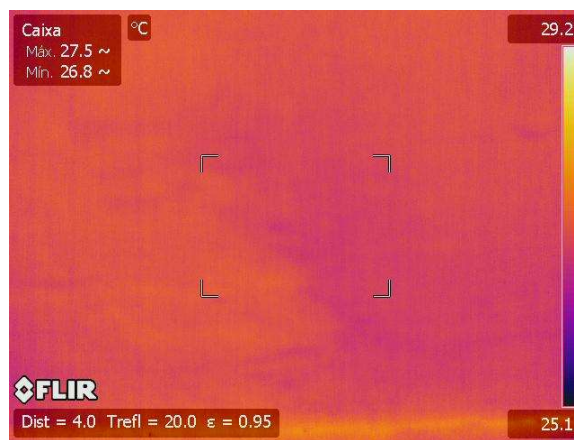


Fonte: acervo pessoal.

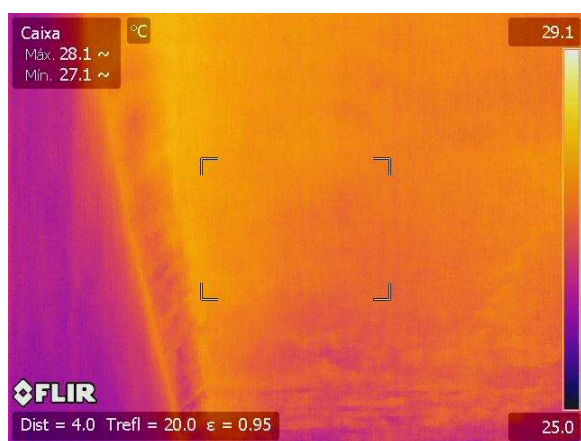
ANEXO H3 – Imagens do Viaduto da 215/216 Sul, na cidade de Brasília-DF. Especificações utilizando câmera termográfica para identificação de patologia. Época com período de chuva em Brasília, período úmido. (TM.P.U).

Figura 209.d - TM.P.U - Termográfica Tabuleiro

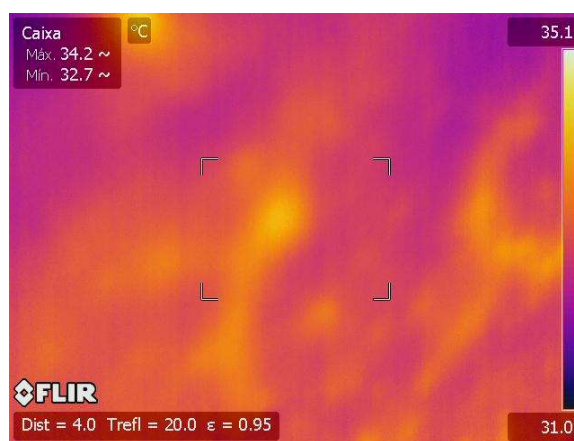
Fonte: acervo pessoal.

Figura 210.d - TM.P.U - Termográfica laje

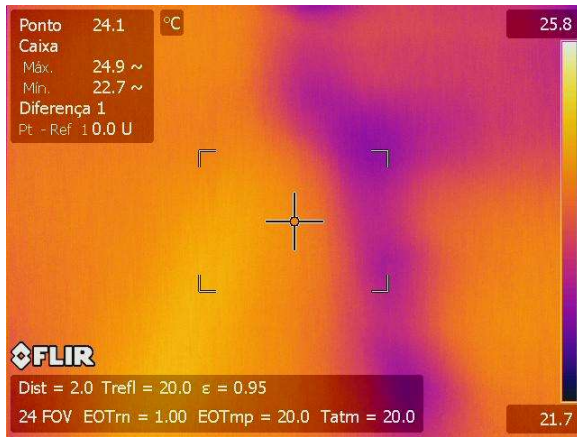
Fonte: acervo pessoal.

Figura 211.d - TM.P.U Termográfica da cortina

Fonte: acervo pessoal.

Figura 212.d - TM.P.U - Termográfica laje

Fonte: acervo pessoal.

Figura 213.d - TM.P.U Termográfica junta da cortina

Fonte: acervo pessoal.

Figura 214.d – TM.P.U Termograma do Guarda roda

Fonte: acervo pessoal.

Anexo I – Imagens do Viaduto da 201/202 Norte, na cidade de Brasília – DF. Especificações antes da Recuperação. (E.A.R).

Figura 215.a Viaduto 201/202 Norte

Fonte: acervo Novacap.

Figura 216.a - E.A.R Revestimento cerâmico



Fonte: acervo Novacap.

Figura 217.a - E.A.R Revestimento cerâmico



Fonte: acervo Novacap.

Figura 218.a - E.A.R - laje



Fonte: acervo Novacap.

Figura 219.a - E.A.R - Guarda Roda Danificado



Fonte: acervo Novacap.

Anexo II – Imagens do Viaduto da 201/202 Norte, na cidade de Brasília – DF. Especificações após a reforma. (E.A.P.R).

Figura 220.b - E.AP.R



Fonte: acervo pessoal.

Figura 221.b - E.AP.R - Tabuleiro após reforma



Fonte: acervo pessoal.

Figura 222.b – E.AP.R Junta da cortina de concreto



Fonte: acervo pessoal.

Figura 223.b – E.A.P.R Cortina de Concreto



Fonte: acervo pessoal.

Figura 224.b – E.A.R – Revestimento tabuleiro



Fonte: acervo pessoal.

Figura 225.b - E.A.P.R - laje



Fonte: acervo pessoal.

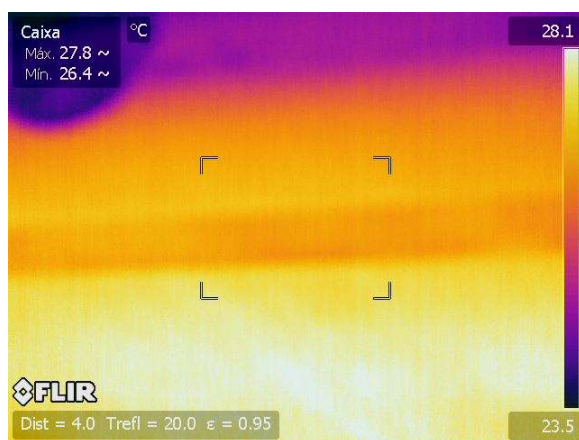
Figura 226.b – E.A.R – Revestimento tabuleiro



Fonte: acervo pessoal.

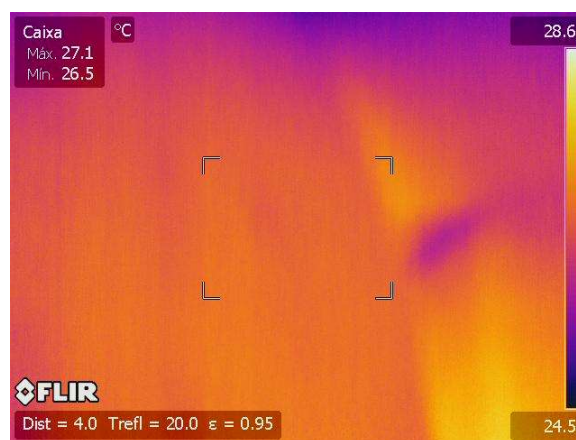
ANEXO I2– Imagens do viaduto da 201/202 Norte, na cidade de Brasília-DF. Especificações utilizando câmera termográfica para identificação de patologia. Época sem chuva em Brasília, período seco. (TM.P.S).

Figura 227.c - TM.P.S - Termográfica Tabuleiro



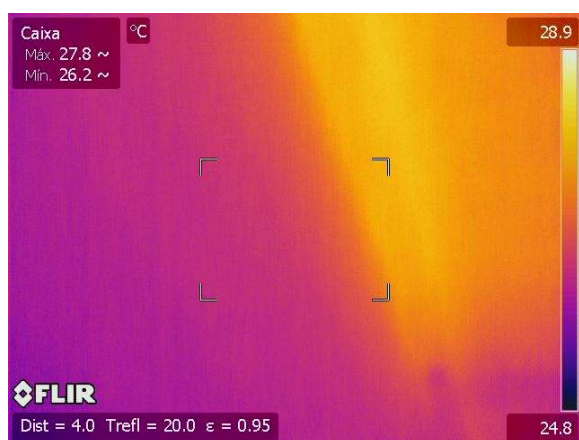
Fonte: acervo pessoal.

Figura 228.c - TM.P.S - Termográfica junta da cortina



Fonte: acervo pessoal.

Figura 229.c - TM.P.S Termográfica junta



Fonte: acervo pessoal.

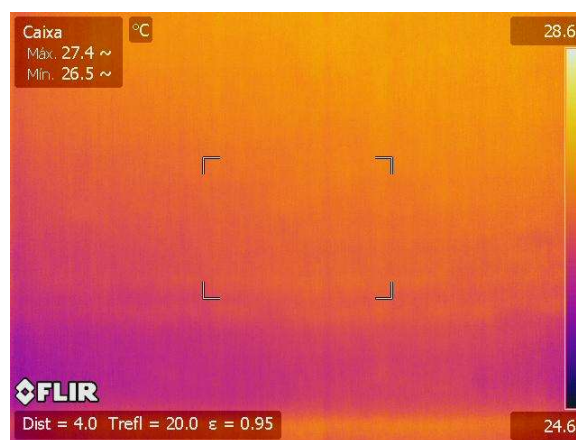
Figura 230.c - TM.P.S - Termográfica Tabuleiro



Fonte: acervo pessoal.

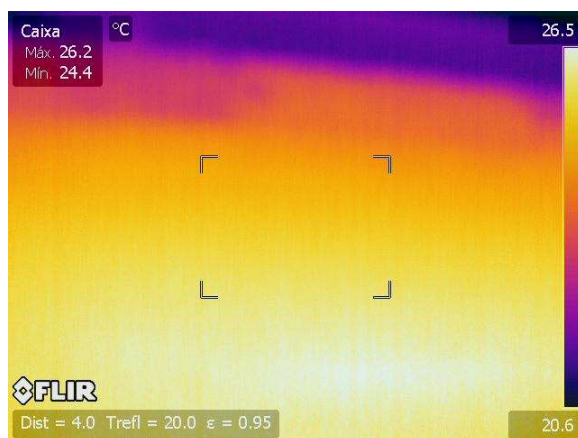
Figura 231.c - TM.P.S - Termográfica laje

Fonte: acervo pessoal.

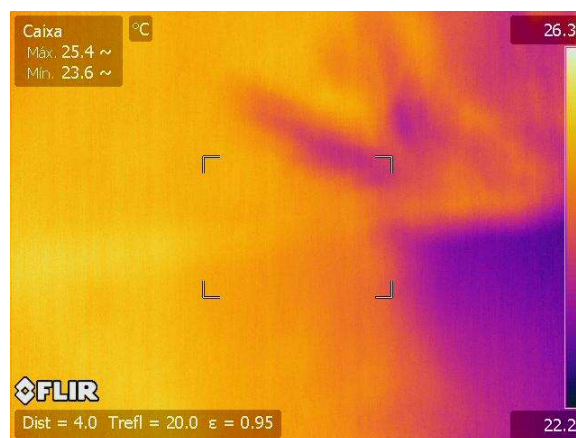
Figura 232.c - TM.P.S - Termográfica Tabuleiro

Fonte: acervo pessoal.

ANEXO I3 – Imagens do Viaduto da 201/202 Norte, na cidade de Brasília-DF. Especificações utilizando câmera termográfica para identificação de patologia. Época com período de chuva em Brasília, período úmido. (TM.P.U).

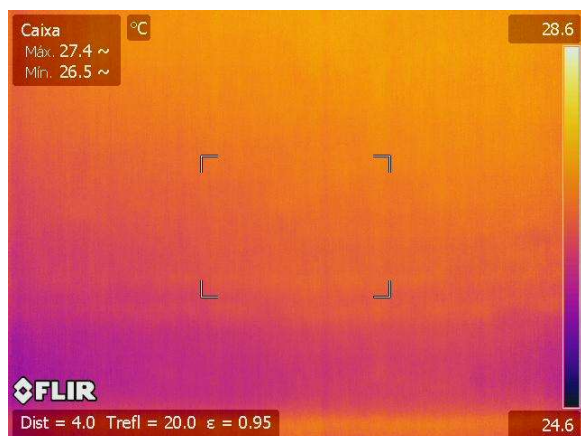
Figura 233.d - TM.P.U - Termográfica Tabuleiro

Fonte: acervo pessoal.

Figura 234.d - TM.P.U - Termográfica junta da cortina

Fonte: acervo pessoal.

Figura 235.d - TM.P.U Termográfica junta



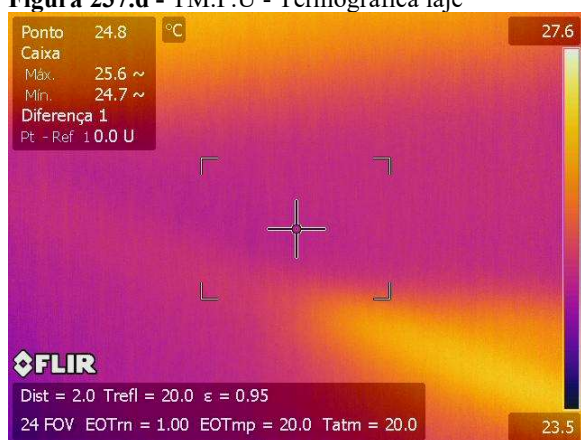
Fonte: acervo pessoal.

Figura 236.d - TM.P.U - Termográfica Tabuleiro



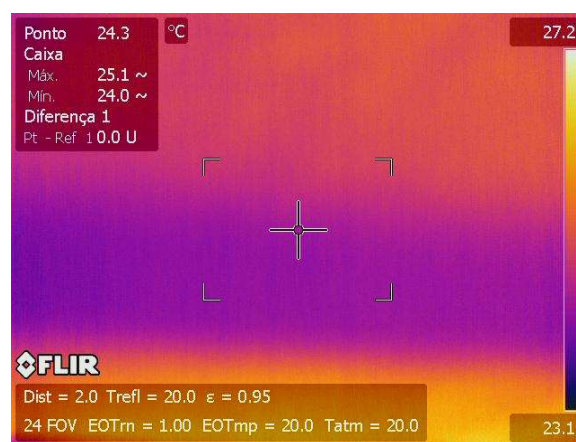
Fonte: acervo pessoal.

Figura 237.d - TM.P.U - Termográfica laje



Fonte: acervo pessoal.

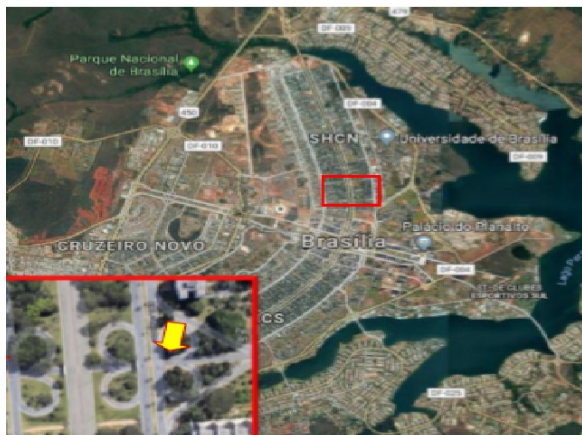
Figura 238.d - TM.P.U - Termográfica Tabuleiro



Fonte: acervo pessoal.

Anexo J – Imagens do Viaduto da 203/204 Norte, na cidade de Brasília – DF. Especificações antes da Recuperação. (E.A.R).

Figura 239.a Viaduto 203/204 Norte



Fonte: acervo Novacap.

Figura 240.a - E.A.R Exposição e corrosão da armadura



Fonte: acervo Novacap.

Figura 241.a - E.A.R Fissura na laje do viaduto



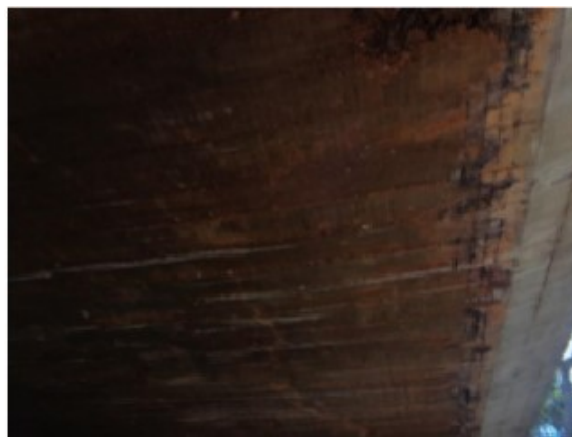
Fonte: acervo Novacap.

Figura 242.a - E.A.R Exposição e corrosão de armadura



Fonte: acervo Novacap.

Figura 243.a - E.A.R Armadura exposta em encabeçamento no viaduto



Fonte: acervo Novacap.

Anexo J1 – Imagens do Viaduto da 203/204 Norte, na cidade de Brasília – DF. Especificações após a reforma. (E.AP.R).

Figura 244.b - E.AP.R



Fonte: acervo pessoal.

Figura 245.b - E.AP.R - Tabuleiro após reforma



Fonte: acervo pessoal.

Figura 246.b – E.AP.R Junta da cortina de concreto



Fonte: acervo pessoal.

Figura 247.b – E.AP.R Cortina de Concreto



Fonte: acervo pessoal.

Figura 248.b - E.AP.R - laje



Fonte: acervo pessoal.

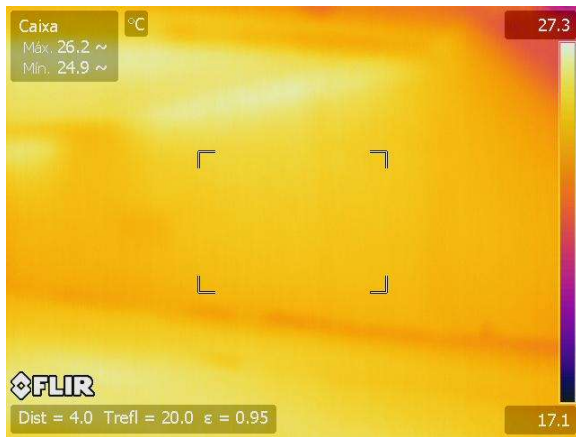
Figura 249.b – E.A.P.R Passagem de pedestre

Fonte: acervo pessoal.

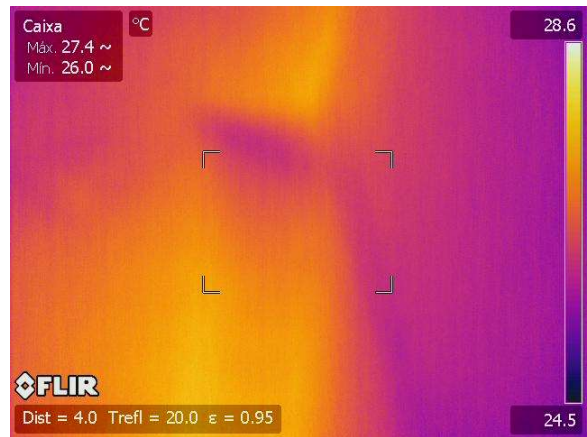
Figura 250.b - E.A.P.R - Guarda roda após reforma

Fonte: acervo pessoal.

ANEXO J2– Imagens do viaduto da 203/204 Norte, na cidade de Brasília-DF. Especificações utilizando câmera termográfica para identificação de patologia. Época sem chuva em Brasília, período seco. (TM.P.S).

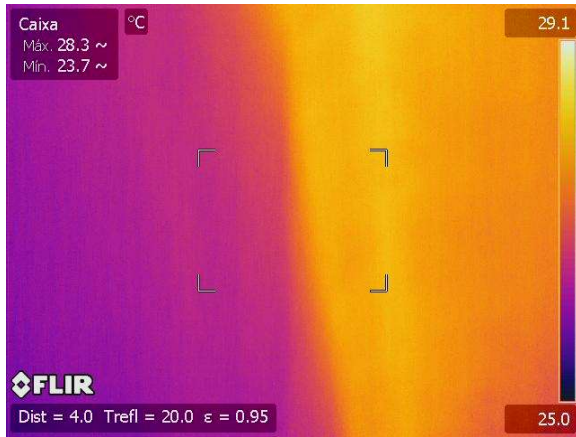
Figura 251.c - TM.P.S - Termográfica Tabuleiro

Fonte: acervo pessoal.

Figura 252.c - TM.P.S - Termográfica junta cortina

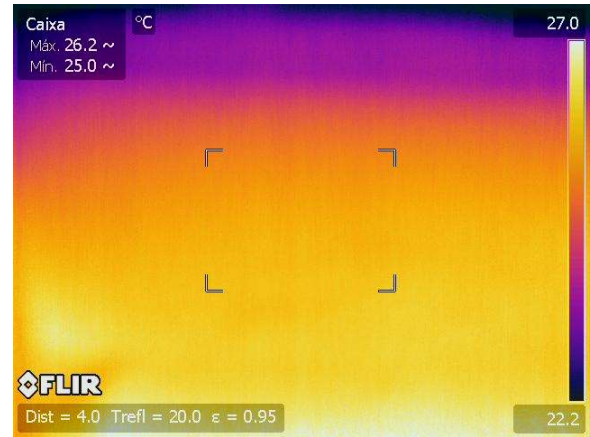
Fonte: acervo pessoal.

Figura 253.c - TM.P.S Termográfica junta



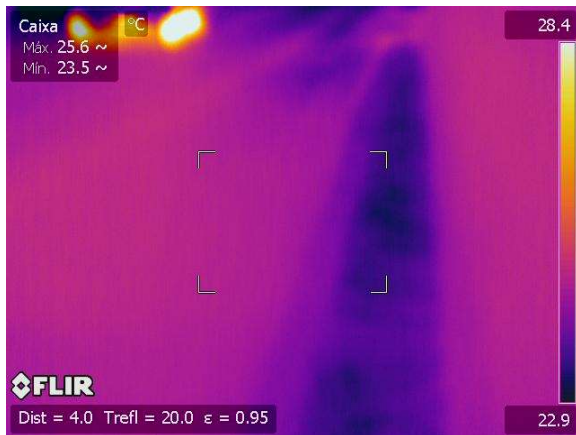
Fonte: acervo pessoal.

Figura 254.c - TM.P.S - Termográfica laje



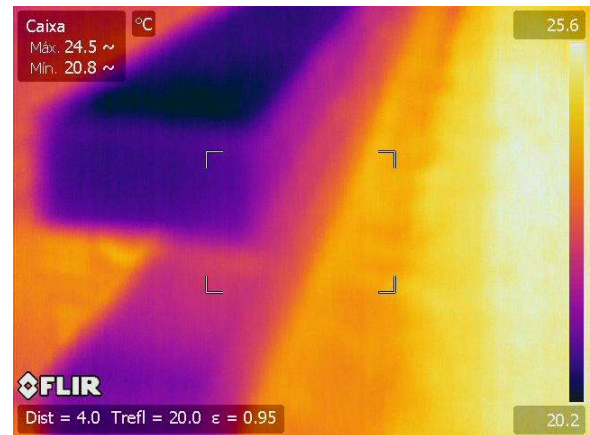
Fonte: acervo pessoal.

Figura 255.c - TM.P.S Termográfica passagem de pedestre



Fonte: acervo pessoal.

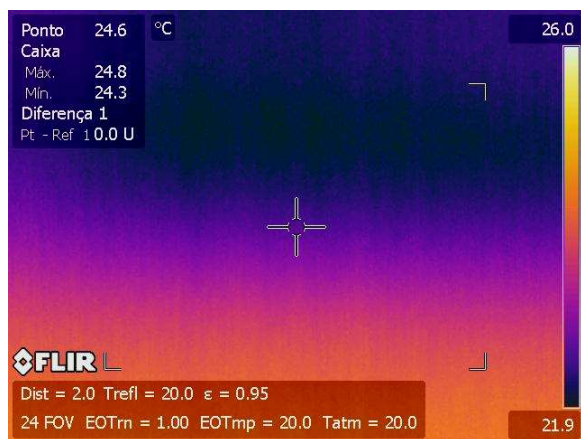
Figura 256.c – TM.P.S Termograma do Guarda roda



Fonte: acervo pessoal.

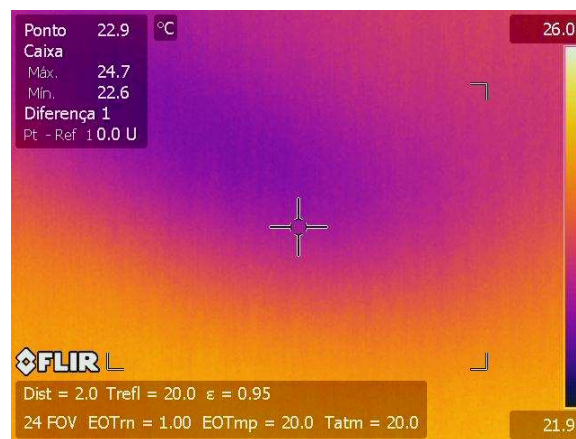
ANEXO J3 – Imagens do Viaduto da 203/204 Norte, na cidade de Brasília-DF. Especificações utilizando câmera termográfica para identificação de patologia. Época com período de chuva em Brasília, período úmido. (TM.P.U).

Figura 257.d - TM.P.U - Termográfica Tabuleiro



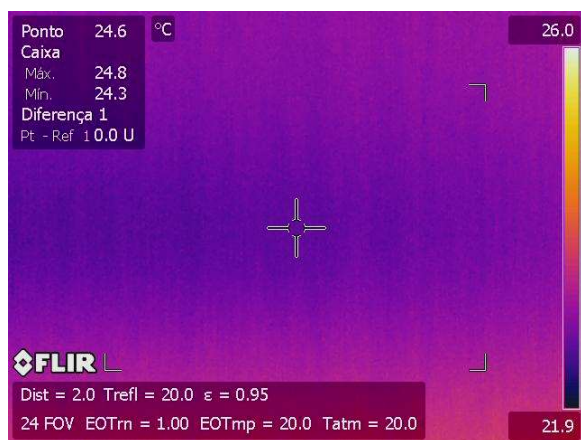
Fonte: acervo pessoal.

Figura 258.d - TM.P.U - Termográfica junta cortina



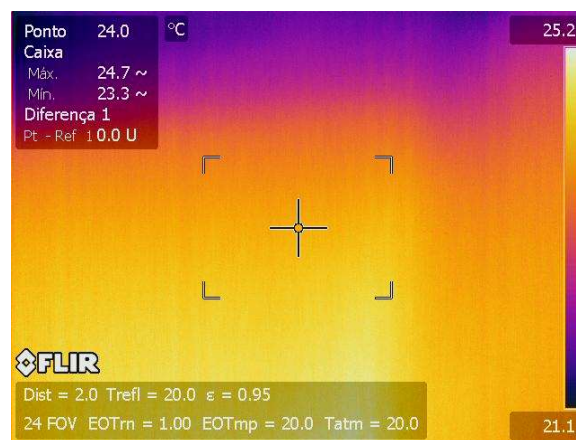
Fonte: acervo pessoal.

Figura 259.d - TM.P.U Termográfica junta



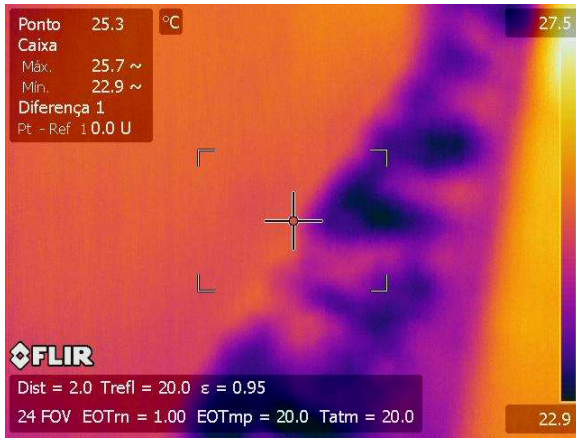
Fonte: acervo pessoal.

Figura 260.d - TM.P.U - Termográfica laje



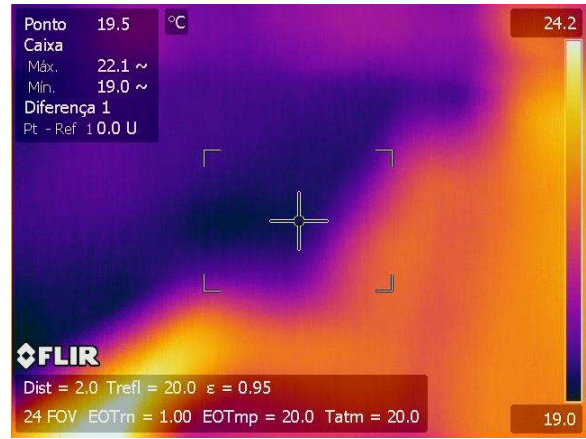
Fonte: acervo pessoal.

Figura 261 - TM.P.U Termográfica passagem de pedestre



Fonte: acervo pessoal.

Figura 262.d – TM.P.U Termograma do Guarda roda



Fonte: acervo pessoal.

Anexo K – Imagens do Viaduto da 205/206 Norte, na cidade de Brasília – DF. Especificações antes da Recuperação. (E.A.R).

Figura 263.a Viaduto 205/206 Norte



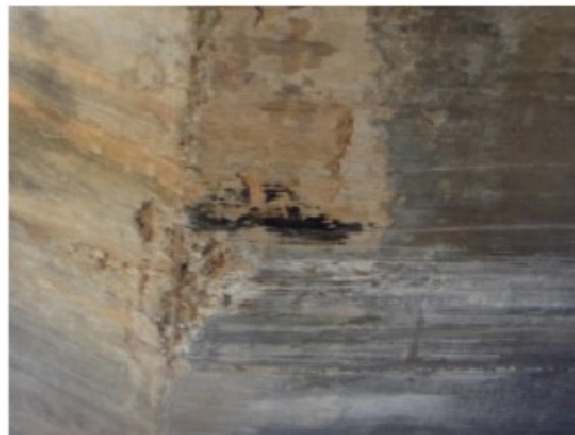
Fonte: acervo Novacap.

Figura 264.a - E.A.R Guarda roda danificado



Fonte: acervo Novacap.

Figura 265.a - E.A.R Armadura exposta no encabeçamento do viaduto



Fonte: acervo Novacap.

Figura 266.a - E.A.R Encabeçamento do viaduto



Fonte: acervo Novacap.

Figura 267.a - E.A.R Guarda roda



Fonte: acervo Novacap.

Anexo K1 – Imagens do Viaduto da 205/206 Norte, na cidade de Brasília – DF. Especificações após a reforma. (E.A.P.R).

Figura 268.b - E.AP.R



Fonte: acervo pessoal.

Figura 269.b – E.AP. R Encabeçamento do viaduto



Fonte: acervo pessoal.

Figura 270.b – E.AP.R – Revestimento tabuleiro



Fonte: acervo pessoal.

Figura 271.b – E.A.P.R Cortina de concreto



Fonte: acervo pessoal.

Figura 272.b - E.A.P.R - Guarda roda após reforma



Fonte: acervo pessoal.

Figura 273.b – E.A.P.R – Revestimento laje



Fonte: acervo pessoal.

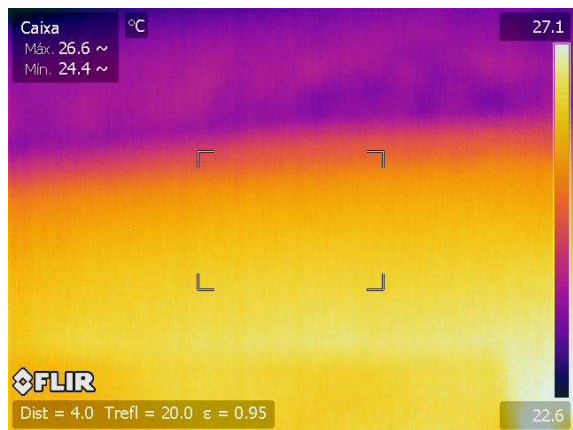
Figura 274.b - E.A.P.R - Guarda roda



Fonte: acervo pessoal.

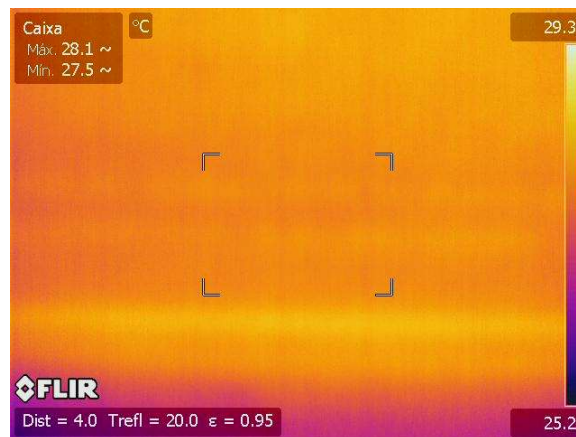
ANEXO K2– Imagens do viaduto da 205/206 Norte, na cidade de Brasília-DF. Especificações utilizando câmera termográfica para identificação de patologia. Época sem chuva em Brasília, período seco. (TM.P.S).

Figura 275.c - TM.P.S - Termográfica encabeçamento do viaduto



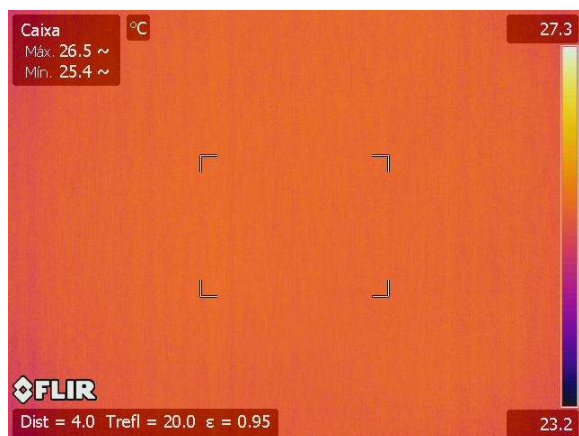
Fonte: acervo pessoal.

Figura 276.c - TM.P.S - Termográfica tabuleiro



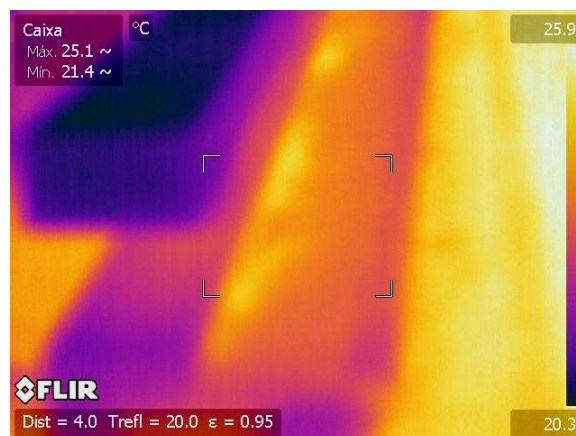
Fonte: acervo pessoal.

Figura 277.c - TM.P.S - Termográfica cortina de concreto



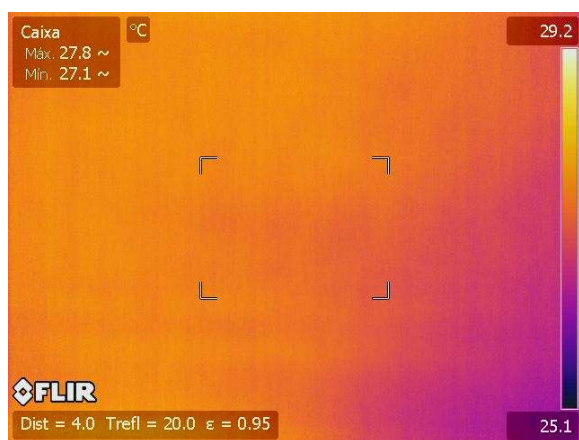
Fonte: acervo pessoal.

Figura 278.c - TM.P.S - Termográfica guarda roda



Fonte: acervo pessoal.

Figura 279.c - TM.P.S - Termográfica tabuleiro



Fonte: acervo pessoal.

Figura 280.c - TM.P.S - Termográfica guarda roda

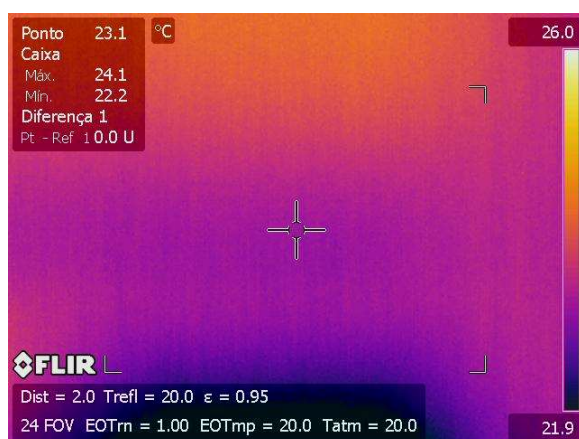


Fonte: acervo pessoal.

ANEXO K3 – Imagens do Viaduto da 205/206 Norte, na cidade de Brasília-DF. Especificações utilizando câmera termográfica para identificação de patologia. Época com período de chuva em Brasília, período úmido. (TM.P.U).

Figura 281.d - TM.P.U - Termográfica encabeçamento

do viaduto



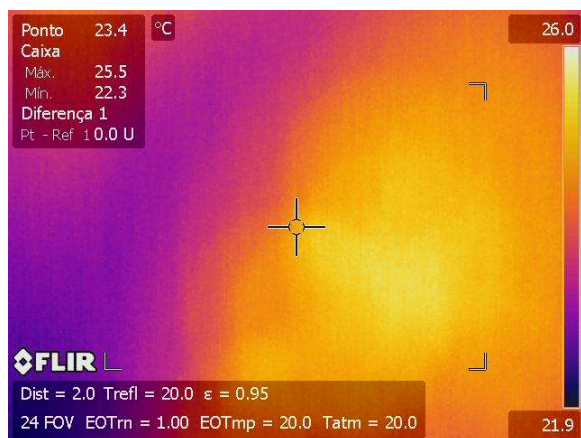
Fonte: acervo pessoal.

Figura 282.d - TM.P.U - Termográfica tabuleiro



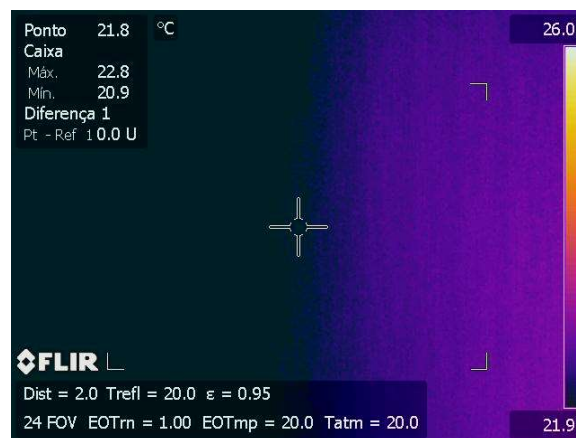
Fonte: acervo pessoal.

Figura 283.d - TM.P.U - Termográfica cortina de concreto



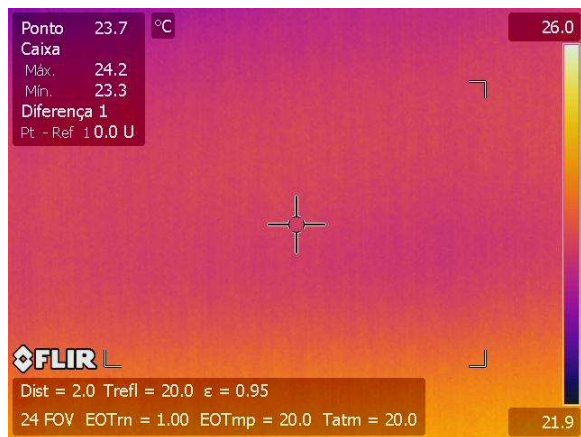
Fonte: acervo pessoal.

Figura 284.d - TM.P.U - Termográfica guarda roda



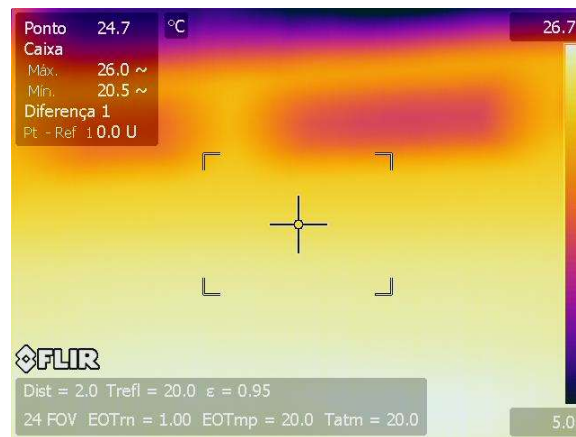
Fonte: acervo pessoal.

Figura 285.d - TM.P.U - Termográfica tabuleiro



Fonte: acervo pessoal.

Figura 286.d - TM.P.U - Termográfica guarda roda



Fonte: acervo pessoal.

Anexo L – Imagens do Viaduto da 207/208 Norte, na cidade de Brasília – DF. Especificações antes da Recuperação. (E.A.R).

Figura 287.a Viaduto 207/208 Norte



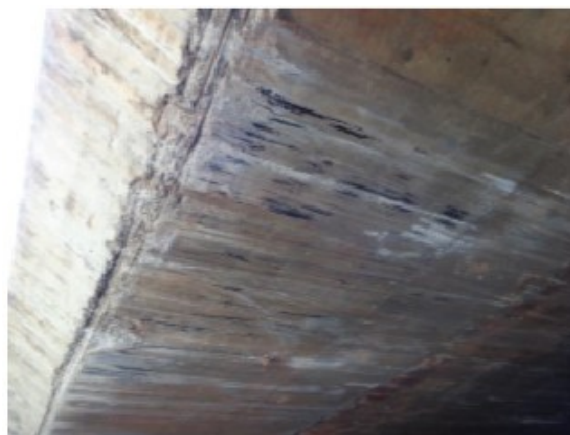
Fonte: acervo Novacap.

Figura 288.a - E.A.R Exposição e corrosão de armadura do viaduto



Fonte: acervo Novacap.

Figura 289.a - E.A.R Armadura exposta em encabeçamento



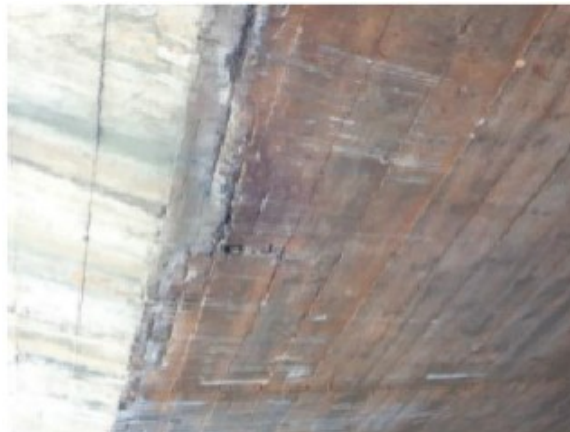
Fonte: acervo Novacap.

Figura 290.a - E.A.R Armadura rompida em encabeçamento do viaduto



Fonte: acervo Novacap.

Figura 291.a - E.A.R Exposição e corrosão de armadura no viaduto



Fonte: acervo Novacap.

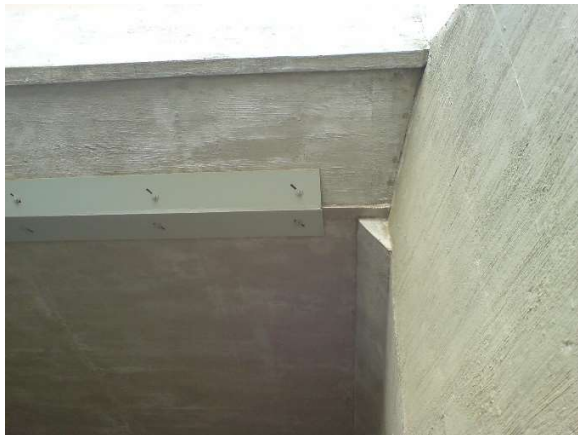
Anexo L1 – Imagens do Viaduto da 207/208 Norte, na cidade de Brasília – DF. Especificações após a reforma. (E.A.P.R).

Figura 292.b - E.A.P.R



Fonte: acervo pessoal.

Figura 293.b – E.AP.R Encabeçamento do viaduto



Fonte: acervo pessoal.

Figura 294.b – E.AP. R Encabeçamento do viaduto



Fonte: acervo pessoal.

Figura 295.b – E.AP. R Cortina de concreto



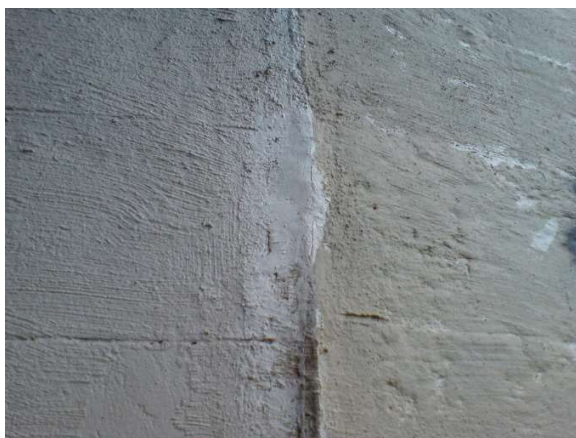
Fonte: acervo pessoal.

Figura 296.b – E.AP. R Tabuleiro



Fonte: acervo pessoal.

Figura 297.b – E.A.P.R Junta da cortina de concreto



Fonte: acervo pessoal.

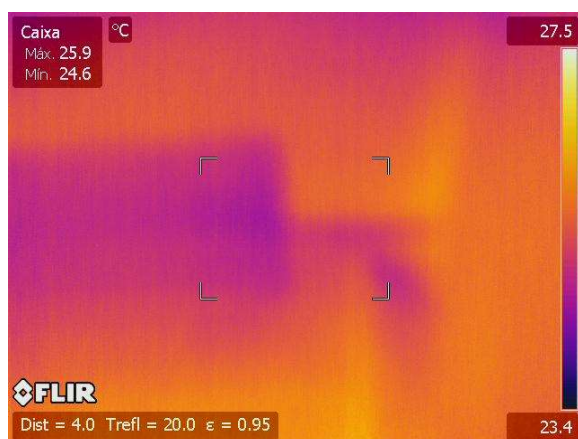
Figura 298.b - E.A.P.R - Guarda roda após reforma



Fonte: acervo pessoal.

ANEXO L2 – Imagens do viaduto da 207/208 Norte, na cidade de Brasília-DF. Especificações utilizando câmera termográfica para identificação de patologia. Época sem chuva em Brasília, período seco. (TM.P.S).

Figura 299.c - TM.P.S - Termográfica encabeçamento do viaduto



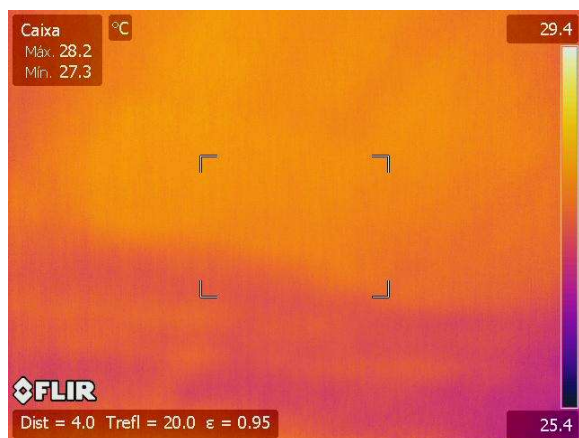
Fonte: acervo pessoal.

Figura 300.c - TM.P.S - Termográfica encabeçamento do viaduto



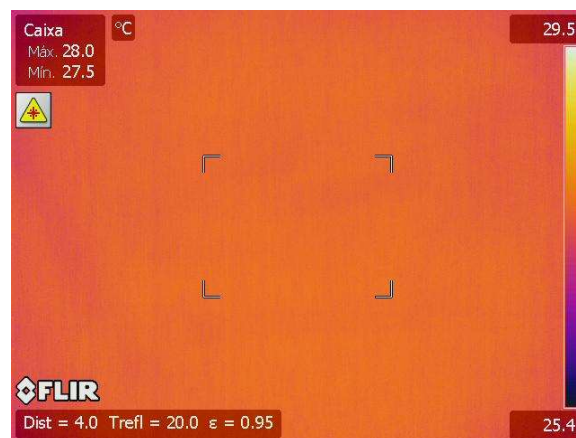
Fonte: acervo pessoal.

Figura 301.c - TM.P.S - Termográfica cortina de concreto



Fonte: acervo pessoal.

Figura 302.c - TM.P.S - Termográfica Tabuleiro



Fonte: acervo pessoal.

Figura 303.c - TM.P.S - Termográfica junta da cortina



Fonte: acervo pessoal.

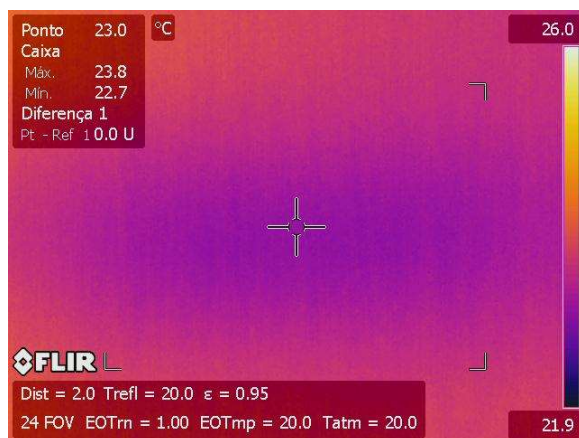
Figura 304.c - TM.P.S - Termográfica Guarda roda



Fonte: acervo pessoal.

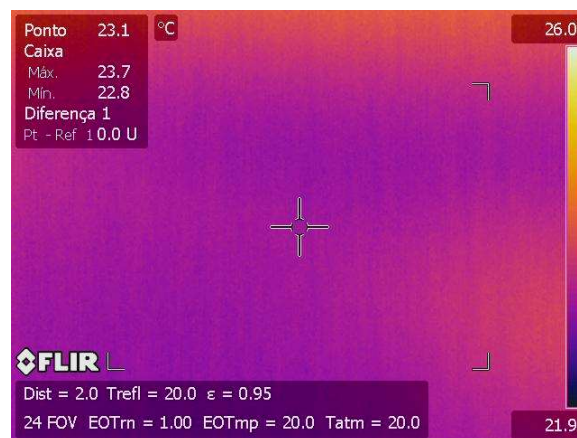
ANEXO L3 – Imagens do Viaduto da 207/208 Norte, na cidade de Brasília-DF. Especificações utilizando câmera termográfica para identificação de patologia. Época com período de chuva em Brasília, período úmido. (TM.P.U).

Figura 305.d - TM.P.U - Termográfica encabeçamento do viaduto



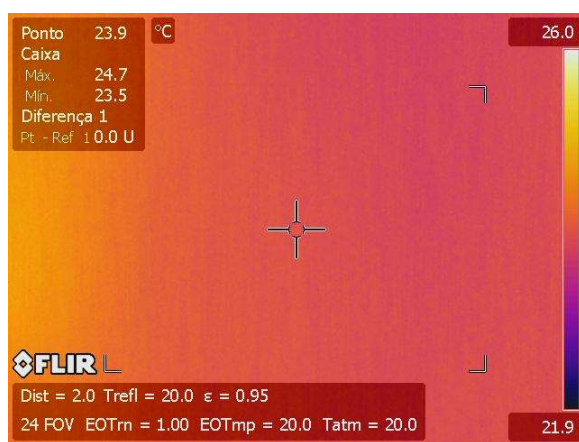
Fonte: acervo pessoal.

Figura 306.d - TM.P.U - Termográfica encabeçamento do viaduto



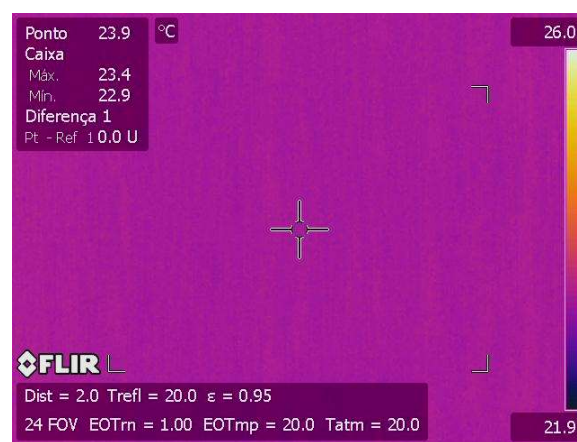
Fonte: acervo pessoal.

Figura 307.d - TM.P.U - Termográfica cortina de concreto



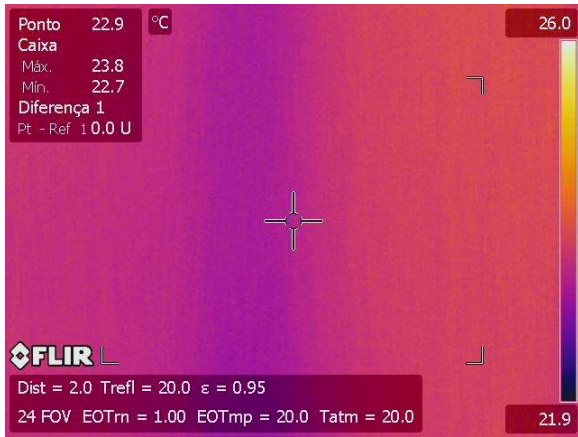
Fonte: acervo pessoal.

Figura 308.d - TM.P.U - Termográfica Tabuleiro



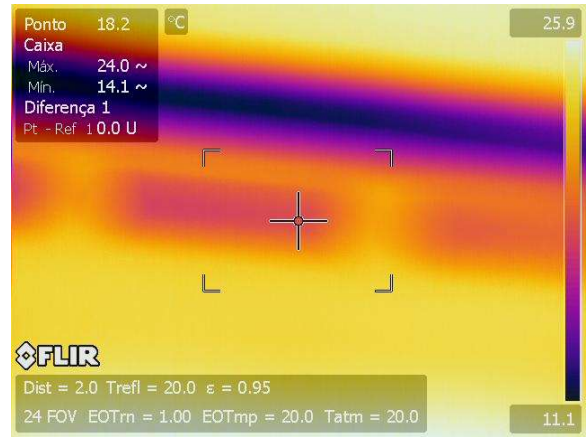
Fonte: acervo pessoal.

Figura 309.d - TM.P.U - Termográfica Junta da cortina de concreto



Fonte: acervo pessoal.

Figura 310d - TM.P.U - Termográfica Guarda roda



Fonte: acervo pessoal.

Anexo M – Imagens do Viaduto da 209/210 Norte, na cidade de Brasília – DF. Especificações antes da Recuperação. (E.A.R).

Figura 311.a Viaduto 209/210 Norte



Fonte: acervo Novacap.

Figura 312.a - E.A.R Guarda roda danificado



Fonte: acervo Novacap.

Figura 313.a - E.A.R Guarda roda danificado



Fonte: acervo Novacap.

Figura 314.a - E.A.R Exposição e corrosão de armadura no viaduto



Fonte: acervo Novacap.

Figura 315.a - E.A.R Exposição e corrosão de armadura



Fonte: acervo Novacap.

Anexo M1 – Imagens do Viaduto da 209/210 Norte, na cidade de Brasília – DF. Especificações após a reforma. (E.A.P.R).

Figura 316.b - E.AP.R



Fonte: acervo pessoal.

Figura 317.b – E.AP.R Encabeçamento do viaduto



Fonte: acervo pessoal.

Figura 318.b – E.AP. R Junta do Encabeçamento



Fonte: acervo pessoal.

Figura 319.b – E.AP. R Junta da cortina de concreto



Fonte: acervo pessoal.

Figura 320.b – E.AP. R Encabeçamento do viaduto



Fonte: acervo pessoal.

Figura 321.b – E.AP. R Cortina de concreto



Fonte: acervo pessoal.

Figura 322.b – E.AP. R Guarda roda



Fonte: acervo pessoal.

ANEXO M2 – Imagens do viaduto da 209/210 Norte, na cidade de Brasília-DF. Especificações utilizando câmera termográfica para identificação de patologia. Época sem chuva em Brasília, período seco. (TM.P.S).

Figura 323.c - TM.P.S - Termográfica encabeçamento do viaduto



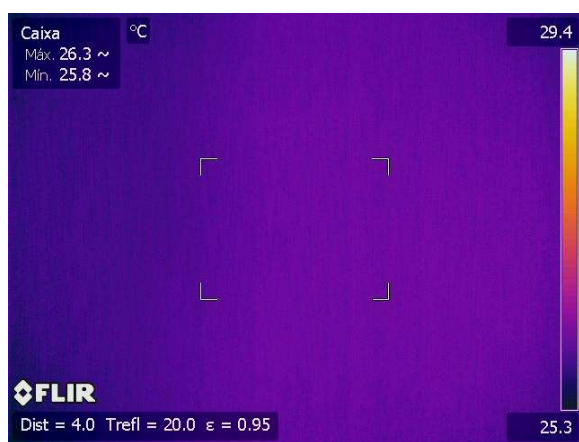
Fonte: acervo pessoal.

Figura 324.c - TM.P.S – Termográfica junta do encabeçamento



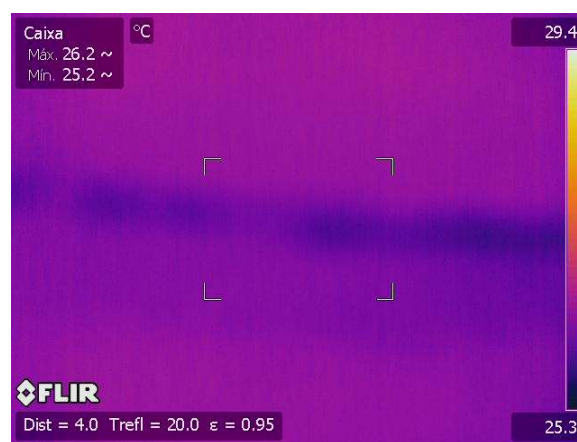
Fonte: acervo pessoal.

Figura 325.c - TM.P.S – Termográfica junta da cortina



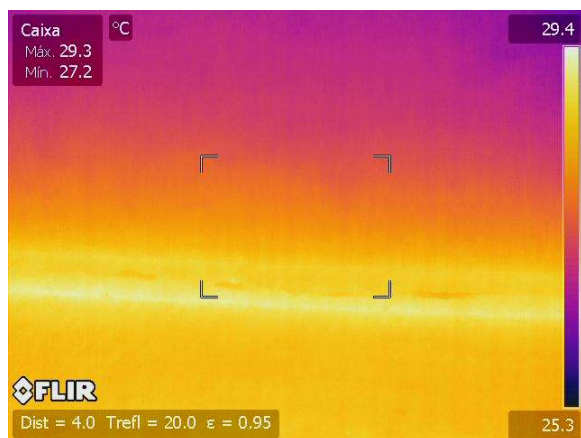
Fonte: acervo pessoal.

Figura 326.c - TM.P.S – Termográfica encabeçamento do viaduto



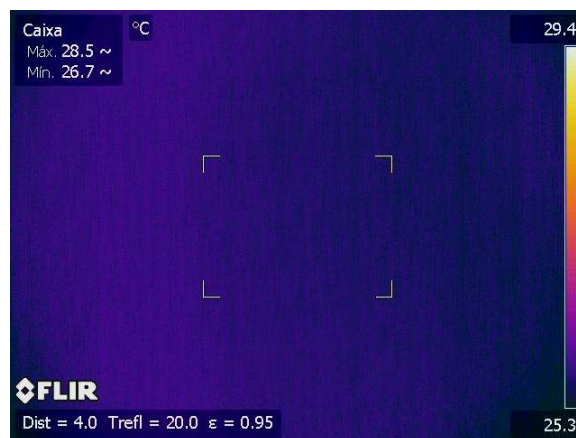
Fonte: acervo pessoal.

Figura 327.c - TM.P.S - Termográfica cortina de concreto



Fonte: acervo pessoal.

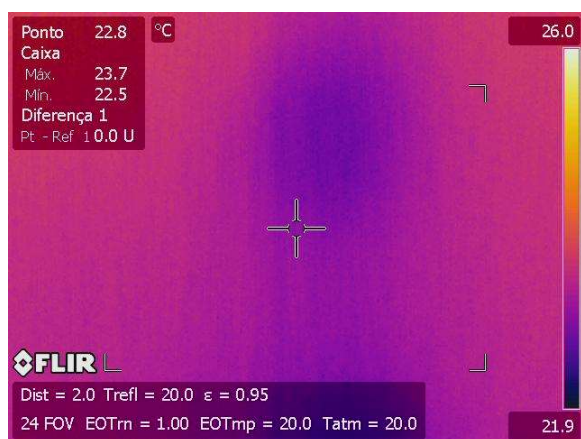
Figura 328.c - TM.P.S - Termográfica Guarda roda



Fonte: acervo pessoal.

ANEXO M3 – Imagens do Viaduto da 209/210 Norte, na cidade de Brasília-DF. Especificações utilizando câmera termográfica para identificação de patologia. Época com período de chuva em Brasília, período úmido. (TM.P.U).

Figura 329.d - TM.P.U - Termográfica encabeçamento do viaduto



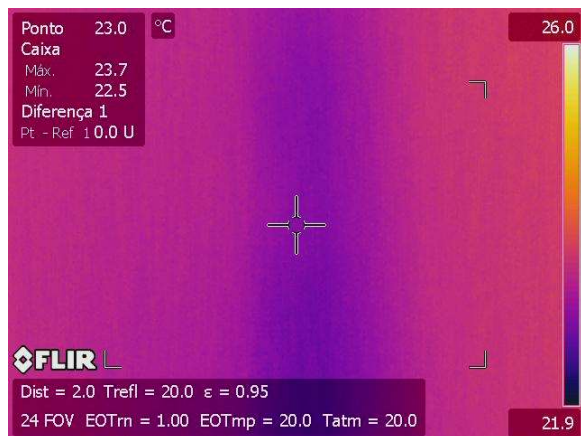
Fonte: acervo pessoal.

Figura 330.d - TM.P.U – Termográfica junta do encabeçamento



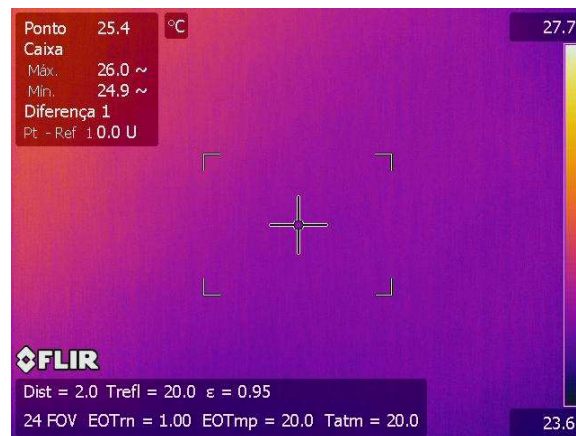
Fonte: acervo pessoal.

Figura 331.d - TM.P.U – Termográfica junta da cortina



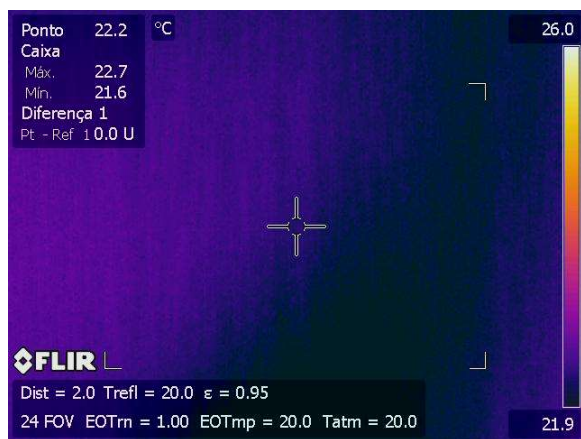
Fonte: acervo pessoal.

Figura 332d - TM.P.U – Termográfica encabeçamento do viaduto



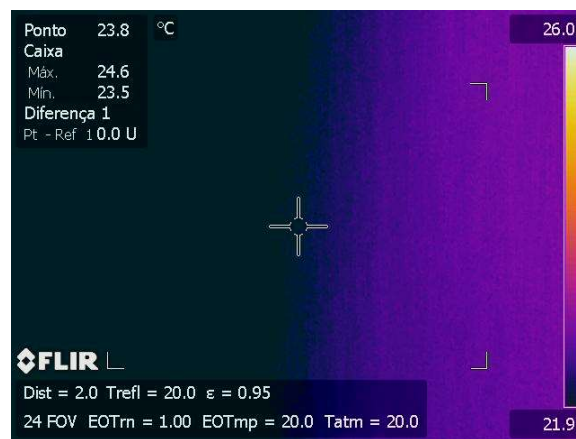
Fonte: acervo pessoal.

Figura 333.d - TM.P.U - Termográfica cortina de concreto



Fonte: acervo pessoal.

Figura 334.d - TM.P.U - Termográfica Guarda roda



Fonte: acervo pessoal.

Anexo N – Imagens do Viaduto da 211/212 Norte, na cidade de Brasília – DF. Especificações antes da Recuperação. (E.A.R).

Figura 335.a Viaduto 211/212 Norte



Fonte: acervo Novacap.

Figura 336.a - E.A.R Acesso ao viaduto



Fonte: acervo Novacap.

Figura 337.a - E.A.R Guarda roda danificado



Fonte: acervo Novacap.

Figura 338.a - E.A.R Armadura exposta no encabeçamento e junta do viaduto



Fonte: acervo Novacap.

Figura 339.a - E.A.R Armadura exposta no encabeçamento



Fonte: acervo Novacap.

Anexo N1 – Imagens do Viaduto da 211/212 Norte, na cidade de Brasília – DF. Especificações após a reforma. (E.AP.R).

Figura 340.b - E.AP.R



Fonte: acervo pessoal.

Figura 341.b – E.AP.R Encabeçamento do viaduto



Fonte: acervo pessoal.

Figura 342.b – E.AP.R Guarda roda



Fonte: acervo pessoal.

Figura 343.b – E.AP.R Encabeçamento e junta do viaduto



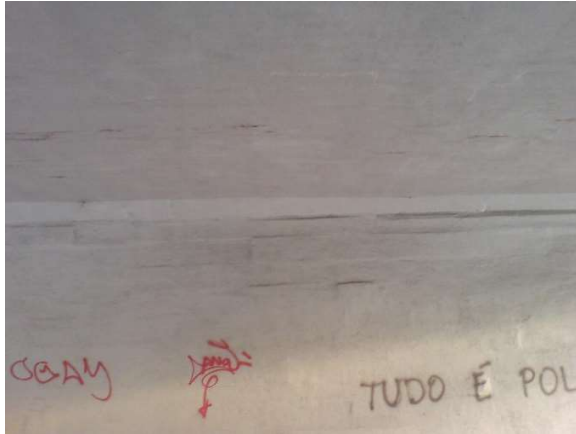
Fonte: acervo pessoal.

Figura 344.b – E.AP.R Junta da cortina



Fonte: acervo pessoal.

Figura 345.b – E.AP.R Tabuleiro



Fonte: acervo pessoal.

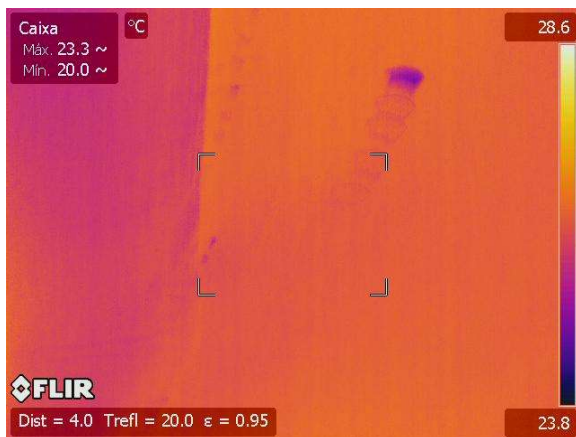
Figura 346.b – E.AP.R Passagem de pedestre



Fonte: acervo pessoal.

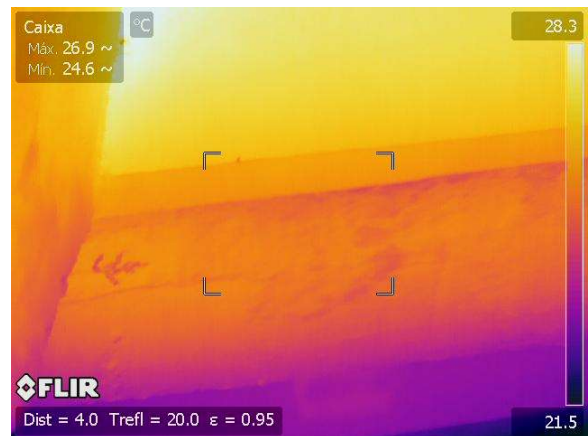
ANEXO N2 – Imagens do viaduto da 211/212 Norte, na cidade de Brasília-DF. Especificações utilizando câmera termográfica para identificação de patologia. Época sem chuva em Brasília, período seco. (TM.P.S).

Figura 347.c - TM.P.S - Termográfica encabeçamento do viaduto



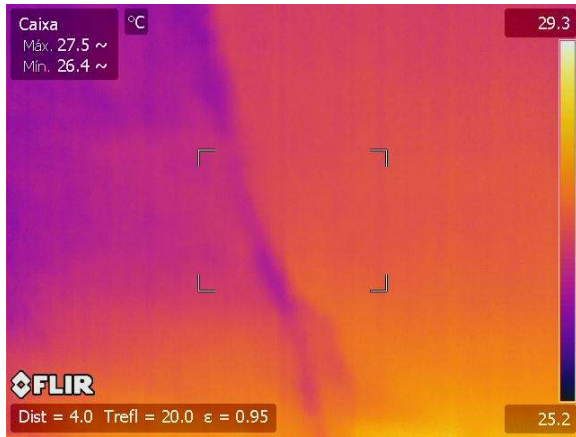
Fonte: acervo pessoal.

Figura 348.c - TM.P.S - Termográfica Guarda roda



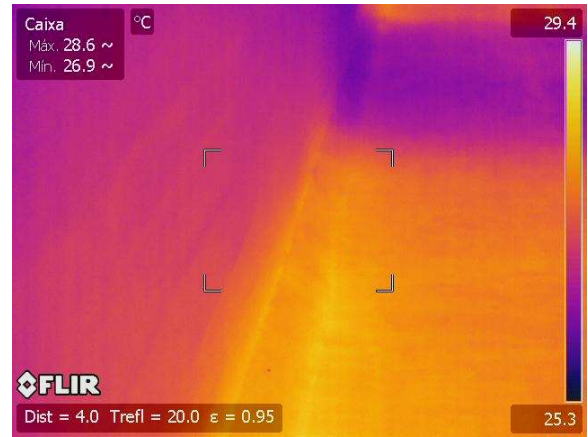
Fonte: acervo pessoal.

Figura 349.c - TM.P.S - Termográfica encabeçamento e junta do viaduto



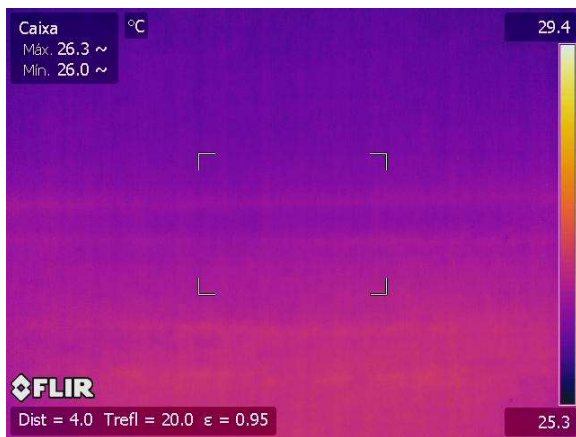
Fonte: acervo pessoal.

Figura 350.c - TM.P.S - Termográfica junta da cortina



Fonte: acervo pessoal.

Figura 351.c - TM.P.S - Termográfica Tabuleiro



Fonte: acervo pessoal.

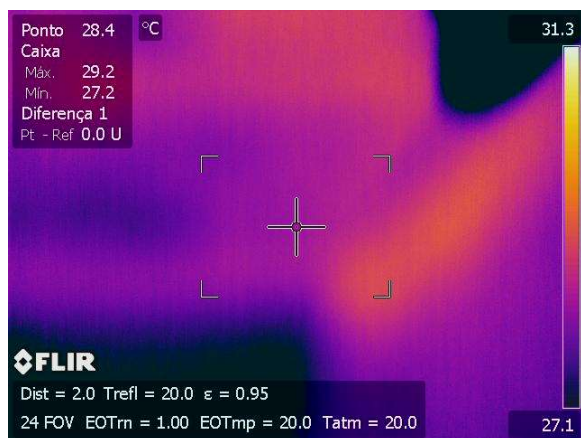
Figura 352.c - TM.P.S - Termográfica passagem de pedestre



Fonte: acervo pessoal.

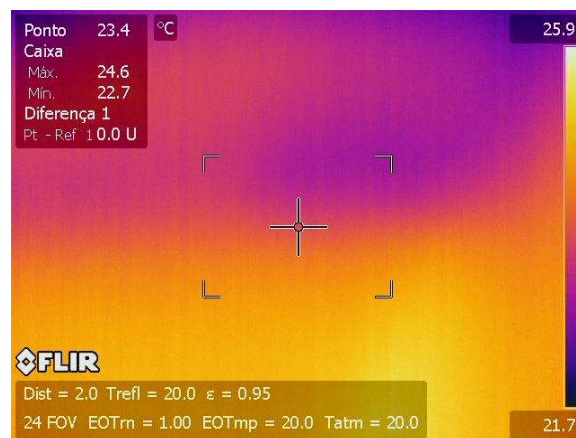
ANEXO N3 – Imagens do Viaduto da 211/212 Norte, na cidade de Brasília-DF. Especificações utilizando câmera termográfica para identificação de patologia. Época com período de chuva em Brasília, período úmido. (TM.P.U).

Figura 353d - TM.P.U - Termográfica encabeçamento do viaduto



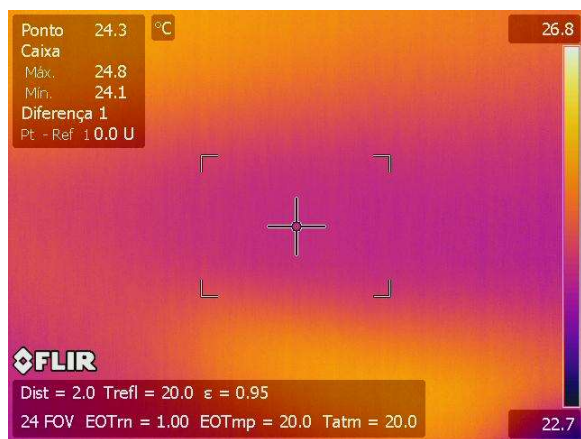
Fonte: acervo pessoal.

Figura 354.d - TM.P.U - Termográfica Guarda roda



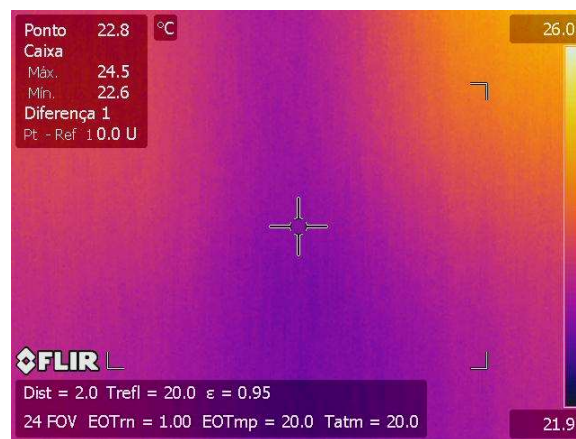
Fonte: acervo pessoal.

Figura 355.d - TM.P.U - Termográfica encabeçamento e junta do viaduto



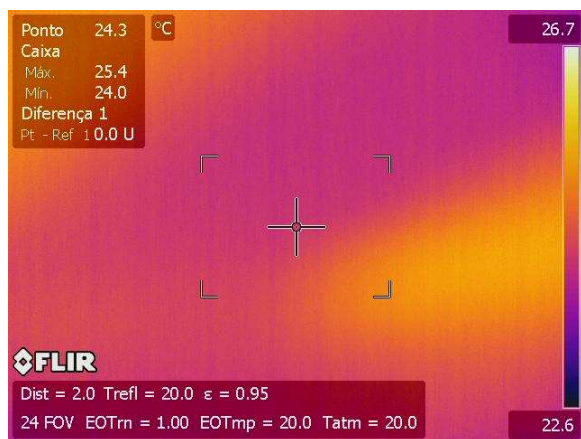
Fonte: acervo pessoal.

Figura 356.d - TM.P.U - Termográfica junta da cortina



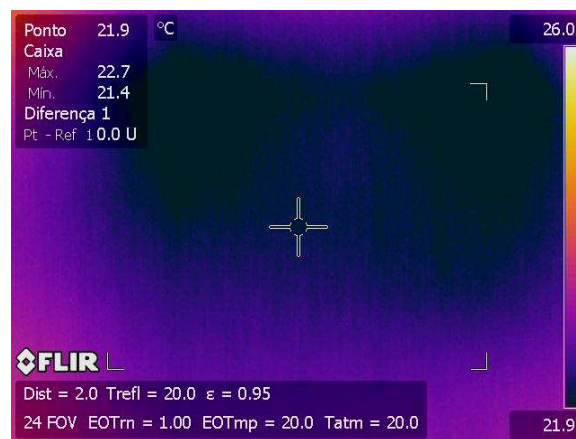
Fonte: acervo pessoal.

Figura 357.d - TM.P.U - Termográfica Tabuleiro



Fonte: acervo pessoal.

Figura 358.d - TM.P.U - Termográfica passagem de pedestre



Fonte: acervo pessoal.

Anexo O – Imagens do Viaduto da 213/214 Norte, na cidade de Brasília – DF. Especificações antes da Recuperação. (E.A.R).

Figura 359.a Viaduto 213/214 Norte



Fonte: acervo Novacap.

Figura 360.a - E.A.R Encabeçamento do viaduto



Fonte: acervo Novacap.

Figura 361.a - E.A.R Guarda roda danificado



Fonte: acervo Novacap.

Figura 362.a - E.A.R Encabeçamento do viaduto com corrosão



Fonte: acervo Novacap.

Figura 363.a - E.A.R Guarda roda do viaduto



Fonte: acervo Novacap.

Anexo O1 – Imagens do Viaduto da 213/214 Norte, na cidade de Brasília – DF. Especificações após a reforma. (E.A.P.R).

Figura 364.b - E.A.P.R



Fonte: acervo pessoal.

Figura 365.a - E.A.R Encabeçamento do viaduto



Fonte: acervo pessoal.

Figura 366.a - E.A.R Encabeçamento do viaduto



Fonte: acervo pessoal.

Figura 367.a - E.A.R Passagem de pedestre



Fonte: acervo pessoal.

Figura 368.a - E.A.R Guarda roda



Fonte: acervo pessoal.

Figura 369.a - E.A.R Tabuleiro



Fonte: acervo pessoal.

Figura 370.a - E.A.R Guarda roda



Fonte: acervo pessoal.

ANEXO O2 – Imagens do viaduto da 213/214 Norte, na cidade de Brasília-DF. Especificações utilizando câmera termográfica para identificação de patologia. Época sem chuva em Brasília, período seco. (TM.P.S).

Figura 371.c - TM.P.S - Termográfica encabeçamento do viaduto



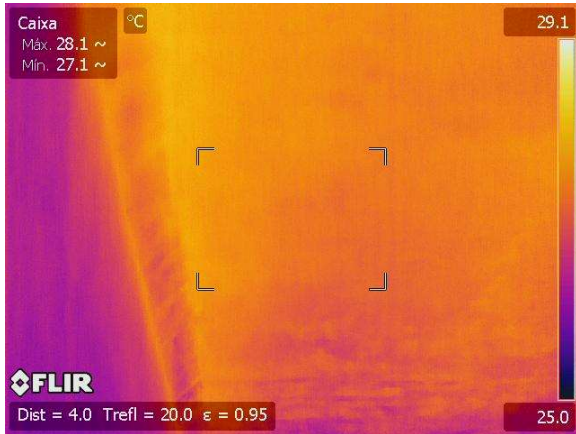
Fonte: acervo pessoal.

Figura 372.c - TM.P.S - Termográfica encabeçamento do viaduto



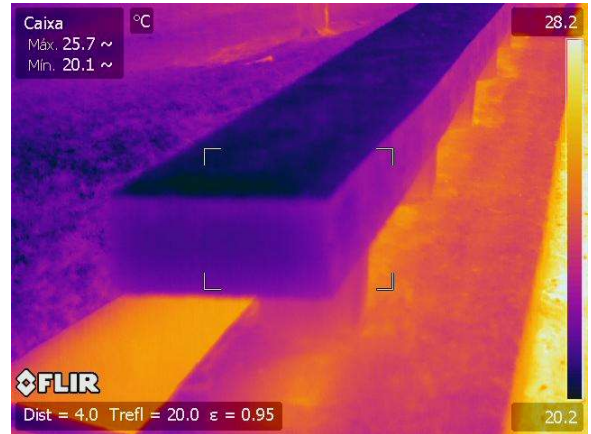
Fonte: acervo pessoal.

Figura 373.c - TM.P.S - Termográfica cortina do viaduto



Fonte: acervo pessoal.

Figura 374.c - TM.P.S - Termográfica Guarda roda



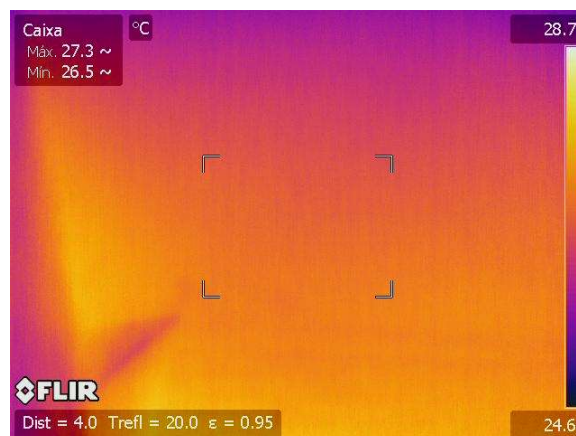
Fonte: acervo pessoal.

Figura 375.c - TM.P.S - Termográfica Tabuleiro



Fonte: acervo pessoal.

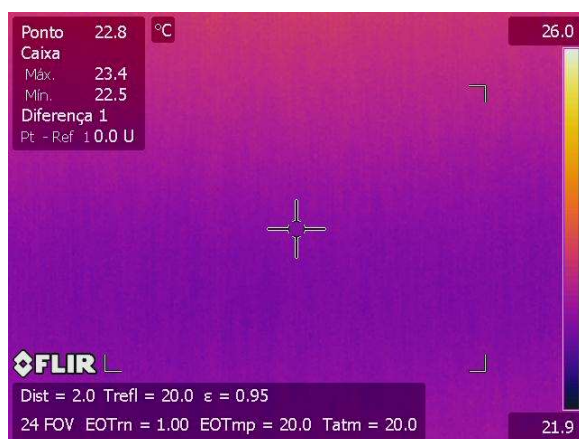
Figura 376.c - TM.P.S - Termográfica Guarda roda



Fonte: acervo pessoal.

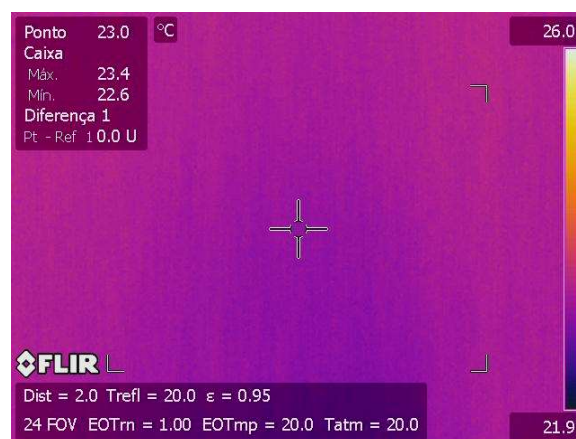
ANEXO O3 – Imagens do Viaduto da 213/214 Norte, na cidade de Brasília-DF. Especificações utilizando câmera termográfica para identificação de patologia. Época com período de chuva em Brasília, período úmido. (TM.P.U).

Figura 377.d - TM.P.U - Termográfica encabeçamento do viaduto



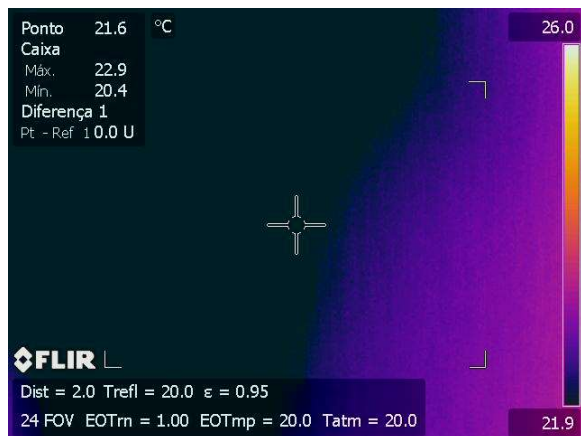
Fonte: acervo pessoal.

Figura 378.d - TM.P.U - Termográfica encabeçamento do viaduto



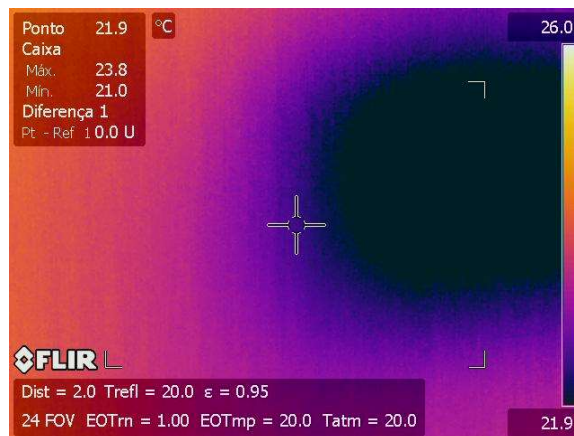
Fonte: acervo pessoal.

Figura 379.d - TM.P.U - Termográfica cortina do viaduto



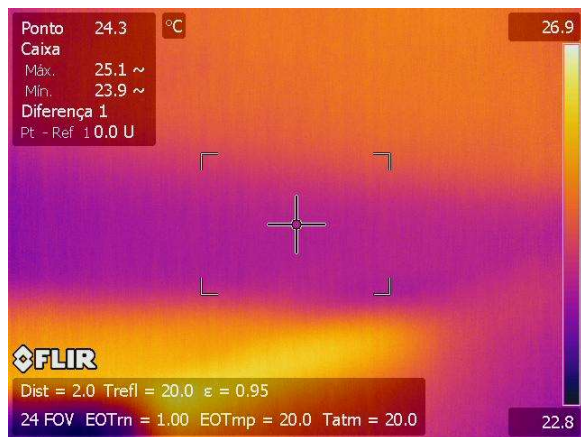
Fonte: acervo pessoal.

Figura 380.d - TM.P.U - Termográfica Guarda roda



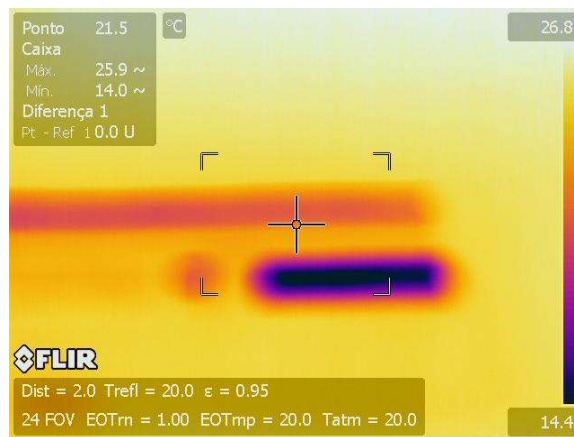
Fonte: acervo pessoal.

Figura 381.d - TM.P.U - Termográfica Tabuleiro



Fonte: acervo pessoal.

Figura 382d - TM.P.U - Termográfica Guarda roda



Fonte: acervo pessoal.

Anexo P – Imagens do Viaduto da 215/216 Norte, na cidade de Brasília – DF. Especificações antes da Recuperação. (E.A.R).

Figura 383.a Viaduto 215/216 Norte



Fonte: acervo pessoal.

Figura 384.a - E.A.R Guarda roda danificado



Fonte: acervo Novacap.

Figura 385.a - E.A.R Encabeçamento do viaduto



Fonte: acervo pessoal.

Figura 386.a - E.A.R Guarda roda e encabeçamento do viaduto



Fonte: acervo Novacap.

Figura 387.a - E.A.R Tabuleiro



Fonte: acervo pessoal.

Anexo P1 – Imagens do Viaduto da 215/216 Norte, na cidade de Brasília – DF. Especificações após a reforma. (E.A.P.R).

Figura 388.b - E.A.P.R



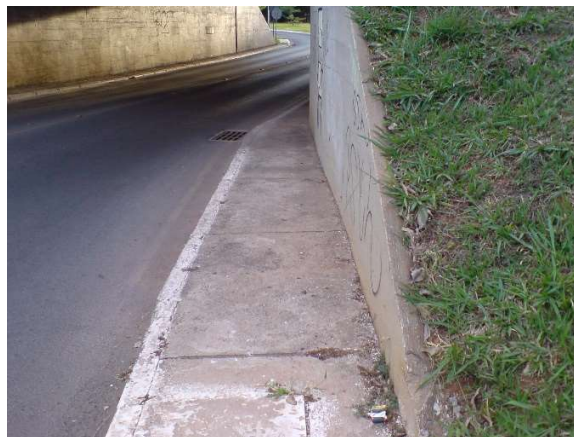
Fonte: acervo pessoal.

Figura 389.a - E.A.R Junta da cortina de concreto



Fonte: acervo pessoal.

Figura 390.a - E.A.R Passagem de pedestre



Fonte: acervo pessoal.

Figura 391.a - E.A.R Cortina de concreto



Fonte: acervo pessoal.

Figura 392.a - E.A.R Guarda roda



Fonte: acervo pessoal.

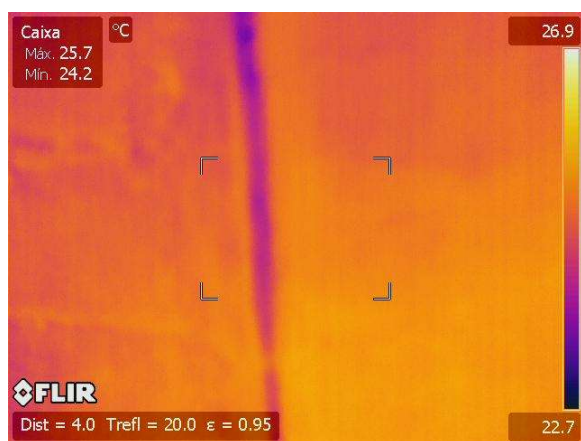
Figura 393.a - E.A.R Tabuleiro

Fonte: acervo pessoal.

Figura 394.a - E.A.R Junta da cortina

Fonte: acervo pessoal.

ANEXO P2 – Imagens do viaduto da 215/216 Norte, na cidade de Brasília-DF. Especificações utilizando câmera termográfica para identificação de patologia. Época sem chuva em Brasília, período seco. (TM.P.S).

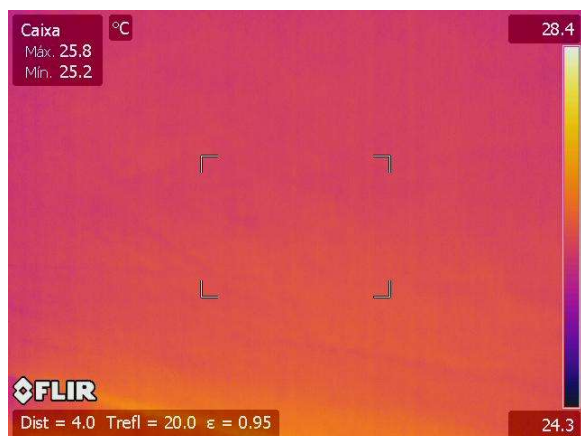
Figura 395.c - TM.P.S - Termográfica Junta da cortina de concreto

Fonte: acervo pessoal.

Figura 396.c - TM.P.S - Termográfica Passagem de pedestre

Fonte: acervo pessoal.

Figura 397.c - TM.P.S - Termográfica cortina



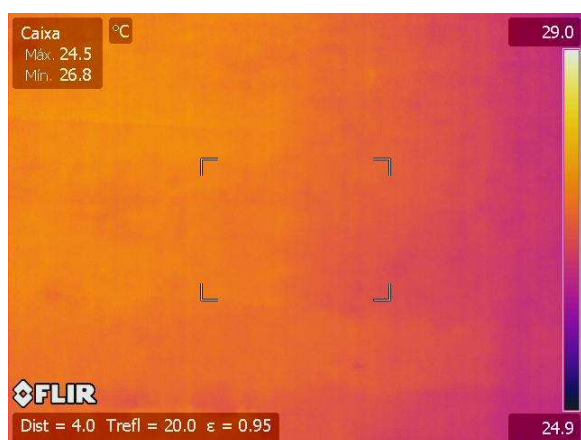
Fonte: acervo pessoal.

Figura 398.c - TM.P.S - Termográfica Guarda roda



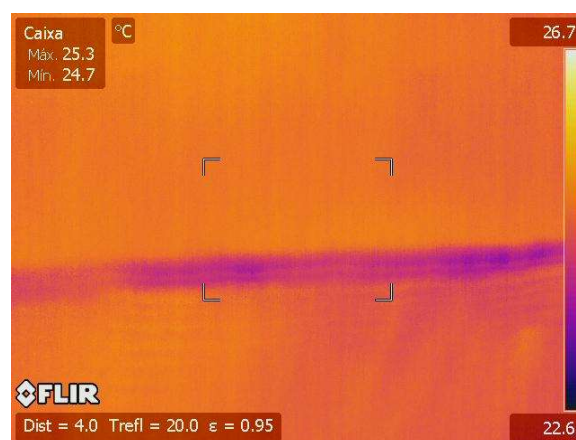
Fonte: acervo pessoal.

Figura 399.c - TM.P.S - Termográfica Tabuleiro



Fonte: acervo pessoal.

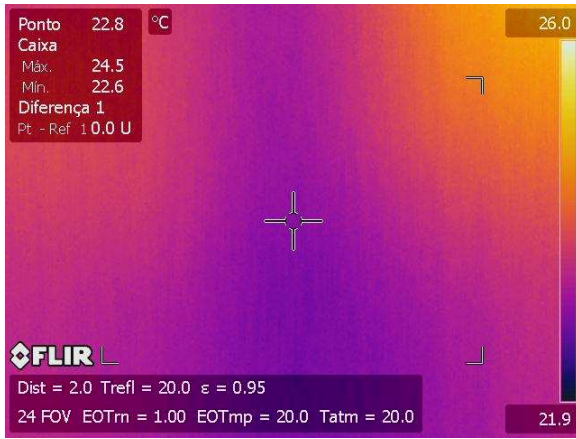
Figura 400.c - TM.P.S - Termográfica Junta da cortina



Fonte: acervo pessoal.

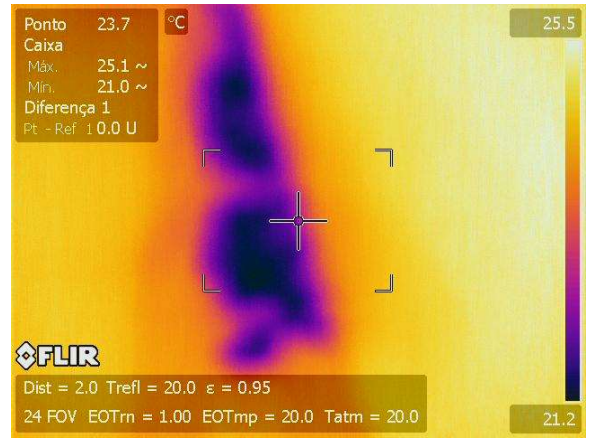
ANEXO P3 – Imagens do Viaduto da 215/216 Norte, na cidade de Brasília-DF. Especificações utilizando câmera termográfica para identificação de patologia. Época com período de chuva em Brasília, período úmido. (TM.P.U).

Figura 401.d - TM.P.U - Termográfica Junta da cortina



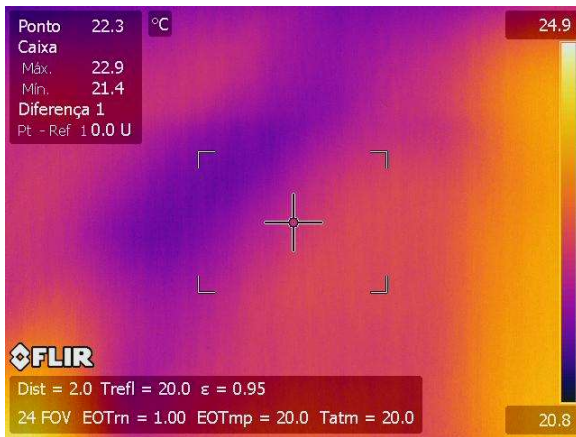
Fonte: acervo pessoal.

Figura 402.d - TM.P.U - Termográfica Passagem de pedestre



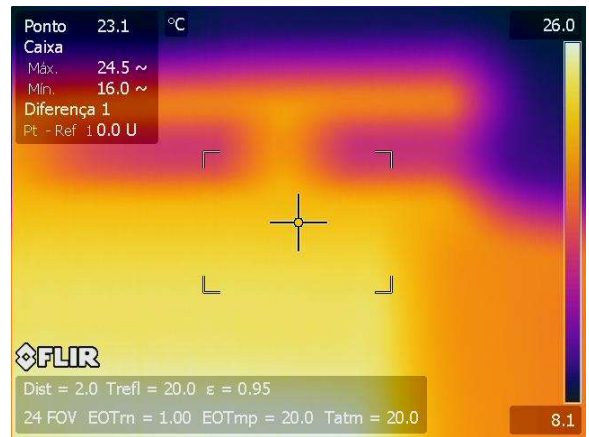
Fonte: acervo pessoal.

Figura 403.d - TM.P.U - Termográfica cortina

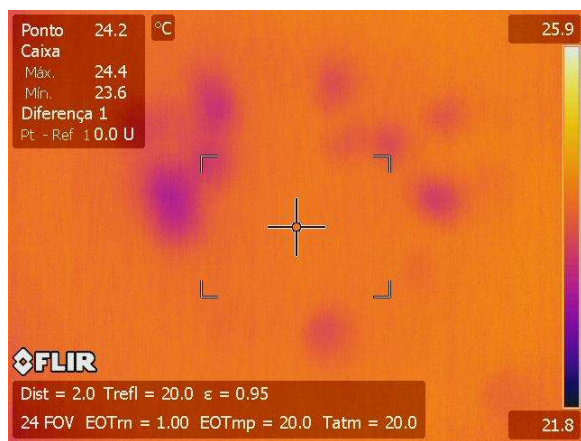


Fonte: acervo pessoal.

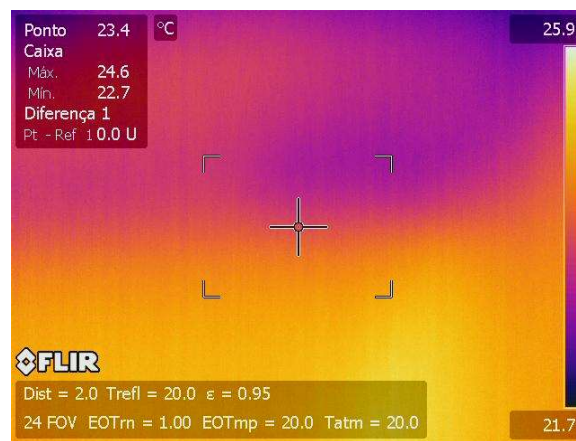
Figura 404.d - TM.P.U - Termográfica Guarda roda



Fonte: acervo pessoal.

Figura 405.d - TM.P.U - Termográfica Tabuleiro

Fonte: acervo pessoal.

Figura 406.d - TM.P.U - Termográfica Cortina

Fonte: acervo pessoal.

3.CONCLUSÕES

3.1. Considerações Finais

O uso da câmera termográfica nas inspeções dos viadutos avaliados no presente trabalho possibilitou a detecção de diferentes danos na estrutura, apresentando-se como uma ferramenta útil.

A técnica da termografia infravermelha passiva se mostrou eficiente na identificação de umidade nos elementos do viaduto. No entanto, a técnica não ofereceu precisão quanto à determinação de corrosão, sendo necessário recorrer a outros tipos de ensaios para a conclusão da existência de tal manifestação patológica.

A variação de temperatura registrada pela câmera termográfica foi utilizada como uma importante variável no processo de classificação das manifestações patológicas citadas neste estudo. Contudo, ressalta-se que a análise dos termogramas pode apresentar um certo grau de complexidade e induzir a conclusões equivocadas acerca das anomalias detectadas.

Ainda que a termografia infravermelha apresente limitações quanto à análise de manifestações patológicas mais profundas na estrutura, o uso dessa técnica não destrutiva fornece resultados imediatos, o que implica na redução de riscos, no aumento da eficiência dos programas de manutenção preditiva e em minimizar a necessidade de realizar a manutenção corretiva.

A adoção de ensaios não destrutivos como a termografia infravermelha tem sido cada vez mais difundida na construção civil para análise de manifestações patológicas em diferentes tipos de estruturas de concreto. Em se tratando de Obras de Arte Especiais, a termografia permite avaliar regiões com alturas consideráveis por meio da câmera termográfica, cujo alcance depende do modelo.

No que concerne ao levantamento de dados sobre projetos executivo e complementares, memorial descritivo, recursos previstos e investidos, bem como as manutenções realizadas nos viadutos das quadras 201/202 – 203/204 – 205/206 – 207/208 – 209/210 – 211/212 – 213/214 – 215/216 Sul e 201/202 – 203/204 – 205/206 – 207/208 – 209/210 – 211/212 – 213/214 – 214/215 Norte, ressalta-se a solicitação direcionada a determinados órgãos do governo, em conformidade com a Lei Nº 12.527/2011 (Lei de Acesso à Informação). Os dados obtidos foram compilados e descritos no Capítulo 2, que trata do Referencial Teórico.

O presente estudo evidenciou que a termografia infravermelha pode ser utilizada em viadutos para identificar, com boa precisão, alguns tipos de manifestações patológicas que se apresentam próximas à superfície da estrutura, por meio da análise do gradiente da temperatura. As anomalias sinalizadas reforçam a necessidade de medidas mais enérgicas que visem assegurar um programa de manutenção em viadutos a fim de assegurar os critérios de segurança estabelecidos na ABNT NBR 6118:2014.

3.2. Sugestões para Novas pesquisas

A fim de aprofundar o estudo sobre a eficiência do uso da termografia infravermelha em Obras de Artes Especiais, propõe-se realizar novas pesquisas que abordem:

1 - Um comparativo entre o Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais (SGO) adotado no Brasil e em outros países -

O Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais (SGO) é uma ferramenta crucial para a gestão eficiente e segura das infraestruturas de grande porte, como pontes, viadutos e passarelas. No contexto brasileiro, o SGO desempenha um papel fundamental na garantia da integridade estrutural dessas obras, proporcionando uma visão abrangente de seu estado de conservação, identificando eventuais problemas e propondo soluções adequadas.

No entanto, ao compararmos o SGO adotado no Brasil com aqueles utilizados em outros países, podemos observar diferenças significativas em termos de abordagem, tecnologias empregadas e metodologias de avaliação. Enquanto em alguns países o foco pode estar mais voltado para a prevenção de problemas estruturais, no Brasil, devido às condições específicas do país e à diversidade de sua infraestrutura, o SGO tende a ser mais abrangente, englobando não apenas a manutenção preventiva, mas também a gestão de emergências e a recuperação de danos.

Além disso, é importante ressaltar que o SGO brasileiro está em constante evolução, buscando incorporar as melhores práticas internacionais e adaptá-las à realidade nacional. Isso envolve o uso de tecnologias avançadas de monitoramento, como a termografia infravermelha, e a implementação de normas técnicas rigorosas, como as estabelecidas pela ABNT.

O Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais desempenha um papel essencial na preservação e na segurança das infraestruturas de grande porte, tanto no Brasil quanto em outros países. Ao comparar as abordagens adotadas, é possível identificar oportunidades de aprimoramento e troca de experiências, visando sempre garantir a excelência na gestão e na manutenção dessas importantes estruturas.

2 - O comportamento dos valores dos parâmetros termográficos associados a intensidade e sentido do fluxo de calor -

O comportamento dos valores dos parâmetros termográficos está intrinsecamente ligado à compreensão do fluxo de calor em uma determinada superfície ou estrutura. Esses parâmetros termográficos, como a temperatura superficial, a emissividade e a radiação infravermelha, desempenham um papel crucial na identificação de anomalias, na avaliação do desempenho térmico de materiais e na detecção de problemas estruturais.

Além disso, a direção e a intensidade do fluxo de calor também influenciam diretamente nos valores dos parâmetros termográficos. Por exemplo, em uma estrutura exposta ao sol, a temperatura superficial pode aumentar significativamente em determinadas áreas, enquanto em outras, protegidas da radiação solar direta, a temperatura pode permanecer mais estável. Essas variações são essenciais para entender o comportamento térmico de uma superfície e podem fornecer informações cruciais para otimizar o design e o desempenho de sistemas de isolamento térmico, por exemplo.

O estudo do comportamento dos valores dos parâmetros termográficos é fundamental não apenas para a identificação de problemas e anomalias, mas também para o desenvolvimento de soluções eficazes de monitoramento e controle térmico em uma variedade de aplicações, desde a construção civil até a manufatura industrial.

3 - A análise dos defeitos identificados em viadutos através do Delta-T -

A importância da análise dos defeitos identificados pelo Delta-T reside no fato de que essas informações permitem uma intervenção precoce e precisa, contribuindo para a segurança e durabilidade da estrutura. Por exemplo, ao identificar áreas com temperaturas anormalmente

elevadas, pode-se investigar a possibilidade de corrosão nas armaduras de concreto, enquanto áreas com temperaturas mais baixas podem indicar falhas no isolamento térmico ou infiltrações de água.

Além disso, a análise detalhada dos padrões de temperatura ao longo do tempo pode fornecer insights sobre a evolução dos defeitos e o impacto de condições ambientais variáveis, permitindo um planejamento mais eficaz das atividades de manutenção e reparo.

A análise dos defeitos identificados em viadutos através do Delta-T desempenha um papel crucial na preservação da integridade estrutural e na segurança das vias públicas. Ao fornecer informações precisas e confiáveis sobre o estado da estrutura, essa abordagem permite uma gestão eficiente dos recursos e uma resposta rápida aos problemas identificados, contribuindo para a sustentabilidade e longevidade das infraestruturas viárias.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Estruturas de concreto armado - Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9452: **Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

Brasil. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Manual de recuperação de pontes e viadutos rodoviários. - Rio de Janeiro, 159 p.

CALDEIRA, Mariana Martino. **Aplicação da Termografia Infravermelha para Identificação de Danos na Aderência entre Concreto e Polímero Reforçado com Fibras**. Florianópolis, SC, 2016. 230 p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

CORTIZO, E. C. **Avaliação da técnica de termografia infravermelha para identificação de estruturas ocultas e diagnóstico de anomalias em edificações: ênfase em edificações do patrimônio histórico**. 178 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2007.

CORTIZO, E. C.; BARBOSA, M. P; SOUZA, L. A. C. **Estado da arte da termografia**. In: Fórum patrimônio: ambiente construção e patrimônio sustentável. Belo Horizonte, 2008. p. 158-193.

GUCUNSKI, N., KEE, S., La, H., BASILY, B., MAHER, A. (2015), “**Delamination and concrete quality assessment of concrete bridge decks using a fully autonomous RABIT platform**”, Structural Monitoring and Maintenance, V.2, No. 1, pp.19-34.

ISLAM, A., Li, F., HAMID, H., Jaroo, A. (2014), “**Bridge Condition Assessment and Load Rating using Dynamic Response**” (Youngstown, United States: ODOT), p. 128.0.

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.

LAURIA, M.L.M. **Avaliação dos Viadutos do Eixo Rodoviário Sul de Brasília pela Metodologia GDE/UnB**. 2018. 76p. Monografia de Projeto Final II em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

Mitre, Marcos Pedrosa. **Metodologia para inspeção e diagnóstico de pontes e viadutos de concreto**. São Paulo, 2005. 148p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, SP.

MOSCOSO, Y. F. M. (2017). **Modelos de degradação para aplicação em sistemas de Obras de Arte Especiais - OAEs**. 2017. 185p. Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.TD-3A/17, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

PAVON DE LA FE, ELIER. **Critérios e padrões de comportamento para avaliação de descolamentos cerâmicos com termografia de infravermelho**. 2017. 250p. Tese de doutorado - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília, DF.

MARCELO, S.S. e OZANIA, V.DE. F. O uso da termografia infravermelha em viadutos para análise de manifestações patológicas. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como pré-requisito para obtenção do Bacharelado em Engenharia Civil pelo Centro Universitário IESB.

ANEXO A - NORMAS SOBRE TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA APLICADA À CONSTRUÇÃO

A seguir são apresentadas as principais normas internacionais referentes à aplicação da termografia infravermelha na inspeção das construções:

Resumo das normas ASTM (GUERRERO MENA, 2013; REBELO, 2017):

- ASTM C1060 – 11a (2015): Prática padrão para a inspeção termográfica de instalações de isolamento em cavidades fechadas dentro da estrutura de edifícios.
- A ASTM C1153 - 10 (2015): Prática padrão para a localização de umidades nos sistemas de impermeabilização de coberturas por imagens de infravermelhos.
- ASTM D4788 - 03 (2013): Método padrão de ensaio para a detecção de descolamentos em tabuleiros de pontes através da termografia infravermelho.
- ASTM C1046 - 95 (2013): Prática padrão para a medição in situ do fluxo de calor e temperatura nos componentes que conformam o envoltório do edifício.

Resumo das normas europeias (EN)(REBELO, 2017):

- EN 13187 (1999) - Desempenho térmico de edifícios - Detecção qualitativa de irregularidades térmicas em envelopes de construção - Método infravermelho;

- EN 1767 (1999) - Produtos e sistemas para proteção e reparação de estruturas de concreto. Métodos de teste. Análise de infravermelhos.

Resumo das normas ISO (BAGAVATHIAPPAN *et al.*, 2013; REBELO, 2017):

- ISO 6781-3 (2015) - Desempenho dos edifícios - Detecção de irregularidades de calor, ar e umidade em edifícios por métodos infravermelhos - Parte 3: Qualificações de operadores de equipamentos, análise de dados e escritores de relatórios;
- ISO 6781 (1983) - Isolamento térmico - Detecção qualitativa de irregularidades térmicas em envelopes de construção - Métodos de infravermelho.

Resumo das normas ABNT relacionadas com a termografia (BRIQUE, 2016):

- NBR 16292: 2014: Ensaio não destrutivo - Termografia - Medição e compensação da temperatura aparente refletida utilizando câmeras termográficas;
- NBR 15572: 2013: Ensaio não destrutivo - Termografia - Guia para inspeção de equipamentos elétricos e mecânicos;
- NBR 15866: 2010: Ensaio não destrutivo - Termografia - Metodologia de avaliação de temperatura de trabalho de equipamentos em sistemas elétricos;
- NBR 15718: 2009: Ensaio não destrutivo - Termografia - Guia para verificação de termovisores;
- NBR 15763: 2009: Ensaio não destrutivo - Termografia - Critérios de definição de periodicidade de inspeção em sistemas elétricos de potência;
- NBR 15424: 2006: Ensaio não destrutivo - Termografia - Terminologia.

A Figura 2 ilustra como os tipos de intervenções citadas por FRANGOPOL e BOCCHINI (2011) impactam no desempenho das OAEs.