



**CRITÉRIOS PARA APLICAÇÃO DA TERMOGRAFIA DE INFRAVERMELHO
QUANTITATIVA NA INVESTIGAÇÃO DE DESCOLAMENTOS CERÂMICOS DE
FACHADA**

RAYNNARA RIBEIRO DIAS LUCENAS

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**CRITÉRIOS PARA APLICAÇÃO DA TERMOGRAFIA DE INFRAVERMELHO
QUANTITATIVA NA INVESTIGAÇÃO DE DESCOLAMENTOS CERÂMICOS DE
FACHADA**

RAYNNARA RIBEIRO DIAS LUCENAS

ORIENTADOR: ELTON BAUER, Dsc.

BRASÍLIA/DF – NOVEMBRO/2022

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**CRITÉRIOS PARA APLICAÇÃO DA TERMOGRAFIA DE INFRAVERMELHO
QUANTITATIVA NA INVESTIGAÇÃO DE DESCOLAMENTOS CERÂMICOS DE
FACHADA**

RAYNNARA RIBEIRO DIAS LUCENAS

Dissertação de Mestrado submetida ao Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Estruturas e Construção Civil do Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil.

APROVADO POR:

Prof. Dr. Elton Bauer (ENC-UnB)
(Orientador)

Prof. Dr. Lenildo Santos da Silva (ENC-UnB)
(Examinador Interno)

Prof. Dr. Elier Pavón de La Fé (UFOB)
(Examinador Externo)

BRASÍLIA/DF – NOVEMBRO/2022

FICHA CATALOGRÁFICA

LUCENAS, RAYNNARA RIBEIRO DIAS

Critérios para aplicação da termografia de infravermelho quantitativa na investigação de descolamentos cerâmicos de fachada [Distrito Federal] 2022. XXII, 135p., 210x297mm (ENC/FT/UnB, Mestre em Estruturas e Construção Civil, 2022). Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Termografia quantitativa
3. Fachadas
5. Rotina de análise

2. Inspeção termográfica
4. Revestimento cerâmico

I. ENC/FT/UnB

II. Título (Mestre)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

LUCENAS, R. R. D. (2022). Critérios para aplicação da termografia de infravermelho quantitativa na investigação de descolamentos cerâmicos de fachada. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM - 11A/22, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 135p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Raynnara Ribeiro Dias Lucenas

TÍTULO: Critérios para aplicação da termografia de infravermelho quantitativa na investigação de descolamentos cerâmicos de fachada

GRAU: Mestre

ANO: 2022

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

Raynnara Ribeiro Dias Lucenas

Rua 56 Qd 77 Lt 57 – Jardim dos Ipês II.

CEP 77820-196 Araguaína/TO, Brasil.

E-mail: lucenasraynnara@gmail.com

DEDICATÓRIA

**Dedico esta pesquisa a Deus, meu bom Pai que em tudo me sustenta
através da sua misericórdia, graça e amor leal.**

E a meus pais Raimundo e Rosilene.

Que o livro da Lei esteja sempre nos teus lábios: medita nele dia e noite, para que tenhas o cuidado de agir em conformidade com tudo que nele está escrito. Deste modo serás vitorioso em todas as tuas empreitadas e alcançarás bom êxito! Ora, não te ordenei: Sê forte e corajoso? Não temas e não te apavores, porquanto Yahweh, o SENHOR teu Deus, está contigo por onde quer que andes!”

(Josué 1: 8-9)

Os arcos dos poderosos serão quebrados, mas os fracos são revestidos de força.

(1 Samuel 2:4)

AGRADECIMENTOS

Ao Senhor Deus, que me criou para sua glória e prazer, e desde o dia que me revelou o seu bom plano para minha vida tem me guiado em amor. A sua misericórdia e amor se renovam sobre mim a cada dia e foram o motivo da minha perseverança ao longo desse processo. Sua graça me conduziu até aqui e a maior alegria da minha vida é ser sua filha amada.

À minha família, em especial aos meus pais Raimundo e Rosilene, que sempre investiram seu melhor na minha vida. Afirmo com convicção que tudo que conquistei até hoje devo ao incentivo, força e amor de vocês, serei eternamente grata. Meu irmão Rayron, agradeço por todos os momentos de alegria e conversas compartilhadas, você é meu companheiro em tudo. Meu namorado Alessandro, por todo o zelo, amor e conversas que aliviaram o fardo dessa etapa. Obrigada por ser um lugar de paz e alegria para meu coração. Aos meus avós, tios, tias, primos e primas, por todos os momentos juntos que permitiram renovar minhas forças e compartilhar alegrias.

Aos amigos que pela graça de Deus ganhei ao longo da vida e foram tão importantes nesta etapa, obrigada por cada momento compartilhado e cada palavra de incentivo. O cuidado de vocês trouxe refrigério e alegria de saber que eu não caminhei sozinha, em especial Gabriella Soares, Ayla Pereira, Jeciane Sousa e Renata Daniela.

A minha família de Brasília-DF que me acolheram ao longo da graduação e foram a ponte para realização desse mestrado, tia Valdeci e tio Valdivino, meus primos Milena, Ailson e Anderson, vocês foram essenciais. Minha amiga Renata Daniela, que em conjunto com sua família me acolheram com tanto amor no primeiro semestre do mestrado, serei sempre grata a vocês minha família do coração.

Ao meu orientador, professor Elton Bauer, por todo conhecimento compartilhado e dedicação. O senhor desde minha graduação foi uma referência na engenharia para mim e sou grata pela oportunidade de ter trabalhado este período na sua equipe. Obrigada por toda paciência e tempo dedicados a este trabalho.

Aos colegas do PECC por todos os momentos de alegria e desespero compartilhados. Conhecer cada um de vocês agregou na minha vida em conhecimento e experiências únicas, em especial Victor Leonardo, Caio Cavalcante, Ana Carla Lopes, Daiane Teodoro, Diego Cardoso, Rodrigo Ribeiro, Victor Bernardes, Jayme Ribeiro, Arthur Aviz, Jéssica Fall e Larissa Mota.

A minha querida amiga Nathalia Araújo pela revisão do português desta dissertação.

Aos professores e equipe de funcionários do Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil (PECC) da Universidade de Brasília.

À Universidade de Brasília pela oportunidade de realizar o mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro através de bolsa de mestrado.

RESUMO

CRITÉRIOS PARA APLICAÇÃO DA TERMOGRAFIA DE INFRAVERMELHO QUANTITATIVA NA INVESTIGAÇÃO DE DESCOLAMENTOS CERÂMICOS DE FACHADA

Ao longo da vida útil, as fachadas dos edifícios se encontram sob a ação de agentes de degradação. Visto as solicitações geradas pela ação destes agentes sobre as camadas dos revestimentos cerâmicos de fachadas, e para assegurar o desempenho e minimizar o surgimento de anomalias, deve-se estabelecer rotinas de inspeções. Dentre as ferramentas de inspeção encontra-se a termografia infravermelha, um ensaio não destrutivo de medição sem contato e em tempo real. Os termogramas obtidos são analisados de modo qualitativo ou quantitativo. O objetivo deste estudo é definir critérios para análise quantitativa de termogramas empregados na detecção e avaliação de descolamentos cerâmicos. São investigadas as anomalias de descolamentos em fachadas com revestimento cerâmico de três edifícios localizados em Brasília-DF, por meio da termografia infravermelha. Neste estudo é empregada a abordagem passiva e análise qualitativa e quantitativa dos termogramas. Os termogramas investigados são obtidos de inspeções realizadas por Aidar (2019) e estão inseridos no projeto Degradação, Mensuração e Modelação (DMM Project/UnB). Propõe-se uma rotina de análise quantitativa baseada em critérios obtidos na investigação de zonas sem presença de anomalia e zonas com anomalia. Estes critérios são empregados na determinação dos contrastes absoluto e corrido. A metodologia para obtenção das temperaturas das zonas com anomalia e sem anomalia é apresentada e empregada na obtenção dos respectivos contrastes. A proposta do Delta Tcor (contraste corrido) tem por objetivo prover um indicador para detecção e avaliação de descolamentos cerâmicos de fachada. Neste estudo se observa que acima do Delta T de $0,11\text{ }^{\circ}\text{C}$ e acima Delta Tcor de $0,005\text{ }^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}$ se identificam descolamentos cerâmicos quando do início da incidência de radiação solar (período de 07h a 12h). Para a condição de menor incidência de radiação solar (período de 16h50 a 20h), se identifica que valores acima de Delta T de $-1,50\text{ }^{\circ}\text{C}$ e acima de Delta Tcor de $-0,066\text{ }^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}$, apontam a presença de descolamentos cerâmicos. A aplicação da termografia quantitativa, a partir dos critérios balizados, permite identificar os descolamentos cerâmicos com maior precisão na inspeção de edifícios.

Palavras-chave: Termografia quantitativa, Inspeção termográfica, Fachadas, Revestimento cerâmico, Rotina de análise.

ABSTRACT

CRITERIA FOR THE APPLICATION OF QUANTITATIVE INFRARED THERMOGRAPHY IN THE RESEARCH OF CERAMIC DETACHES FROM FACADE

Throughout the useful life, the facades of buildings are under the action of agents of degradation. In view of the requests generated by the action of these agents on the layers of ceramic cladding on facades, and to ensure performance and minimize the appearance of anomalies, inspection routines must be established. Among the inspection tools is infrared thermography, a non-destructive test of non-contact and real-time measurement. The thermograms obtained are analyzed qualitatively or quantitatively. The objective of this study is to define criteria for the quantitative analysis of thermograms used in the detection and evaluation of ceramic detachments. The detachment anomalies in façades with ceramic coating of three buildings located in Brasília-DF are investigated, using infrared thermography. In this study, the passive approach and qualitative and quantitative analysis of thermograms are used. The investigated thermograms are obtained from inspections carried out by Aidar (2019) and are included in the Degradation, Measurement and Modeling project (DMM Project/UnB). A quantitative analysis routine is proposed based on criteria obtained in the investigation of areas without the presence of anomalies and areas with anomalies. These criteria are used to determine the absolute and running contrasts. The methodology for obtaining temperatures in zones with and without anomaly is presented and used to obtain the respective contrasts. The purpose of Delta Tcor (running contrast) is to provide an indicator for detecting and evaluating detachment of ceramic facades. In this study, it is observed that above Delta T of 0.11 °C and above Delta Tcor of 0.005 °C/°C, ceramic detachments are identified when the incidence of solar radiation begins (period from 07h to 12h). For the condition of lower incidence of solar radiation (period from 4h50 pm to 8h pm), it is identified that values above Delta T of -1.50 °C and above Delta Tcor of -0.066 °C/°C indicate the presence of ceramic detachments. The application of quantitative thermography, based on defined criteria, allows the identification of ceramic detachments with greater precision in the inspection of buildings.

Keywords: Quantitative thermography, Thermographic inspection, Facades, Ceramic coating, Analysis routine.

Índice de Figuras

Figura 1 - Investigação de descolamentos em fachada usando a termografia (a) imagem digital (b) termograma (Fonte: TOMITA e CHEW, 2022).....	23
Figura 2 - Termogramas obtidos da placa no ciclo direto nos tempos (a) 4 minutos (b) 120 minutos (c) 124 minutos e (d) 240 minutos (Fonte: PAVON, 2017; LUCENAS, et. al., 2021)	24
Figura 3 - Condução de calor através de uma parede plana com Δx de espessura e A de área (Fonte: ÇENGEL; GHAJAR, 2011)	27
Figura 4 - Transferência de calor por convecção entre uma superfície quente e o ar (Fonte: ÇENGEL; GHAJAR, 2011).....	29
Figura 5 - Transferência de calor por radiação entre uma superfície e superfícies vizinhas (Fonte: ÇENGEL; GHAJAR, 2011)	30
Figura 6 - Avaliação do Delta-T na placa 10 no ciclo direto-Fluxo alto nos primeiro e segundo ciclos de avaliação (Fonte: PAVÓN, 2017)	32
Figura 7 - Esquema das abordagens, análises e investigações da termografia infravermelha (Fonte: Adaptado de Bagavathiappan et al., 2013; Kiritat & Krejcar, 2018)	32
Figura 8 - Detecção de descolamento cerâmico em fachada de edifício no período da manhã e noite (Fonte: Bauer et al., 2015).....	35
Figura 9 - Avaliação do Delta-T no ciclo direto de aquecimento sendo (a) imagem digital e croqui da parede (b) termogramas nos ciclos de aquecimento (12 min e 180 min) e arrefecimento (188 min e 300 min) (c) Delta-T no fluxo direto (Fonte: PAVON, 2017)	37
Figura 10 - Determinação da dimensão horizontal da anomalia localizada no edifício E1 às 10h40 a) Termograma com linha traçada sobre a anomalia (b) perfil de temperatura (c) perfil de temperatura suavizado pelo filtro de média móvel (d) mensuração da dimensão da anomalia	41
Figura 11 - Detecção de fissuras em fachada de edifício (a) imagem digital (b) Termograma obtido para determinado instante (t) de inspeção (Fonte: Bauer, et. al., 2016).....	45
Figura 12 - Termograma obtido em investigação de presença de umidade em fachada de edifício (Fonte: BARREIRA et. al., 2016)	46
Figura 13 - Identificação de elementos estruturais em fachada de edifício (Fonte: BAUER et. al., 2015).....	47
Figura 14 - Anomalia (a) sob fluxo de calor direto às 10h40 e (b) sob fluxo de calor inverso às 16h50.....	48

Figura 15 - Princípio da detecção de descolamentos (a) no ciclo de aquecimento (b) ciclo de resfriamento (c) comportamento da temperatura superficial e contraste térmico (Fonte: adaptada de TOMITA e CHEW, 2022)	49
Figura 16 - Identificação de descolamento cerâmico em fachada de edifício (a) termograma (b) imagem digital (Fonte: BAUER et. al., 2015).....	50
Figura 17 - Fluxograma do programa experimental.....	52
Figura 18 - Fachadas do edifício E1 (a) Norte (b) Sul (c) Leste e (d) Oeste (Fonte: Aidar, 2019)	54
Figura 19 - Localização e orientações cardeais das fachadas do edifício E1 (Fonte: AIDAR, 2019).....	55
Figura 20 - Edifício E2 (a) imagem digital (b) localização e orientações cardeais das fachadas (Fonte: AIDAR, 2019)	56
Figura 21 - Edifício E3 (a) imagem digital (b) localização e orientações cardeais das fachadas (Fonte: AIDAR, 2019)	57
Figura 22 - Mensuração da temperatura refletida na fachada Norte, horário de inspeção 12h no edifício E3	59
Figura 23 - Perfil diário de temperaturas superficiais e temperatura ambiente do edifício E1	60
Figura 24 - Anomalia localizada na orientação Norte do edifício E1 (a) sob fluxo de calor direto às 10h40 e (b) sob fluxo de calor inverso às 16h50	61
Figura 25 - Determinação da zona sem anomalia e $T_{SA_{REF}}$ às 10h40.....	63
Figura 26 – Determinação da zona com anomalia e T_{CA} às 10h40.....	64
Figura 27 - Anomalias de descolamento cerâmico investigadas no Edifício E1	68
Figura 28 - Resultados do Delta T no edifício E1 para (a) Orientação Norte e Sul – Ciclo A e (b) Orientação Norte e Sul – Ciclo B (c) Orientação Leste e Oeste – Ciclo A e (d) Orientação Leste e Oeste – Ciclo B	69
Figura 29 – Resultados do Delta T_{cor} no edifício E1 para (a) Orientação Norte e Sul – Ciclo A e (b) Orientação Norte e Sul – Ciclo B (c) Orientação Leste e Oeste – Ciclo A e (d) Orientação Leste e Oeste – Ciclo B	72
Figura 30 - Resultados de Delta T x Fluxo térmico do edifício E1	77
Figura 31 - Resultados de Delta T_{cor} x Fluxo térmico do edifício E1	77
Figura 32 - Resultados do Delta T no edifício E2 para (a) Orientação Norte e Oeste – Ciclo A e (b) Orientação Norte e Oeste – Ciclo B (c) Orientação Leste – Ciclo A e (d) Orientação Leste – Ciclo B.....	78

Figura 33 - Resultados do Delta Tcor no edifício E2 para (a) Orientação Norte e Oeste – Ciclo A e (b) Orientação Norte e Oeste – Ciclo B (c) Orientação Leste – Ciclo A e (d) Orientação Leste – Ciclo B.....	82
Figura 34 – Resultados do Delta T no o edifício E3 para (a) Orientação Norte e Sul – Ciclo A e (b) Orientação Norte e Sul – Ciclo B (c) Orientação Leste e Oeste – Ciclo A e (b) Orientação Leste e Oeste – Ciclo B.....	84
Figura 35 - Resultados do Delta Tcor no o edifício E3 para (a) Orientação Norte e Sul – Ciclo A e (b) Orientação Norte e Sul – Ciclo B (c) Orientação Leste e Oeste – Ciclo A e (d) Orientação Leste e Oeste – Ciclo B.....	88
Figura 36 - Resultados de Delta T x Delta Tcor dos edifícios E1, E2 e E3.....	91
Figura 37 - Resultados de Delta T x Dimensão horizontal das anomalias dos edifícios E1, E2 e E3.....	94

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Materiais e espessura das camadas do elemento construtivo simulado	43
Tabela 2 - Fatores de controle do estudo e variáveis dependentes.....	53
Tabela 3 - Horários de inspeção (Fonte: AIDAR, 2019)	57
Tabela 4 - Determinação do Delta T para o edifício E1	70
Tabela 5 - Determinação do Delta Tcor para o edifício E1	74
Tabela 6 - Determinação do Delta T para o edifício E2.....	80
Tabela 7 - Determinação do Delta Tcor para o edifício E2	83
Tabela 8 - Determinação do Delta T para o edifício E3.....	86
Tabela 9 - Determinação do Delta Tcor para o edifício E3	89
Tabela 10 - Delta Tcor de referência na caracterização de descolamentos cerâmicos	92
Tabela 11 - Determinação da dimensão horizontal das anomalias investigadas.....	95
Tabela 12 - Dados gerais obtidos para cada anomalia	96

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
An	Anomalia
ASTM	American Society for Testing and Materials
Delta T	Contraste térmico absoluto
Delta T _{cor}	Contraste térmico corrido
DIN	German Institute for Standardization
DMM Project	Projeto de pesquisa Degradação de Edifícios – Mensuração e modelação
IFOV	Campo de visão instantâneo = Instantaneous field of view
ISO	International Organization for Standardization
LEM	Laboratório de Ensaios de Materiais
PECC	Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil
T _{CA}	Temperatura de referência de zonas com anomalia
T _{SAREF}	Temperatura de referência de zonas sem anomalia
UnB	Universidade de Brasília
WUFI	Transporte transiente de calor e umidade = Wärme und feuchte instationär

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	19
1.1	JUSTIFICATIVA DA PESQUISA.....	20
1.2	OBJETIVO GERAL.....	21
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
2	TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA APLICADA A INSPEÇÃO DE FACHADAS.....	22
2.1	CONCEITOS GERAIS RELACIONADOS A TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA.....	22
2.2	VARIÁVEIS RELACIONADAS AO EQUIPAMENTO E OBJETO DE ESTUDO	24
<i>2.2.1</i>	<i>Variáveis relacionadas ao equipamento.....</i>	<i>24</i>
<i>2.2.2</i>	<i>Variáveis relacionadas ao objeto alvo.....</i>	<i>25</i>
2.3	PRINCÍPIOS BÁSICOS DO FLUXO DE CALOR E TEMPERATURAS.....	27
<i>2.3.1</i>	<i>Fluxo de calor por condução.....</i>	<i>27</i>
<i>2.3.2</i>	<i>Fluxo de calor por convecção.....</i>	<i>28</i>
<i>2.3.3</i>	<i>Fluxo de calor por radiação.....</i>	<i>29</i>
<i>2.3.4</i>	<i>Dinâmica do fluxo térmico aplicado ao estudo de paredes.....</i>	<i>31</i>
2.4	CLASSIFICAÇÃO DA TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA.....	32
<i>2.4.1</i>	<i>Termografia passiva e ativa.....</i>	<i>33</i>
<i>2.4.2</i>	<i>Termografia qualitativa e quantitativa.....</i>	<i>34</i>
2.5	TERMOGRAFIA QUANTITATIVA NA INVESTIGAÇÃO DE ANOMALIAS NAS FACHADAS.....	36
<i>2.5.1</i>	<i>Funções de contraste.....</i>	<i>36</i>
<i>2.5.2</i>	<i>Investigação termográfica da anomalia.....</i>	<i>40</i>
2.6	A SIMULAÇÃO HIGROTÉRMICA COMO FERRAMENTA AUXILIAR DA TERMOGRAFIA NA INSPEÇÃO DE FACHADAS.....	42
2.7	INVESTIGAÇÃO DE ANOMALIAS EM RELAÇÃO AO FLUXO DE CALOR NAS FACHADAS.....	44
<i>2.7.1</i>	<i>Fissuras.....</i>	<i>44</i>
<i>2.7.2</i>	<i>Umidade.....</i>	<i>45</i>

2.7.3	<i>Presença de vazios e elementos ocultos</i>	46
2.7.4	<i>Descolamentos</i>	48
3	METODOLOGIA	51
3.1	VARIÁVEIS DE PESQUISA	52
3.2	EDIFÍCIOS DE ESTUDO	54
3.2.1	<i>Edifício E1</i>	54
3.2.2	<i>Edifício E2</i>	55
3.2.3	<i>Edifício E3</i>	56
3.2.4	<i>Horários de inspeção e condições ambientais</i>	57
3.2.5	<i>Inspeção termográfica e equipamentos utilizados</i>	58
3.2.6	<i>Determinação da emissividade e temperatura refletida</i>	58
3.3	ETAPA 1: REALIZAÇÃO DO ESTUDO PILOTO EDIFÍCIO E1	59
3.3.1	<i>Avaliação das temperaturas superficiais e gradientes de temperatura</i>	59
3.3.2	<i>Análise qualitativa dos termogramas</i>	61
3.3.3	<i>Análise quantitativa dos termogramas</i>	61
3.3.3.1	<i>Determinação da temperatura sem defeito</i>	62
3.3.4	<i>Determinação dos contrastes térmicos</i>	64
3.4	ETAPA 2: APLICAÇÃO DA ANÁLISE QUANTITATIVA AOS EDIFÍCIOS E2 E E3	65
3.5	ETAPA 3: DETERMINAÇÃO DA ROTINA DE ANÁLISE QUANTITATIVA	65
4	RESULTADOS	67
4.1	ETAPA 1 – ESTUDO PILOTO EDIFÍCIO E1	67
4.1.1	<i>Determinação do Delta T edifício E1</i>	67
4.1.2	<i>Determinação do Delta Tcor edifício E1</i>	72
4.2	ETAPA 2 – EDIFÍCIOS E2 e E3	78
4.2.1	<i>Determinação Delta T edifício E2</i>	78
4.2.2	<i>Determinação Delta Tcor edifício E2</i>	81
4.2.3	<i>Determinação Delta T edifício E3</i>	84
4.2.4	<i>Determinação Delta Tcor edifício E3</i>	87
4.2.5	<i>Determinação do indicador Delta Tcor</i>	90
4.3	ETAPA 3 – MENSURAÇÃO DAS DIMENSÕES DAS ANOMALIAS E PROPOSTA DE ROTINA DE ANÁLISE QUANTITATIVA	93

<i>4.3.1 Proposição de rotina de análise quantitativa</i>	95
4.4 SÍNTESE DOS RESULTADOS OBTIDOS	96
5 CONCLUSÕES	99
5.1 SUGESTÕES PARA DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	101
6 REFERÊNCIAS	102

Apêndice A - Determinação da $T_{SA_{REF}}$ para anomalia localizada na orientação Norte do edifício E3 no horário de 12h	111
Apêndice B - Determinação da T_{CA} para anomalia localizada na orientação Norte do edifício E3 no horário de 12h	112
Apêndice C - Anomalias de descolamento cerâmico investigadas nos edifícios E2	113
Apêndice D - Anomalias de descolamento cerâmico investigadas nos edifícios E3	114
Apêndice E - Determinação das temperaturas de referência $T_{SA_{REF}}$ e T_{CA} para o edifício E1	116
Apêndice F - Temperaturas de referência $T_{SA_{REF}}$ e T_{CA} para o edifício E2	117
Apêndice G - Temperaturas de referência $T_{SA_{REF}}$ e T_{CA} para o edifício E3	118
Apêndice H - Determinação dos gradientes de temperatura do edifício E1	120
Apêndice I - Dimensão horizontal das anomalias do edifício E1	121
Apêndice J - Dimensão horizontal das anomalias do edifício E2	125
Apêndice K - Dimensão horizontal das anomalias do edifício E3	128
Apêndice L - Capacidade de detecção das anomalias em função da $T_{SA_{REF}}$ E1	132
Apêndice M - Capacidade de detecção das anomalias em função da $T_{SA_{REF}}$ E2	133
Apêndice N - Capacidade de detecção das anomalias em função da $T_{SA_{REF}}$ E3	134

1 INTRODUÇÃO

As edificações ao longo de sua vida útil são solicitadas de diversas formas, sendo uma delas por meio da ação de agentes de degradação que podem ser de uma única natureza ou resultado da combinação de diferentes naturezas, a saber: térmica, químico, mecânico, biológico e eletromagnético (ISO 15686-2, 2012). Dentre os elementos que constituem as edificações, as fachadas e cobertura são os que mais sofrem com a interação em relação aos agentes de degradação, uma vez que representam a primeira barreira diante de sua ação. Com isso, o revestimento da fachada, além de agregar valor estético à edificação, possui a função de proteger o edifício.

Com o intuito de preservar a integridade das edificações, devem ser realizadas manutenções com o decorrer dos anos para assegurar o funcionamento dos sistemas e do correto desempenho, segundo as necessidades e segurança dos usuários (ABNT NBR 15575, 2021). As manutenções também são realizadas com o objetivo de restaurar o desempenho pela ação de degradação devido à ação dos agentes causadores de danos, que podem surgir na forma de descolamento do revestimento (seja em placas cerâmicas ou em argamassa), falhas de vedação e rejunte, fissuração e eflorescências. Quando a identificação de anomalias é realizada no estágio inicial, elas podem receber tratamento adequado e possivelmente com menor custo. Uma vez que esta detecção é realizada de forma tardia, a gravidade e extensão dos danos, assim como os custos de reparo tendem a serem maiores (SILVA, et. al., 2016; BAUER, et. al., 2011; NASCIMENTO, 2016).

Dentre as tecnologias desenvolvidas como forma de auxílio às inspeções de fachadas, encontra-se a técnica da termografia infravermelha que consiste em um ensaio não destrutivo, utilizado em inspeções de edifícios. A aplicação sem a necessidade de contato com o objeto alvo e a partir da captação da radiação infravermelha, realiza a transformação em dados de temperatura, por meio de níveis visíveis de imagem através da faixa infravermelha do espectro eletromagnético (MADRUGA et al., 2010; MALDAGUE, 2001).

As imagens captadas por meio da câmera infravermelha são os termogramas, sendo estes obtidos em tempo real à realização da inspeção. A interpretação dos termogramas permite a detecção de anomalias nas fachadas, haja vista que a presença de defeitos perturba o fluxo térmico e gera alterações visíveis no comportamento de temperatura dos termogramas. Em meio às anomalias que podem ser identificadas por meio dos termogramas podemos destacar os descolamentos, as fissuras, a umidade, os elementos ocultos, entre outros.

A termografia infravermelha apresenta diferentes aplicações nas áreas de engenharia civil como no estudo de eficiência energética e sistemas de isolamento de edificações

(BARREIRA & FREITAS, 2007; BARREIRA et. al., 2017; JOPPOLO, et. al., 2017; LERMA, et. al., 2018; LUCCHI, 2018; KAYMAZ, 2019; GIL-VALVERDE, et. al., 2021), presença de elementos ocultos (NOWAK, et. al., 2010; LAI, et. al., 2015; HUH, et. al., 2018; MAC, et. al., 2019), presença de umidade em edificações (EDIS, et. al., 2014; BARREIRA, et. al., 2016; BARREIRA & ALMEIDA, 2019; RUIZ, et. al., 2019; GARRIDO, et. al., 2020), investigações em patrimônio histórico edificado (CERDEIRA et. al., 2011; MARTÍNEZ, et. al., 2013; GARRIDO, et. al., 2020;), detecção de elementos estruturais (BAUER & PAVÓN, 2015; BAUER et. al., 2016), detecção de descolamentos cerâmicos (BAUER & PAVÓN, 2015; EDIS, et. al., 2015; PAVÓN, 2017; AIDAR, 2019; TANAKA & PAVON, 2021) e detecção de fissuras (FREITAS et. al., 2014; BAUER et. al., 2016; BAUER et al., 2018; MILHOMEM, 2019).

A investigação da degradação de edifícios e o desenvolvimento de metodologias de inspeção são necessárias devido às demandas dos grandes centros urbanos. Esta pesquisa encontra-se inserida na linha de pesquisa da temática Desempenho, Vida Útil, Degradação e Patologia no Ambiente Construído e faz parte do projeto de pesquisa Degradação de Edifícios – Mensuração e modelação (DMM Project) desenvolvida no Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil (PECC) da Universidade de Brasília (UnB). Ele contribui com a investigação da degradação de fachadas por meio do emprego da termografia infravermelha quantitativa na identificação e determinação da gravidade de anomalias.

Vale ressaltar que diversos trabalhos são desenvolvidos com foco na investigação da degradação de sistemas de revestimentos e de fachadas, assim como na análise de patologias. Para esse fim, alguns trabalhos aplicam a termografia infravermelha na inspeção de fachadas para detecção de anomalias (PAVÓN, 2017; AIDAR, 2019; MILHOMEM, 2019), estimativa da degradação de fachadas de edifícios (ANTUNES, 2010; SILVA, 2014; COSTA, 2014; SOUZA, 2016; PINHEIRO, 2016; HENRIQUE, 2017; SANTOS, 2018; PIAZZAROLLO, 2019; SOUZA, 2019), estudo da influência dos agentes climáticos de degradação no comportamento higrotérmico de fachadas (ZANONI, 2015), estudo do desempenho e durabilidade (BELISÁRIO, 2016) e a simulação higrotérmica como ferramenta para estudo dos mecanismos de ação dos agentes de degradação (NASCIMENTO, 2016).

1.1 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

As técnicas de inspeção não destrutivas são empregadas há anos, porém há um desenvolvimento representativo nas últimas décadas dessas ferramentas devido à efetividade de suas aplicações para fins de controle de qualidade. A realização de inspeções rotineiras

aliadas a manutenções periódicas de fachadas pode garantir que o desempenho e durabilidade sejam assegurados aos edifícios (MADRUGA et. al., 2010).

No Brasil, a norma de desempenho ABNT NBR 15575 (2021) padroniza requisitos e critérios a serem atendidos pelos sistemas da edificação, de forma a satisfazer o desempenho esperado com base nas exigências dos usuários. O cumprimento destes requisitos e critérios é verificado a partir de ensaios e técnicas, preferivelmente não destrutivos. A aplicação da termografia na inspeção de fachadas de edifícios permite obter informações associadas à degradação. O pós-processamento dos termogramas permite apontar o grau de severidade das anomalias detectadas, esse procedimento confere agilidade as inspeções devido à facilidade de emprego da técnica, desde que operada por termografista habilitado (ABNT NBR 16969, 2021).

Na área da construção civil, a termografia infravermelha é aplicada como um método padronizado que leva em consideração as variáveis envolvidas principalmente em aplicações em campo, tais como: a atenuação atmosférica, a radiação solar, a velocidade do vento, a névoa, o nevoeiro e a chuva (ABNT NBR 16969, 2021). Outras variáveis são: a distância de medição, ângulo de obtenção e a rotina correta de análise dos termogramas.

Nessa perspectiva, é necessário o desenvolvimento de estudos que considerem as variáveis mencionadas e que proponham uma rotina de análise quantitativa das inspeções termográficas de fachadas. Assim, é possível definir critérios para análise e detecção de anomalias nas fachadas através dos termogramas obtidos. A investigação e análise propostas buscam auxiliar na determinação de critérios de análise quantitativa a serem implementados na análise dos termogramas, auxiliando na identificação e determinação da gravidade das anomalias. Além disso, outro intuito dos critérios é reduzir a subjetividade das análises, propondo uma rotina a ser seguida e minimizar as conclusões errôneas que podem ser obtidas através de um termograma.

1.2 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste estudo é desenvolver critérios de análise para detecção e diagnóstico de anomalias de descolamento cerâmico, com emprego da análise quantitativa em termogramas obtidos por meio de inspeções termográficas aplicadas em fachadas de edifícios com revestimento em placas cerâmicas.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos desta pesquisa têm-se:

- Definir critérios quantitativos de contraste absoluto (Delta T) e contraste corrido (Delta Tcor) para avaliação de descolamentos cerâmicos de fachadas de edifícios;
- Com base na avaliação quantitativa da evolução dos termogramas, apontar valores de referência associados a detecção de descolamentos cerâmicos de fachadas;
- Avaliar a dimensão das anomalias de descolamento cerâmico investigadas em função dos critérios quantitativos de análise;
- Elaborar uma rotina de análise quantitativa por meio de critérios de análise, para avaliação de descolamentos cerâmicos em inspeções termográficas de fachadas de edifícios.

2 TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA APLICADA A INSPEÇÃO DE FACHADAS

A termografia infravermelha é aplicada na inspeção de fachadas visto que é uma técnica que permite a avaliações em tempo real e sem contato, conferindo agilidade e precisão aos diagnósticos de condições de durabilidade e desempenho (MALDAGUE, 2001; KYLILI et. al., 2014; GARRIDO et. al., 2018). As variáveis relacionadas aos materiais e as condições climáticas (emissividade, radiação solar, temperatura ambiente, entre outras) podem influenciar nas avaliações e devem ser consideradas no momento de realização da inspeção. Com isso, a abordagem e investigação dos principais conceitos relacionados à termografia, ferramentas de análise e aplicações nas inspeções de fachada para detecção de anomalias e defeitos se fazem necessárias para o avanço do conhecimento nessa área.

2.1 CONCEITOS GERAIS RELACIONADOS A TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA

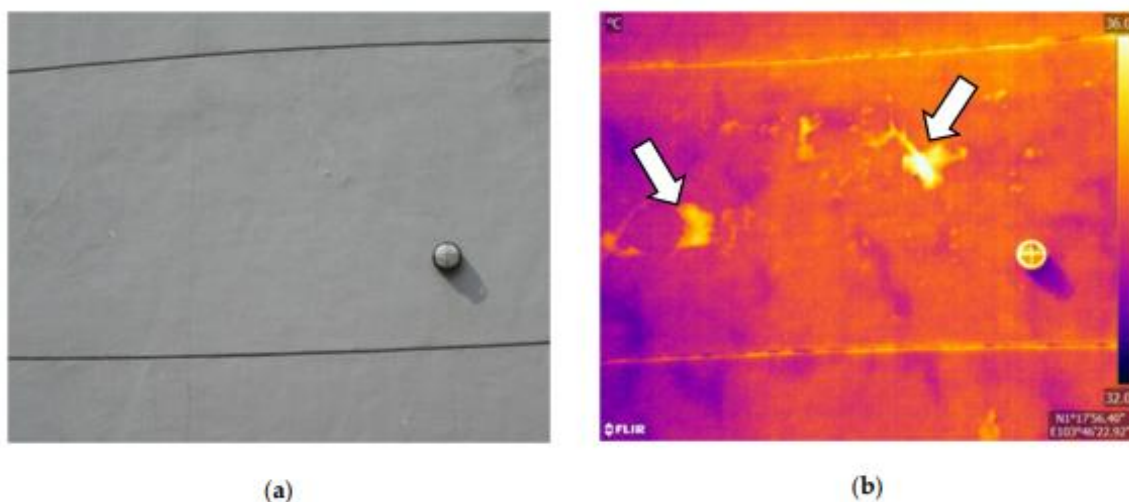
A inspeção termográfica de fachadas permite a partir da avaliação dos termogramas obtidos, a detecção e avaliação de anomalias. A mensuração da radiação infravermelha emitida naturalmente pelo objeto alvo da inspeção é convertida em temperatura nos termogramas que possibilitam medições das variações de irradiação infravermelha. Vale ressaltar que existe uma correlação entre a radiação emitida por um objeto e sua temperatura (MADRUGA et. al., 2010; MALDAGUE, 2001; BAUER, et. al., 2014; ABNT NBR 16969, 2021).

Os termogramas são as imagens térmicas resultantes da radiação infravermelha emitida pelo objeto alvo. A radiação infravermelha ao ser captada é transformada através da câmera infravermelha em níveis visíveis de imagem por meio da faixa infravermelha do espectro

eletromagnético. A radiação emitida por um objeto é captada, transformada em sinal elétrico e este é processado e convertido em um termograma, onde cada cor representa uma faixa de temperaturas (MALDAGUE, 2001; ABNT NBR 16969, 2021). Através do termograma, é possível observar a distribuição de temperaturas superficiais de um objeto e identificar a presença de anomalias térmicas que alteram o padrão de distribuição das temperaturas.

A Figura 1 apresenta um descolamento identificado na superfície da fachada do edifício investigado no ciclo de aquecimento. A Figura 1 (a) apresenta a imagem digital da zona investigada e a Figura 1 (b) apresenta o termograma obtido, indicando os pontos mais quentes que revelam a presença de descolamento cerâmico. Na Figura 1 (b), a zona com possível presença de descolamento mostra-se com temperaturas superiores ao restante da fachada, indicando que a superfície dessa zona se encontra mais aquecida quando comparada ao restante da fachada.

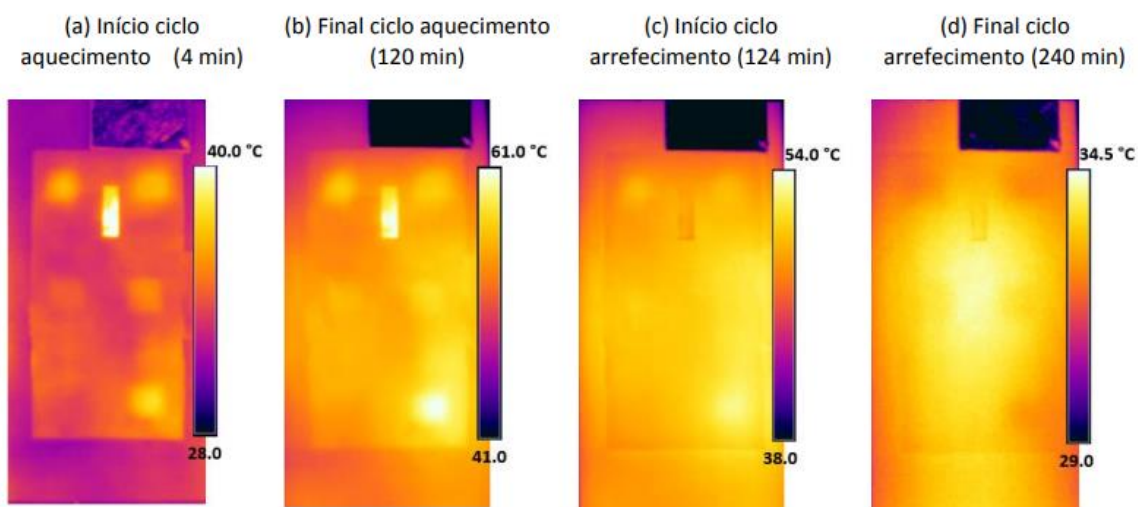
Figura 1 - Investigação de descolamentos em fachada usando a termografia (a) imagem digital (b) termograma (Fonte: TOMITA e CHEW, 2022)



Na Figura 2, são apresentados os termogramas que realizam uma investigação na detecção de defeitos inseridos em uma placa em argamassa. Avalia-se detecção de seis defeitos inseridos na placa, sendo eles o poliestireno, o vazio, tijolo maciço cerâmico, tijolo vazado cerâmico, concreto e madeira. Os defeitos encontram-se sob uma camada de revestimento em argamassa e são avaliados nos ciclos de aquecimento e arrefecimento em laboratório. A Figura 2 (a) mostra o momento inicial do aquecimento e observa-se que a visibilidade dos defeitos é maior nesse momento do que quando comparado com a Figura 2 (b) com o termograma a 120 minutos, que consiste no momento em que a fonte de aquecimento é desligada. Isso ocorre devido ao fato de que nesse momento representado na Figura 2 (b) as temperaturas das zonas

dos defeitos e do restante da placa passaram por crescimento, por isso, tendem à estabilização dos valores. No arrefecimento a visibilidade dos defeitos é reduzida, tanto no momento inicial (Figura 2 (c)) quanto no momento final (Figura 2(d)). Observa-se que, nos diferentes horários de avaliação, os defeitos apresentam diferentes distribuições de cores, ou seja, o comportamento das temperaturas superficiais é alterado. Isso mostra que, independente da condição do fluxo de calor na placa, é possível identificar os defeitos, mesmo com capacidade de visualização reduzida.

Figura 2 - Termogramas obtidos da placa no ciclo direto nos tempos (a) 4 minutos (b) 120 minutos (c) 124 minutos e (d) 240 minutos (Fonte: PAVON, 2017; LUCENAS, et. al., 2021)



2.2 VARIÁVEIS RELACIONADAS AO EQUIPAMENTO E OBJETO DE ESTUDO

Na aplicação da termografia infravermelha e obtenção dos termogramas algumas variáveis devem ser consideradas com o intuito de minimizar interferências nos resultados de temperatura obtidos. As variáveis podem ser distribuídas em dois grupos, o primeiro referente ao equipamento e o segundo ao objeto alvo.

2.2.1 Variáveis relacionadas ao equipamento

Em relação ao equipamento, têm-se as variáveis de resolução, o IFOV, o foco e o ângulo de visão. A resolução geométrica pode ser definida como a quantidade de pixel que a imagem é capaz de representar. O IFOV (“Instantaneous Field Of View”) corresponde à dimensão do detector projetado por meio das lentes da câmera e determina o menor objeto capaz de ser identificado. O IFOV tem como unidade de medida o miliradiano (mrad), sendo observado que

quanto menor o seu valor e maior a resolução da câmera, os termogramas obtidos apresentam maior precisão e nitidez (ITC, 2008; PAVÓN,2017).

O foco térmico da câmera termográfica deve ser considerado na obtenção das imagens térmicas uma vez que algum erro no ajuste pode acarretar em imprecisão nas temperaturas medidas. Apesar do foco, o IFOV e o ângulo de visão são variáveis do equipamento que depende da lente, o foco em si apresenta característica operacional, uma vez que o operador da câmera é responsável pelo seu ajuste adequado em relação ao objeto alvo. O ângulo de visão corresponde ao tamanho do ponto de medição. Quando empregada à lente da própria câmera termográfica, tem-se 0,6 a 3,7 mrad e ângulo de visão entre 7 e 80 graus, sendo mais aplicadas até 25 graus (ITC, 2008).

2.2.2 Variáveis relacionadas ao objeto alvo

As principais influências sobre o termograma obtido para o objeto alvo são a emissividade, a reflexão e a distância. Esses aspectos são mensurados em campo e cabe ao operador sua correta determinação, pois o erro na determinação destes parâmetros afeta os resultados de temperatura obtidos. A emissividade é o primeiro parâmetro a ser determinado e consiste na capacidade de emissão de energia infravermelha de uma superfície em relação à energia emitida por um corpo negro. Dentre os fatores que podem influenciar na emissividade estão o tipo de material, a textura da superfície, a geometria do objeto, o ângulo de visão, o comprimento de onda e a temperatura. Os valores de emissividade variam de 0 a 1 (adimensional), sendo o valor 1 (um) correspondente ao corpo negro. Essa comparação entre o objeto alvo e o corpo negro considera o comprimento de onda e temperatura iguais. A emissividade é afetada por alterações na temperatura, no ângulo de obtenção dos termogramas e no comprimento de onda (ITC, 2008; ABNT NBR 16969, 2021).

Os materiais utilizados na construção civil como os revestimentos cerâmicos apresentam emissividade superior a 0,8 o que traz confiabilidade as temperaturas obtidas nos termogramas, pois quanto mais alto o valor de emissividade de determinada superfície, maior sua energia radiante emitida e captada pela câmera, em comparação a superfícies e objetos vizinhos. Em contrapartida, para baixos valores de emissividade, um corpo se torna mais suscetível a erros devido à energia captada pela câmera, uma vez que tendem a apresentar temperatura semelhante à de objetos próximos (ITC, 2008; BAGAVATHIAPPAN et al., 2013; BARREIRA et al., 2016; PAVÓN, 2017).

Outro aspecto a ser considerado na aplicação da termografia infravermelha é a reflexão. A presença de reflexos pode gerar perturbações de temperatura nos termogramas e conduzir a

conclusões equivocadas. A influência dos reflexos é observada principalmente em investigações de campo e superfícies com acabamento muito lisos e com brilho, pois tendem a refletir a radiação infravermelha de outros objetos. Para minimizar essa influência é mensurada a temperatura aparente refletida que consiste na radiação emitida por objetos vizinhos sobre o objeto alvo, que somada à radiação deste pode gerar erros nas medições de temperatura, uma vez não compensada, sendo obtida através do método do papel de alumínio corrugado (ASTM E1862, 2014; ABNT NBR 16969, 2021). Uma alternativa para reduzir a influência das reflexões é alterar a posição da câmera termográfica em relação ao alvo e observar se os comportamentos de temperatura sofrem alterações. Aplicações em campo e principalmente sobre a forte incidência solar, como nas investigações de fachadas de edifícios, tendem a apresentar esse fenômeno (BAUER E PAVÓN, 2015).

A distância influencia na precisão do termograma, mas não necessariamente no Delta-T obtido. O Delta-T consiste na diferença de temperatura obtida através do termograma, entre uma zona com anomalia e uma zona sem presença de anomalia. É observado que quanto maior a distância, maior será a área representada por um pixel na imagem e, com isso, menor quantidade de pixels disponível para análise. Na avaliação termográfica de edifícios, estudos concluem que até 10 metros de distância entre a câmera termográfica e o objeto alvo não apresentam alterações relevantes nos Delta-T obtidos. Vale ressaltar que a distância é um parâmetro muito particular relacionado ao equipamento utilizado e características do objeto alvo e edifício (BARREIRA et al., 2015).

Os estudos desenvolvidos evidenciam que erros na emissividade são mais críticos na termografia quantitativa. Em relação a influência da emissividade, temperatura aparente refletida e a distância, em revestimentos cerâmicos e revestimentos em argamassa, os erros resultantes da variação da temperatura aparente refletida e da distância, são pequenos quando comparados a variação da emissividade (BAUER et. al. (2015).

Outras variáveis que também influenciam nos resultados de temperatura do objeto investigado é o ângulo de obtenção das imagens, uma vez que influencia na emissividade que varia a depender do ângulo de obtenção para objetos não planos (AIDAR et. al., 2018; BAUER et. al., 2015). Alguns estudos avaliaram a influência entre o ângulo e a distância de obtenção nas temperaturas dos termogramas, concluíram que o ângulo apresenta maior influência que a distância nas temperaturas obtidas, sendo observadas maiores alterações naqueles termogramas com maiores variações angulares (MILHOMEM et al., 2018). É importante destacar que as condições ambientais também influenciam, uma vez que a radiação solar, a temperatura

ambiente e a umidade afetam as condições de intensidade do fluxo térmico sobre o objeto alvo, principalmente quando esse alvo são as fachadas de edifícios (BAUER, et. al., 2016).

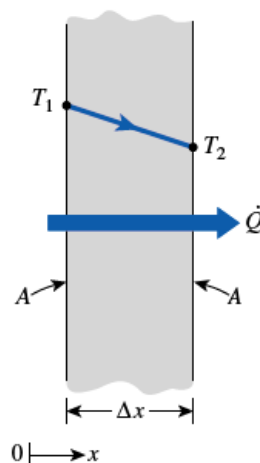
2.3 PRINCÍPIOS BÁSICOS DO FLUXO DE CALOR E TEMPERATURAS

O estudo do fluxo de calor ao longo das fachadas dos edifícios permite identificar e caracterizar anomalias no revestimento, uma vez que a presença de uma anomalia altera o fluxo de calor e conseqüentemente o comportamento das temperaturas ao longo do termograma. O fluxo de calor consiste na transferência de calor resultante das diferenças de temperatura. Sempre que houver um diferencial de temperaturas entre meios, existe transferência ou fluxo de calor (INCROPERA, 2014). Na investigação do comportamento das fachadas de edifícios diante dos modos de transferência de calor, devem-se considerar os modos de condução, convecção e radiação. Cada modo de transferência de calor apresenta seus respectivos mecanismos de fluxo, sendo esses abordados a seguir.

2.3.1 Fluxo de calor por condução

A condução é um modo de transferência de calor que ocorre devido à transferência de energia entre partículas, no sentido de maior energia para menor energia. Esse tipo de fluxo pode ocorrer em sólidos, líquidos e gases. Nos sólidos, o mecanismo que atua na transferência de energia são as vibrações entre moléculas em rede, sendo transportadas por elétrons livres (ÇENGEL; GHAJAR, 2011). A Figura 3 apresenta um esquema de transferência de calor pelo modo de condução, através de uma parede plana.

Figura 3 - Condução de calor através de uma parede plana com Δx de espessura e A de área
(Fonte: ÇENGEL; GHAJAR, 2011)



Para cada modo de transferência de calor é possível mensurar o fluxo de energia que está sendo transportado de um meio a outro. O fluxo de calor por condução pode ser explicado pela Lei de Fourier apresentada na equação 1 (INCROPERA, 2014).

$$Q = k \cdot A \frac{T_1 - T_2}{L} = k \cdot A \frac{\Delta T}{L}$$

Equação (1)

Onde:

Q : Fluxo de calor por condução (W/m²);

k : Condutividade térmica (W/m.K);

T_1 : Temperatura da superfície externa (°C);

T_2 : Temperatura da superfície interna (°C);

L : Comprimento (m);

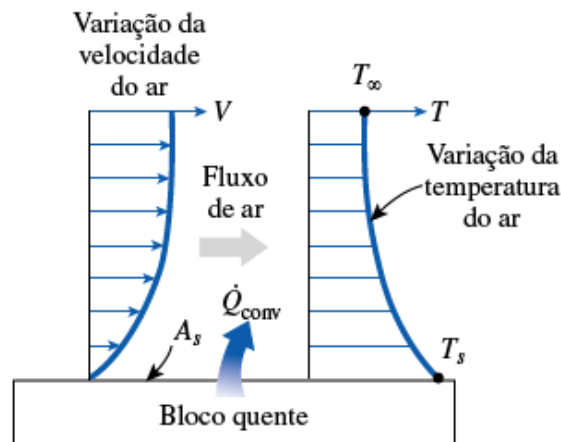
A : Área da superfície (m²).

2.3.2 Fluxo de calor por convecção

A transferência de calor por convecção ocorre basicamente por dois mecanismos, sendo a difusão que ocasionada devido ao movimento molecular aleatório e ao movimento macroscópico do fluido. O transporte de calor mais avaliado por convecção está no contato entre um fluido em movimento e uma superfície, que se encontram em temperaturas diferentes. A natureza de movimento do fluido dá origem a dois tipos de convecção. O primeiro é denominado convecção forçada, sendo necessários meios externos como bombas, ventiladores e ventos atmosféricos para gerar o deslocamento. O segundo tipo de convecção consiste na livre ou natural, no qual o escoamento é resultado de variações de temperatura no fluido que induzem diferenças de densidade e resultam em forças de empuxo, gerando o deslocamento do fluido (INCROPERA, 2014).

A Figura 4 demonstra um esquema de fluxo de calor por convecção entre uma superfície e o ar. Observa-se que o bloco quente transfere calor por convecção à camada de ar adjacente e posteriormente o calor transferido até a camada de ar, é transportado para longe da superfície do bloco através da convecção. Outro aspecto na transferência de calor por convecção do ar está no movimento da massa do ar, que substitui o ar aquecido por ar mais frio na região próxima à superfície e conduz o ar aquecido para longe da superfície (ÇENGEL; GHAJAR, 2011).

Figura 4 - Transferência de calor por convecção entre uma superfície quente e o ar (Fonte: ÇENGEL; GHAJAR, 2011)



No fluxo de calor por convecção, a determinação da taxa de transferência de calor é complexa, devido ao movimento do fluido e a forma como a troca de calor evolui para o interior deste. Porém, é observado que a taxa é proporcional à diferença de temperatura, podendo assim ser explicada pela lei de Newton do resfriamento, segundo a equação 2 (ÇENGEL; GHAJAR, 2011).

$$Q_{conv} = h \cdot A_S (T_S - T_{\infty})$$

Equação (2)

Onde:

Q_{conv} : Fluxo de calor por convecção (W/m²);

h : Coeficiente de transferência de calor por convecção (W/m².K);

A_S : Área da superfície (m²);

T_S : Temperatura da superfície (°C);

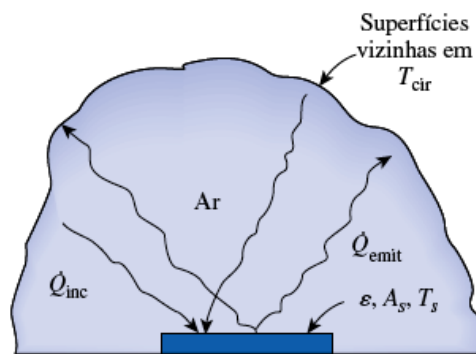
T_{∞} : Temperatura do fluido suficientemente longe da superfície (°C).

2.3.3 Fluxo de calor por radiação

A radiação térmica consiste na emissão de energia térmica em forma de ondas eletromagnéticas por um corpo com temperatura diferente de zero, sendo essas ondas eletromagnéticas resultado de alterações na configuração eletrônica dos átomos. A radiação pode ser emitida por superfícies sólidas, líquidos e gases e na transferência de calor não necessita de um meio interveniente, como a condução e convecção, ocorrendo de forma mais eficaz no vácuo. A Figura 5 apresenta a transferência de calor por radiação entre uma superfície e superfícies vizinhas, separadas por um fluido (ar). A superfície com determinada emissividade

(capacidade de emissão de energia térmica), área superficial e temperatura termodinâmica (propriedade que determina se haverá ou não deslocamento de calor de um corpo a outro), recebe fluxo de calor incidente das superfícies vizinhas e também emite fluxo de calor, ambos através da transferência de calor por radiação conforme a Figura 5 (INCROPERA, 2014; ÇENGEL; GHAJAR, 2011).

Figura 5 - Transferência de calor por radiação entre uma superfície e superfícies vizinhas (Fonte: ÇENGEL; GHAJAR, 2011)



No estudo do fluxo de calor por radiação os corpos são comparados a um corpo com capacidade de emissividade e absorvidade perfeitas. Para um corpo negro a emissividade e a absorvidade são iguais a 1 (um), sendo considerado um emissor e absorvedor de energia térmica perfeito. É com esse corpo que as superfícies são comparadas por meio da equação 3 que apresenta o fluxo de calor entre uma superfície e superfície vizinha ÇENGEL; GHAJAR, 2011).

$$Q_{rad} = \varepsilon \sigma A_S (T_S^4 - T_{CIR}^4)$$

Equação (3)

Onde:

Q_{rad} : Fluxo de calor por radiação (W/m²);

ε : emissividade (adimensional);

σ : Constante de Steffan – Boltzmann ($\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$);

A_S : Área da superfície (m²);

T_S^4 : Temperatura termodinâmica da superfície (°K);

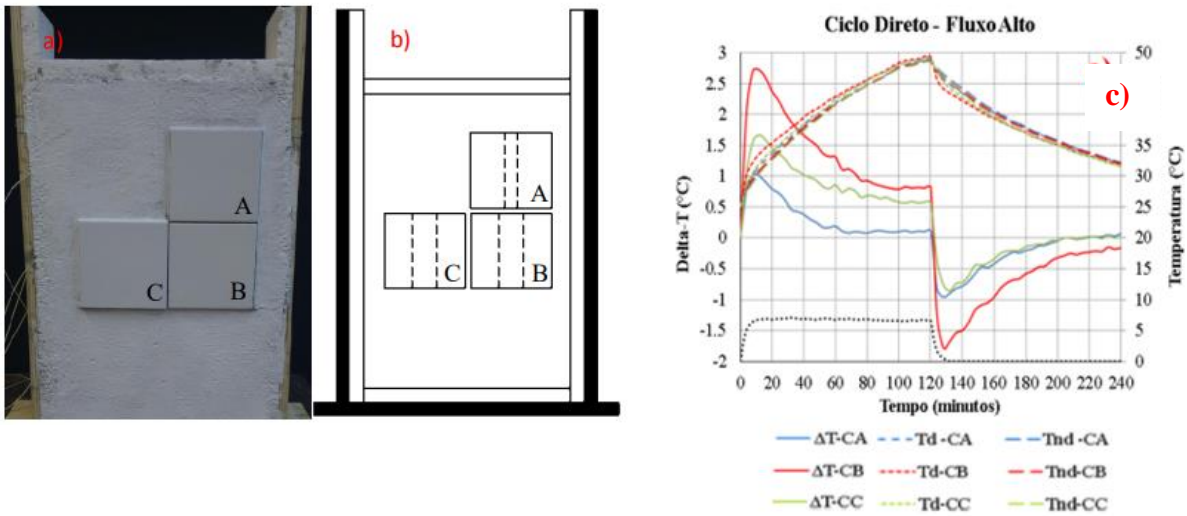
T_{CIR}^4 : Temperatura termodinâmica da superfície vizinha (°K).

2.3.4 Dinâmica do fluxo térmico aplicado ao estudo de paredes

A forma como o fluxo térmico ou fluxo de calor ocorre no objeto alvo da inspeção termográfica influencia diretamente nos termogramas e nas conclusões obtidas. Por esse motivo, a compreensão de como o fluxo ocorre na fachada e sua interferência na investigação facilita o momento de identificação e avaliação das anomalias. Em diferentes condições de fluxo o comportamento das temperaturas superficiais também é alterado e investigar estes padrões de comportamento é indispensável na inspeção termográfica de fachadas de edifícios. O fluxo de calor (Q) nas fachadas pode ser classificado em fluxo direto e inverso, a depender da direção do fluxo de calor. O fluxo direto ocorre quando a temperatura externa é superior a temperatura interna da fachada e o fluxo ocorre no sentido do exterior para o interior do edifício. No fluxo inverso a temperatura interna da fachada é superior a temperatura exterior, e o fluxo ocorre do interior para o exterior do edifício. O fluxo de calor pode ser influenciado pela orientação cardinal da fachada, uma vez que cada orientação recebe diferentes parcelas de incidência de radiação solar. A depender das propriedades térmicas dos revestimentos, o fluxo de calor na fachada pode ser maximizado ou minimizado (PAVON, 2017; FROTA & SCHIFFER, 2001).

A Figura 6 avalia a dinâmica do fluxo de calor em uma placa com três defeitos com espessuras diferentes, inseridos sob a placa cerâmica, nos ciclos de aquecimento e arrefecimento. A fonte de aquecimento superficial encontra-se posicionada na parte frontal da placa (ciclo direto) e com fluxo alto de aquecimento (potência maior das lâmpadas utilizadas para aquecimento). Observa-se no primeiro ciclo de análise (0 a 120 minutos), na Figura 6, que as temperaturas das zonas com defeito (T_d) e zonas sem defeito (T_{nd}) apresentam crescimento contínuo, porém o ΔT aumenta nos primeiros momentos e logo após apresenta diminuição até o momento de 80 minutos onde começa a apresentar resultados constantes. Após o desligamento da fonte de aquecimento inicia-se o segundo ciclo de avaliação, onde observa-se a diminuição das temperaturas T_n e T_{nd} . O ΔT no momento 120 minutos passa a ser negativo, evidenciando a inversão do fluxo de calor e ao longo do segundo ciclo os resultados apresentam redução dos valores até o momento 200 minutos onde tendem a apresentar estabilidade dos valores de ΔT (PAVÓN, 2017).

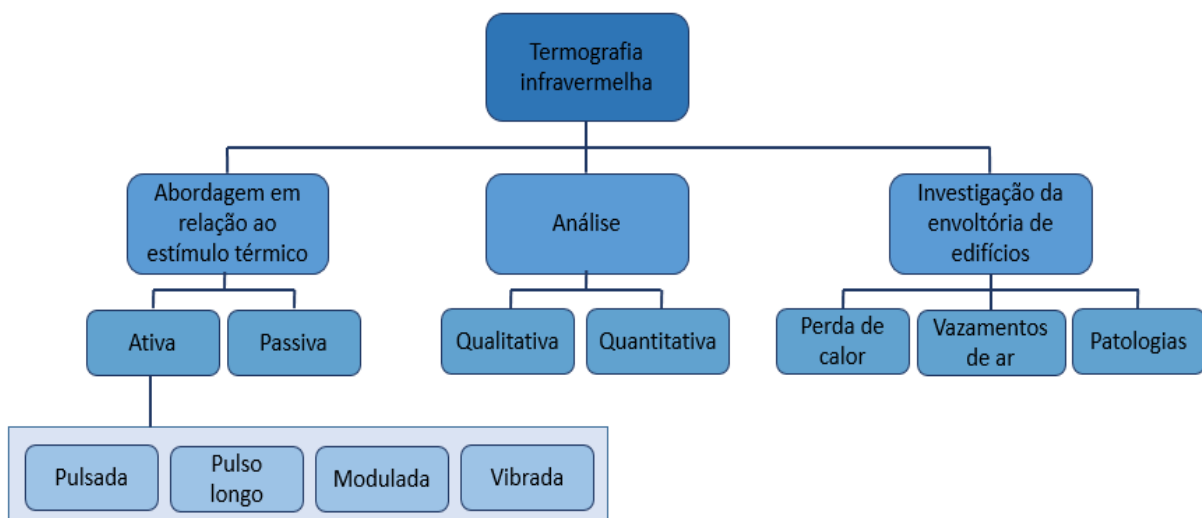
Figura 6 - Avaliação do Delta-T na placa 10 no ciclo direto-Fluxo alto nos primeiro e segundo ciclos de avaliação (Fonte: PAVÓN, 2017)



2.4 CLASSIFICAÇÃO DA TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA

No emprego da termografia infravermelha em avaliações de fachadas de edifícios, destacam-se duas formas de abordagem dentre outras, sendo elas a passiva e a ativa (MALDAGUE, 2001), a depender do tipo de estimulação térmica aplicada. Dentro dessas abordagens existem duas ferramentas de análise dos termogramas obtidos, podendo ser qualitativa e/ou quantitativa. A seguir, na Figura 7, é apresentado um esquema de aplicação da termografia e as principais investigações realizadas por meio dessa técnica.

Figura 7 - Esquema das abordagens, análises e investigações da termografia infravermelha (Fonte: Adaptado de Bagavathiappan et al., 2013; Kirimtat & Krejcar, 2018)



2.4.1 Termografia passiva e ativa

As duas abordagens utilizadas na termografia infravermelha são a passiva e ativa, sendo a diferença entre elas o tipo de estimulação térmica empregada. A estimulação térmica consiste em fontes externas de aquecimento que possibilitam a geração de contraste térmico que permite a avaliação do crescimento das temperaturas na zona de anomalia em relação ao crescimento das temperaturas na zona sem presença de anomalia. O estímulo térmico pode ser natural ou artificial, sendo o sol o principal estimulador térmico natural para fachadas de edifícios. Como estímulo térmico artificial e controlado estão a fonte óptica, indutiva, ultrassom ou gerador de vibração, micro-ondas, lâmpadas halógenas, fonte a laser, entre outras (ABNT NBR 16969, 2021). Na abordagem ativa tem-se o emprego de estímulo térmico artificial e controlado, já na abordagem passiva não se emprega estímulo térmico artificial e sim natural. Independente da estimulação térmica empregada, o contraste térmico gerado entre o objeto analisado e o meio em que este se encontra inserido é o determinante para a avaliação dos termogramas (MALDAGUE, 2001; PEDRA, 2011).

No método passivo nenhum tipo de estimulação térmica artificial é empregado, sendo utilizados os estímulos térmicos naturais provenientes do clima como radiação solar e a temperatura do ar externa. Com isso, a diferença de temperatura entre o objeto alvo e o ambiente envolvente é suficiente para identificação de possíveis anomalias, assim como permite a avaliação do fluxo térmico. Nesta abordagem, principalmente na inspeção de fachadas por meio da termografia, a identificação de anomalias relaciona-se diretamente com o fluxo de calor entre a fachada e o meio envolvente, que depende das condições de exposição do edifício. A interpretação dos termogramas obtidos deve levar em consideração a dinâmica das trocas de calor do elemento (MALDAGUE, 2001; BAUER et. al., 2014).

No método ativo são empregadas estimulações térmicas artificiais e controladas que podem ser do tipo: pulsada ou de pulso curto; de pulso longo; modulada e vibrada. (MALDAGUE, 2001; BAUER, et al., 2014). A pulsada ou pulso longo consiste na rápida modificação da temperatura do objeto pelo pulso térmico instantâneo; o pulso longo é considerado quando o aquecimento ocorre de forma constante e por maior período de tempo observando-se no aquecimento o comportamento das temperaturas; a modulada consiste no aquecimento modulado sinusoidal por meio de ondas térmicas no interior do objeto alvo e a vibrada são induzidas vibrações mecânica no objeto e o calor liberado nas regiões de anomalia, permitem observar o comportamento das alterações de temperaturas.

Nas inspeções de fachada e, principalmente dos sistemas de revestimento, a detecção de anomalias torna-se um processo complexo devido à grande dimensão da fachada a ser

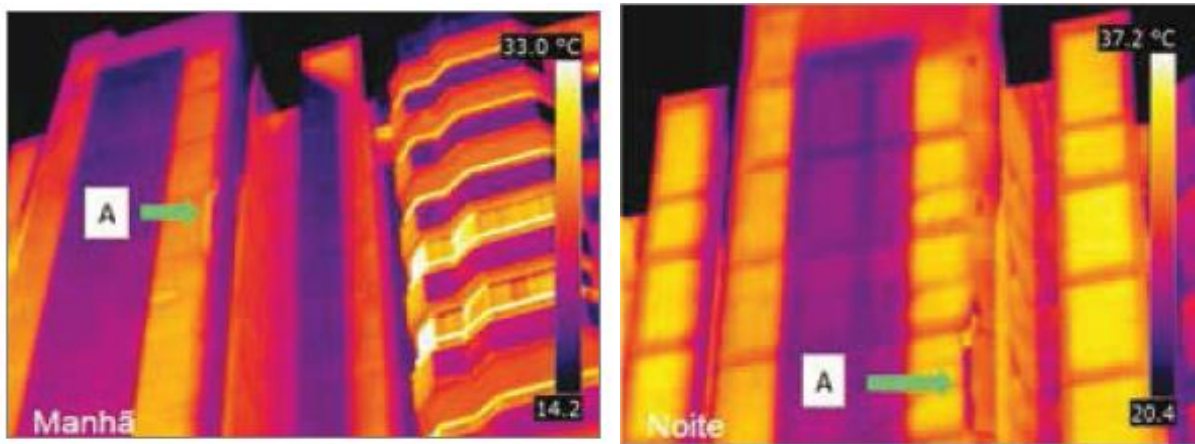
inspecionada e das dificuldades de acesso por colaboradores devido à altura. Outras variáveis envolvidas na inspeção e que conferem complexidade ao processo de inspeção são as diferentes orientações cardeais de fachada, o tipo de revestimento, o coeficiente de absorvância do revestimento da fachada, entre outros. A aplicação da termografia é considerada uma técnica satisfatória para este tipo de investigação uma vez que permite medições sem contato, em tempo real, precisão nas medições e por meio da disposição da imagem nos termogramas permite análises localizadas.

2.4.2 Termografia qualitativa e quantitativa

As abordagens passiva e ativa resultam em imagens térmicas, denominadas termogramas e a análise destes depende do objetivo da investigação realizada. Quando se deseja identificar e localizar parâmetros anormais de temperatura, que caracterizam anomalias térmicas em equipamentos, materiais e elementos construtivos, a análise qualitativa é empregada. Na abordagem qualitativa a gravidade das anomalias pode ser definida com base em padrões de falha. A termografia qualitativa é considerada mais simples, pois consiste na observação dos parâmetros de temperatura, com o objetivo de identificar pontos mais quentes ou frios em relação ao padrão das temperaturas obtidas, que possam indicar a existência e posição de uma anomalia. Essa análise consiste em uma avaliação visual do termograma sem a mensuração de temperatura (SILVA, 2012; ITC, 2008).

Por ser uma análise visual e relativamente simplificada, a necessidade de correção dos parâmetros de emissividade, temperatura aparente refletida e entre outros, pode ser simplificada (PAVÓN, 2017). O estudo apresentado na Figura 8 exemplifica a avaliação qualitativa de termogramas na identificação de descolamento cerâmico, identificado como anomalia A. São observados também os elementos estruturais e de alvenaria na fachada de um edifício. Observa-se que na Figura 8(a) a anomalia A apresenta-se como um ponto mais quente no termograma durante o período da manhã, já no período da noite a mesma anomalia mostra-se como ponto mais frio quando comparada ao restante da fachada, indicando a possível presença de anomalia nesta zona. As diferenças de como as temperaturas na zona com presença de anomalia são identificadas no termograma, elas ocorrem devido aos momentos de obtenção dos termogramas e diferenças no fluxo de calor na fachada (BAUER et. al., 2015).

Figura 8 - Detecção de descolamento cerâmico em fachada de edifício no período da manhã e noite (Fonte: Bauer et al., 2015)



Quando se deseja caracterizar a gravidade com base na medição de temperaturas do termograma são empregadas as funções de contraste na análise quantitativa. Nessa avaliação a temperatura torna-se um critério relevante para tomada de decisões e para determinar prioridades de reparo. Nas edificações, detectar e caracterizar anomalias permite conferir um grau de gravidade do dano e estabelecer prioridades para o reparo das anomalias. A classificação e avaliação da gravidade das anomalias é realizada com a mensuração da temperatura, por meio da aplicação das funções de contraste. As funções de contraste determinam a diferença de temperatura entre zonas de anomalias e suas zonas vizinhas sem anomalia. A aplicação das funções de contraste permite determinar parâmetros que auxiliem na identificação de condições para melhor visualização e investigação das anomalias. Essa determinação considera ambas as regiões sujeitas ao mesmo tipo de fluxo térmico (ABNT NBR 16969, 2021; ITC, 2008; PAVÓN, 2017). Esse tipo de análise requer exatidão das temperaturas obtidas nos termogramas e, por esse motivo, são determinados os parâmetros de emissividade (ASTM E1862-14; ABNT NBR 16969, 2021), temperatura aparente refletida (ASTM E1933-14; ABNT NBR 16969, 2021), distância, temperatura ambiente e umidade, sendo estes inseridos na câmera termográfica no momento de realização da inspeção ou experimento. Nessa análise, os termogramas obtidos são armazenados e avaliados posteriormente, passando por um tratamento em softwares de computador e então são interpretados (MALDAGUE, 2001; BAUER, et. al., 2014; SILVA, 2012).

2.5 TERMOGRAFIA QUANTITATIVA NA INVESTIGAÇÃO DE ANOMALIAS NAS FACHADAS

O emprego da termografia infravermelha utiliza de ferramentas que auxiliam na análise quantitativa. Dentre as várias ferramentas quantitativas que podem ser empregadas a mais utilizada são as funções de contraste, que consistem na determinação de parâmetros que ao serem aplicados na inspeção de fachadas de edifícios auxiliem na identificação e avaliação de anomalias, além de delimitar as condições para a melhor visualização das anomalias (MALDAGUE, 2001).

2.5.1 Funções de contraste

As funções de contraste são empregadas na análise para determinar parâmetros de avaliação das anomalias, avaliar a capacidade de visualização das anomalias, melhorar a qualidade da imagem e para análises quantitativas como auxílio na identificação de defeitos com precisão (MALDAGUE, 2001).

Existem diferentes tipos de funções de contraste, porém essas sempre partem da premissa de que a presença de uma anomalia perturba o fluxo térmico de determinada zona no objeto alvo, sendo avaliada com base na diferença da zona com anomalia e a zona sem anomalia. As funções de contraste são apresentadas em quatro tipos de contrastes gerais sendo eles: o Contraste absoluto $C^a(t)$ (*Absolute contrast*), o Contraste corrido $C^r(t)$ (*Running contrast*), o Contraste normalizado $C^n(t)$ (*Normalized contrast*) e o Contraste padrão C^s (*Standard contrast*). Vale ressaltar que existem outras funções de contraste além das apresentadas e que podem ser desenvolvidas outras propostas de contraste também (MALDAGUE, 2001).

2.3.7.1 Contraste absoluto $C^a(t)$ (*Absolute contrast*)

A função contraste absoluto $C^a(t)$ e também denominada como Delta-T consiste na determinação da presença de uma anomalia com base na diferença de temperatura entre a região com defeito e a região sem defeito. A determinação do Delta-T segue a equação 4, sendo determinado para um instante específico. A aplicação deste contraste está presente na maioria das análises quantitativas para identificação de defeitos.

$$C(t) = \Delta T(t) = T_{def}(t) - T_s(t) \quad (4)$$

Onde:

$C(t)$: Contraste absoluto;

$\Delta T(t)$: diferença de temperatura ou Delta-T no instante de tempo t ;

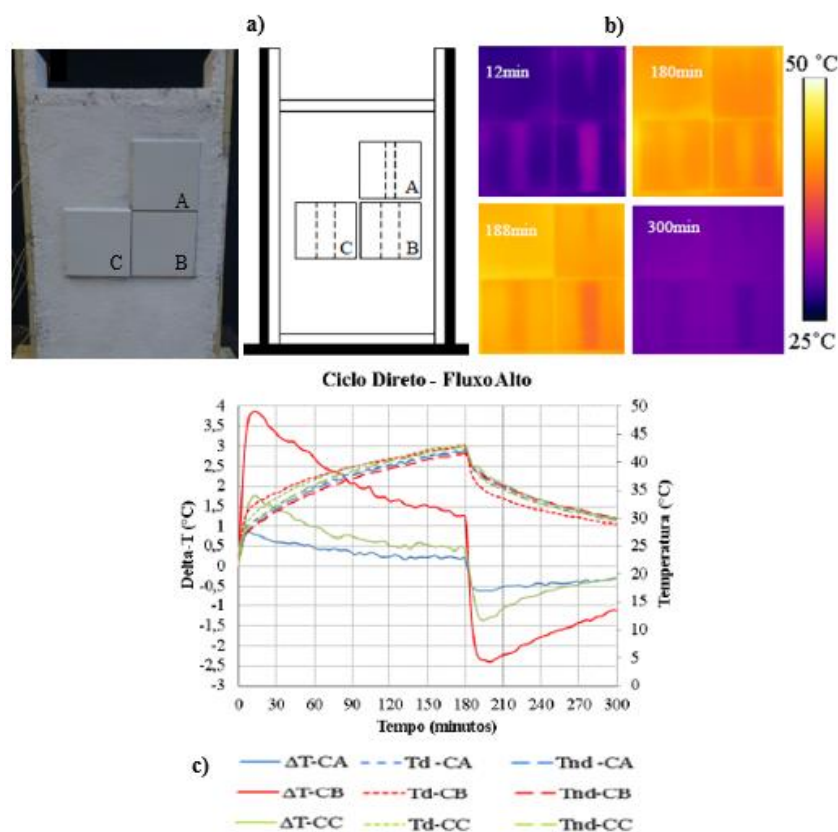
$T_{def}(t)$: temperatura do defeito no instante de tempo t ;

$T_s(t)$: Temperatura da superfície sem defeito no instante de tempo t .

Pavón (2017) em sua investigação de descolamentos localizados sob revestimento cerâmico em protótipos de parede, aplicou o contraste absoluto e obteve os valores de Delta-T para os três defeitos localizados sob os três tipos de cerâmica, conforme a Figura 9. A Figura 9 (a) apresenta a imagem digital e o croqui da parede, com a disposição e identificação das cerâmicas. As placas cerâmicas do revestimento da parede A e B são de dimensões 155 x 155 mm com espessuras de 4 mm e 6,5 mm.

A Figura 9 (b) apresenta os termogramas obtidos no início e fim dos ciclos de aquecimento e arrefecimento, onde a combinação da maior dimensão do defeito com menor espessura da placa cerâmica, resulta em maiores resultados de Delta-T tanto no ciclo de aquecimento quanto no arrefecimento.

Figura 9 - Avaliação do Delta-T no ciclo direto de aquecimento sendo (a) imagem digital e croqui da parede (b) termogramas nos ciclos de aquecimento (12 min e 180 min) e arrefecimento (188 min e 300 min) (c) Delta-T no fluxo direto (Fonte: PAVON, 2017)



2.3.7.2 Contraste corrido $C^r(t)$ (*Running contrast*)

O contraste corrido $C^r(t)$ é empregado durante o aquecimento e o arrefecimento, e determina a evolução do Delta-T em instantes sequenciais de tempo em relação a temperatura média do objeto alvo ao longo do mesmo período. Dentre as finalidades de aplicação desta função está acompanhar a evolução do Delta-T, essa função apresenta menor sensibilidade as propriedades óticas da superfície e da energia absorvida, uma vez que a região do defeito e a região sem defeito apresentam as mesmas propriedades de emissividade e absorvidade, sendo calculado conforme equação 6.

$$C^r(t) = \frac{C^a(t)}{T_s(t)} = \frac{\Delta T(t)}{T_s(t)} \quad (6)$$

Onde:

$C^r(t)$: Contraste corrido;

$C^a(t)$: Contraste absoluto;

$\Delta T(t)$: Diferença de temperatura em determinado tempo t;

$T_s(t)$: Temperatura da superfície sem defeito no instante de tempo t.

O contraste corrido pode apresentar variações propostas por meio de investigações e estudos de laboratório e em campo. Determinado estudo dos valores de Delta T para descolamentos cerâmicos aplica uma correção ao Delta T utilizando a temperatura média da região em que se encontra a anomalia, com o intuito de ter um fator de correção referente a fachada onde a anomalia está localizada. Na investigação de anomalias em fachadas de edifícios esta correção permite obter um critério independente da orientação de fachada, da altura da região em relação à base do edifício e da tonalidade do revestimento cerâmico analisado. O Delta T normalizado é determinado segundo a equação 5 (AIDAR, 2019).

$$DT_c = 100 \cdot \frac{DT}{T_m} \quad (5)$$

Onde:

DT_c : Delta T normalizado (°C);

DT : Delta T da anomalia (°C);

T_m : Temperatura média da região sem anomalia, localizada próxima a anomalia (°C).

2.3.7.3 Contraste normalizado $C^n(t)$ (*Normalized contrast*)

A função contraste normalizado $C^n(t)$ é determinada com base na temperatura de dado instante de tempo quando a temperatura máxima é excedida. Esta função depende do tipo de estímulo térmico de aquecimento e também pode ser aplicada com valores ao final do processo térmico. O contraste normalizado é calculado segundo a equação 7.

$$C^n(t) = \frac{T_{def}(t)}{T_{def}(t_m)} - \frac{T_s(t)}{T_s(t_m)} \quad (7)$$

Onde:

$C^n(t)$: Contraste normalizado;

$T_{def}(t)$: Temperatura do defeito no instante de tempo t ;

$T_{def}(t_m)$: Temperatura do defeito no instante de tempo t_m ;

$T_s(t)$: Temperatura da superfície sem defeito no instante de tempo t ;

$T_s(t_m)$: Temperatura da superfície sem defeito no instante de tempo t_m .

2.3.7.4 Contraste padrão C^s (*Standard contrast*)

O contraste padrão C^s é calculado antes da distribuição de temperaturas de aquecimento no tempo t_0 (para minimizar as contribuições adversas do ambiente circundante), sendo normalizado pelo comportamento de uma área sólida. O resultado é um valor unitário sobre uma área não defeituosa, segundo a equação 8.

$$C^s(t) = \frac{T_{def}(t) - T_{def}(t_0)}{T_s(t) - T_s(t_0)} \quad (8)$$

Onde:

$C^s(t)$: Contraste padrão;

$T_{def}(t)$: Temperatura do defeito no instante de tempo t ;

$T_{def}(t_0)$: Temperatura do defeito no instante de tempo t_0 ;

$T_s(t)$: Temperatura da superfície sem defeito no instante de tempo t ;

$T_s(t_0)$: Temperatura da superfície sem defeito no instante de tempo t_0 .

Dentre as demais ferramentas de análise quantitativa estão a representação gráfica (PAVÓN, 2017), a análise dos componentes principais, subtração de imagens simples e

fatoração de matriz negativa (EDIS et. al., 2014), algoritmos para detecção automática (GARRIDO, et. al., 2019), ferramentas matemáticas (SFARRA, et. al., 2017), entre outros.

2.5.2 Investigação termográfica da anomalia

Na investigação de anomalias é necessária a avaliação das zonas sem anomalia e com presença de anomalias. A determinação das temperaturas de referência para zonas com anomalia e zonas sem presença de anomalia não apresenta metodologia padronizada, e, com isso, permite que cada investigação desenvolva sua estratégia de análise e determinação. Quando o objeto alvo é de pequena dimensão, a quantificação das temperaturas de referência se torna mais simples. Porém, em um objeto alvo de grande dimensão, como um trecho de fachada de edifício, com dimensões superiores a 3 m ou de 20 m², a quantificação torna-se complexa e a proposição de uma rotina de análise quantitativa na avaliação destas zonas facilita a investigação de anomalias através da termografia.

Além da aplicação de contrastes uma forma de quantificar e avaliar a anomalia são as representações gráficas, obtidas por meio da avaliação dos termogramas. Os valores de contraste absoluto $C(t)$ (Equação 4) são obtidos por meio de pontos e áreas no termograma, que fornecem a temperatura utilizada na determinação destes valores. Cada pixel do termograma corresponde a uma posição em coordenadas (x,y) de temperaturas, obtidas por meio das ferramentas de linhas e áreas do *software* FLIR Tools[®]. Essa forma de avaliação dos termogramas permite a representação em 2D ou 3D de um defeito com base nos dados de temperatura por pixel obtidos, sendo utilizada além da determinação do Delta-T para mensuração do defeito (PAVÓN, 2017).

No estudo de defeitos inseridos sob revestimento cerâmico de fachadas, a Figura 10 apresenta a determinação da largura de um defeito por meio das temperaturas dos pixels em uma linha traçada na região do defeito observada no termograma Figura 10(a). Observa-se nos pixels iniciais temperaturas variando entre 31 °C e 31.5 °C, posteriormente o aumento da temperatura para valores próximos a 32.5 °C e nos pixels finais da linha o decréscimo da temperatura para valores próximos a faixa de temperaturas inicialmente observada de 31 °C a 31.5 °C. A partir desse gráfico realiza-se a determinação dos pontos com máxima e mínima inclinação (Figura 10(b)) e a quantificação do número de pixels que se encontram dentro desse intervalo, que coincidem com os pixels que apresentam alteração no comportamento das temperaturas. Com isso, na Figura 10(c) é determinada a dimensão horizontal do defeito, sendo

o produto do número de pixels, multiplicado pelo IFOV e a distância da câmera ao objeto alvo, conforme a equação 9 (PAVON, 2017).

$$d = IFOV \cdot n \cdot L \tag{9}$$

Onde:

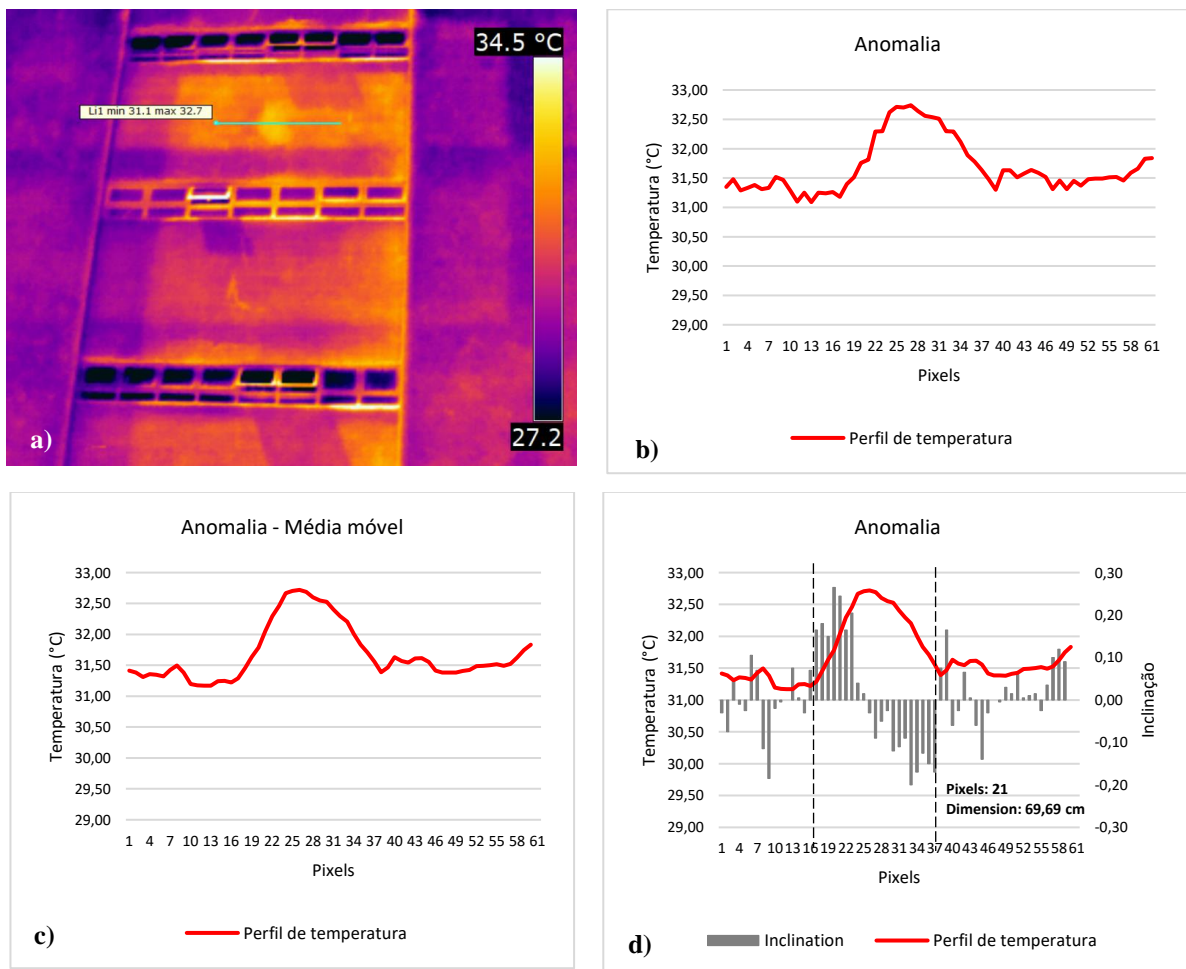
d : dimensão do defeito (mm);

$IFOV$: resolução geométrica (mrad);

n : quantidade de pixels da anomalia;

L : distância entre a câmera infravermelha e o objeto alvo (m).

Figura 10 - Determinação da dimensão horizontal da anomalia localizada no edifício E1 às 10h40 a) Termograma com linha traçada sobre a anomalia (b) perfil de temperatura (c) perfil de temperatura suavizado pelo filtro de média móvel (d) mensuração da dimensão da anomalia



2.6 A SIMULAÇÃO HIGROTÉRMICA COMO FERRAMENTA AUXILIAR DA TERMOGRAFIA NA INSPEÇÃO DE FACHADAS

A determinação das condições adequadas para identificação e avaliação das anomalias pode ser realizada com base nos dados da simulação higrotérmica do edifício investigado. Na investigação termográfica passiva, as variações de temperatura pelo dia modificam os fluxos térmicos que influem na detecção das anomalias. O estudo da dinâmica do fluxo de calor ao longo do tempo, nas diferentes orientações de fachadas, é associado às condições de identificação e avaliação de anomalias térmicas pela termografia [56] [78]. Na abordagem termográfica passiva o fluxo de calor e as temperaturas superficiais variam de forma contínua e dinâmica, e isso é uma condição importante para a inspeção. A detecção das anomalias precisa levar em consideração estas condições não controladas que alteram o padrão de detecção e avaliação para cada situação.

A simulação higrotérmica realizada através do software WUFI Pro 5.3[®] (Wärme-Und Feuchtetransport Instationär) permite a avaliação do comportamento higrotérmico da envoltória do edifício com base nos requisitos e critérios da norma DIN EN 15026 [79]. O resultado da simulação fornece dados horários (para o dia de análise definido) de temperaturas superficiais e entre camadas do sistema. A simulação pode ser dividida em três etapas. A primeira etapa consiste na caracterização do edifício, clima e elemento construtivo a ser simulado. A segunda etapa é referente ao processamento da simulação e obtenção dos dados de saída e a última etapa corresponde ao tratamento e análise dos dados de temperatura (superficial, interna, ambiente) do sistema investigado.

O modelo construtivo adotado na simulação é um sistema de fachada com camada de acabamento exterior em placa cerâmica e revestimento interior em argamassa, o que corresponde ao edifício investigado. O sistema simulado apresenta as seguintes camadas: a camada correspondente à placa cerâmica, a camada do revestimento em argamassa, a camada que corresponde a superfície de aderência, e a superfície do bloco cerâmico de alvenaria. O detalhamento de todas as camadas (materiais e espessuras) é apresentado na Tabela 1 e correspondem às características observadas no edifício de estudo. As propriedades higrotérmicas dos materiais são definidas com base nas investigações realizadas no Laboratório de Ensaio de Materiais da Universidade de Brasília [80].

Tabela 1 - Materiais e espessura das camadas do elemento construtivo simulado

Camada do elemento construtivo	Material	Espessura (cm)
Cerâmica externa	Placa cerâmica	0.50
Argamassa adesiva	Argamassa colante	0.20
Argamassa de revestimento	Argamassa cimento e cal externa	2.00
Alvenaria	Bloco cerâmico	9.00
Argamassa de revestimento	Argamassa cimento e cal interna	2.00

As características do clima exterior do edifício são definidas segundo o arquivo do ano meteorológico tipo TMY (Typical Meteorological Year), da base EPW/ANTAC o qual é composto por dados climáticos horários, totalizando 8.760 dados para um ano. O arquivo climático de Brasília-Brasil empregado tem como base a variável temperatura e apresenta várias grandezas como velocidade de vento, precipitação, radiação, dentre outras [81-83].

Os dados obtidos da simulação são analisados na etapa de pós-processamento. Emprega-se o conjunto de dados exatamente correspondente ao do dia da inspeção termográfica. Dessa forma, é possível associar os comportamentos da simulação com os dados investigados a partir dos termogramas. A análise busca evidenciar a evolução do fluxo de calor pelo sistema de revestimento da fachada, o que é possível a partir das temperaturas obtidas. Conforme ilustra a Figura 3, tem-se para cada hora do dia: temperatura da superfície do revestimento (T_{sprev}) e a temperatura da interface entre bloco cerâmico e sistema de revestimento (T_{bc}).

Para investigar os efeitos da evolução do fluxo de calor para cada hora do dia, determina-se o Gradiente de Temperaturas (G_{Temp}) conforme equação (10). O G_{Temp} é associado diretamente ao fluxo de calor que atravessa o sistema de revestimento cerâmico, região essa onde geralmente ocorrem os defeitos a investigar com a inspeção termográfica. Pelo gradiente, pode-se caracterizar o fluxo de calor, quer seja de forma direta (de fora para dentro, no aquecimento) ou de forma inversa (de dentro para fora, no arrefecimento), em qualquer momento do dia, conforme dados da simulação higrótérmica [56].

$$G_{Temp} = T_{sprev} - T_{bc} \quad (10)$$

Onde: G_{Temp} : Gradiente de temperaturas ($^{\circ}\text{C}$), T_{sprev} Temperatura da superfície do revestimento cerâmico ($^{\circ}\text{C}$) e T_{bc} : Temperatura da interface entre bloco cerâmico e sistema de revestimento ($^{\circ}\text{C}$).

Pavón (2017) em seu estudo investigou protótipos de placas, paredes e fachadas e determinou critérios quantitativos para determinação dos melhores momentos para inspeção.

Segundo esse estudo, determinou-se o valor de referência de gradiente de temperatura, sendo o gradiente a diferença de temperatura entre a temperatura superficial do revestimento e a temperatura da superfície do bloco cerâmico constituinte do elemento de vedação da fachada. O gradiente de referência é superior ou igual a $0,6^{\circ}\text{C}$ para detecção de anomalias no fluxo direto (quando o fluxo de calor ocorre no sentido do exterior para o interior do edifício) e inferior a $-2,5^{\circ}\text{C}$ no fluxo inverso (quando o fluxo de calor ocorre no sentido do interior para o exterior do edifício). Aidar (2019) aplicou a simulação higrotérmica e os critérios desenvolvidos por Pavón (2017) na sua avaliação de descolamentos cerâmicos, conseguindo a partir disto definir os melhores momentos para detecção e avaliação das anomalias.

2.7 INVESTIGAÇÃO DE ANOMALIAS EM RELAÇÃO AO FLUXO DE CALOR NAS FACHADAS

A utilização da termografia infravermelha na inspeção de fachadas para detecção de anomalias permite identificar principalmente os descolamentos, fissuras, umidade e elementos ocultos. A termografia é considerada uma técnica de superfície, uma vez que quanto mais próximo da superfície estiver localizado o defeito, mais fácil será sua detecção, apesar de também ser possível localizar defeitos internos.

A identificação de uma anomalia está relacionada às propriedades térmicas do material investigado e ao fluxo de calor. O fluxo de calor depende da intensidade e do tipo de fluxo, que segundo Bauer e Pavón (2015) definem como sendo direto (com sentido de fora do edifício para o interior do edifício) e inverso (com sentido do interior do edifício para fora do edifício) a anomalia pode se mostrar mais quente ou mais fria no termograma, respectivamente (PAVÓN, 2017).

A seguir são apresentados resultados de estudos nos quais a termografia infravermelha é aplicada na investigação de fachadas e detecção de anomalias. São discutidas a identificação de anomalias a depender do fluxo de calor e propriedades térmicas dos materiais.

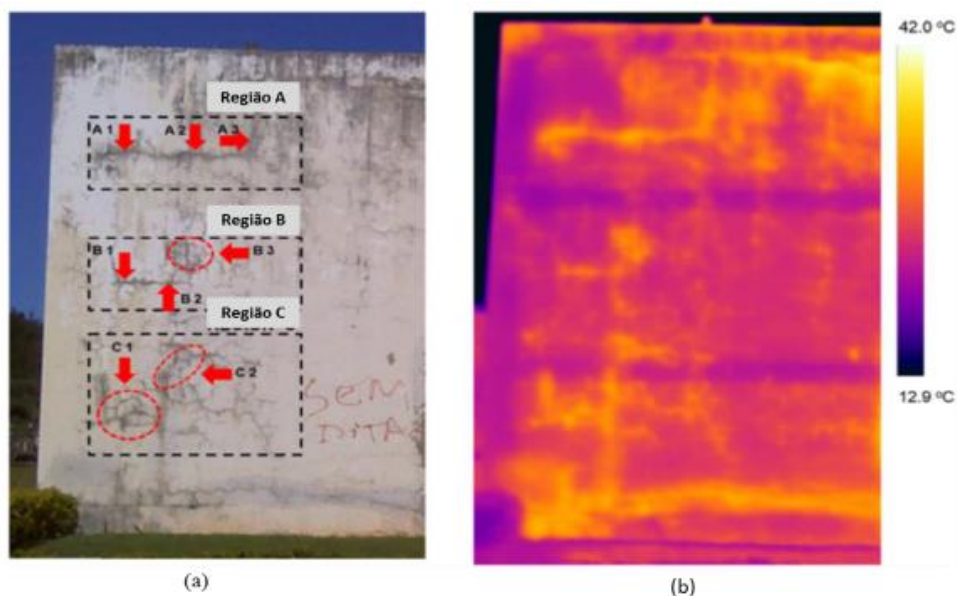
2.7.1 Fissuras

As fissuras são um tipo de anomalia detectável por meio da termografia infravermelha, principalmente em revestimentos em argamassa e elementos de concreto. Em relação à entrada e saída do calor da fissura, parte da radiação é refletida e absorvida através das paredes da fissura, fazendo com que a região apresenta diferenças de temperatura em relação as regiões vizinhas sem anomalias (MALDAGUE, 1993; PAVÓN, 2017).

Estes comportamentos diferentes das temperaturas podem ser observados por meio dos termogramas obtidos pela câmera infravermelha. Porém, quanto maior a quantidade de fissuras presentes em determinada região, mais complexa se torna sua avaliação devido à presença de fissuras por vezes levar ao descolamento e áreas próximas. Outra dificuldade está na forma como as fissuras surgem e sua relação com o sentido fluxo de calor, não sendo determinada uma relação clara entre eles (AIDAR, 2019).

Bauer et. al. (2016) em sua investigação da fachada de um edifício em Brasília-DF, avaliou a presença de fissuras em fachada com revestimento em argamassa, sendo identificadas fissuras ramificadas em diferentes regiões da fachada conforme mostra a Figura 11. Neste estudo empregou-se a termografia quantitativa e associado o grau de dano ao contraste absoluto.

Figura 11 - Detecção de fissuras em fachada de edifício (a) imagem digital (b) Termograma obtido para determinado instante (t) de inspeção (Fonte: Bauer, et. al., 2016)



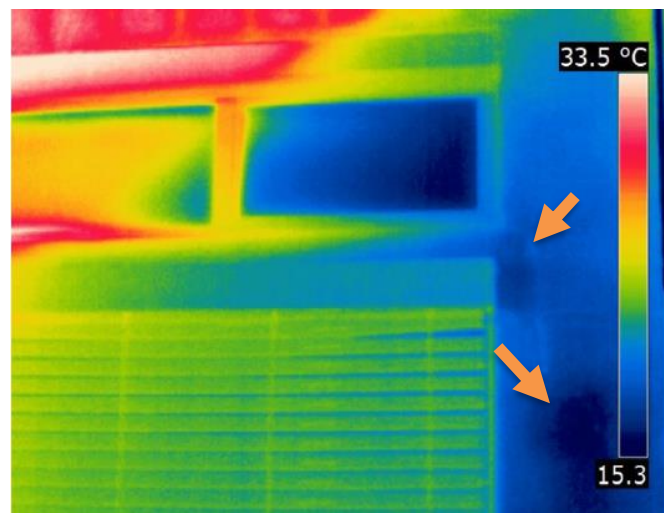
2.7.2 Umidade

A presença de umidade nas edificações é um tipo de anomalia que pode ser investigada a partir da termografia infravermelha. Os materiais porosos, como os materiais de construção, permitem o ingresso de água através dos poros até a saturação. A presença de água nos poros dos materiais de construção altera suas propriedades térmicas como a condutividade térmica, o calor específico e a densidade, e aumentam de forma proporcional ao aumento da quantidade de água (ROSINA et. al., 1999). A água ao evaporar também rouba calor das superfícies e faz com que as temperaturas diminuam nesses pontos.

A diferença no comportamento das temperaturas pode ser observada através dos termogramas, sendo a temperatura da superfície sobre os defeitos alterada devido ao calor latente de vaporização. Quanto menor a umidade relativa e maior a temperatura, maior tende a ser a evaporação e mais calor é perdido na superfície. Esse processo de evaporação permite identificar no termograma regiões úmidas com temperaturas menores, quando comparadas a outras regiões no termograma. Apesar da umidade não apresentar um padrão de comportamento das temperaturas no termograma (no fluxo direto e reverso), a análise qualitativa da umidade em elementos de construção pode ser facilmente empregada. Na avaliação do processo de secagem a análise se torna mais complexa (KOMINSKY et al., 2006; PAVÓN, 2017).

A Figura 12 apresenta um termograma obtido através da inspeção termográfica de um edifício localizado em Portugal. Neste estudo Barreira et. al. (2016) investiga a presença de umidade em fachadas de edifícios e estuda o processo de secagem em laboratório. Este termograma apresenta a distribuição de temperaturas superficiais da fachada do edifício, atribuindo diferentes cores as faixas de temperatura. É possível observar no termograma a variação de temperaturas entre 15,3 e 33,5 °C sendo a região com temperaturas próximas a 15,3 com possível presença de umidade.

Figura 12 - Termograma obtido em investigação de presença de umidade em fachada de edifício (Fonte: BARREIRA et. al., 2016)



2.7.3 Presença de vazios e elementos ocultos

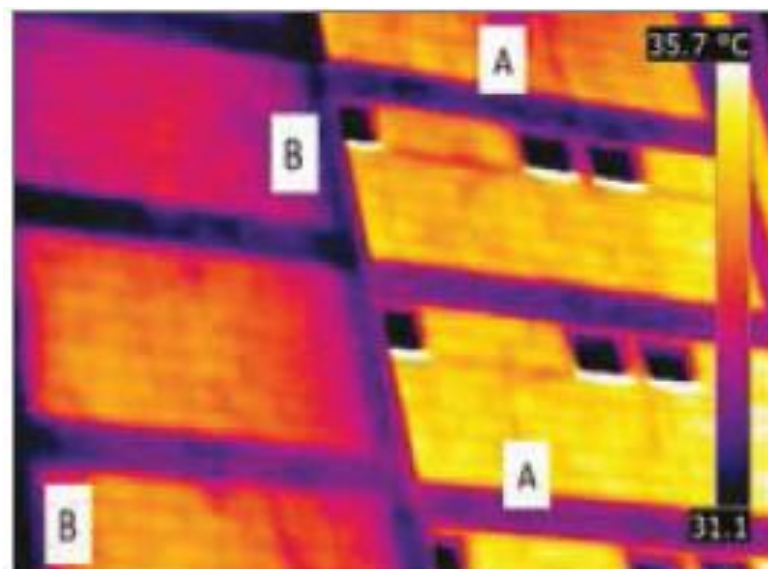
A identificação de vazios e elementos ocultos é possível através da termografia infravermelha, tanto em laboratório quanto em campo. A identificação desses elementos está condicionada as diferenças das propriedades térmicas, ao fluxo de calor, quanto a sua direção

e intensidade e a elevada resistência térmica do ar. Sua identificação pode ser realizada no ciclo direto e reverso, independente da sua posição, seja sob o elemento investigado ou nele inserido (PAVÓN, 2017). Apesar de não serem objetos de estudos e inspeções termográficas, podem atrapalhar e dificultar a análise termográfica, por esse motivo é importante identificá-los nos termogramas com o intuito de minimizar os erros de análise.

Quando avaliada a presença de vazios, esses em maioria são investigados no ciclo direto (quando a fonte de aquecimento encontra-se na superfície frontal do objeto alvo) e apresentam temperatura de superfície superior as regiões vizinhas nos termogramas, devido à elevada resistência térmica. Já os elementos ocultos apresentam comportamento de temperatura dependente do calor específico e condutividade térmica no ciclo direto e da condutividade térmica no ciclo inverso.

Bauer e Pavón (2015) em seu estudo de investigação de manifestações patológicas em edifícios identificam, por meio da termografia infravermelha, a presença de elementos estruturais e de alvenaria na fachada do edifício analisado. A fachada possui revestimento em argamassa e pintura, e, na Figura 13, pode-se observar o termograma da fachada onde são identificados os elementos estruturais de vigas, indicados na figura pela letra A e pilares indicados pela letra B. É possível identificar facilmente esses elementos devido à vedação e estrutura serem de materiais diferentes e com propriedades térmicas distintas. Os elementos estruturais na Figura 13 podem ser identificados como zonas mais frias em relação ao restante da fachada.

Figura 13 - Identificação de elementos estruturais em fachada de edifício (Fonte: BAUER et. al., 2015)

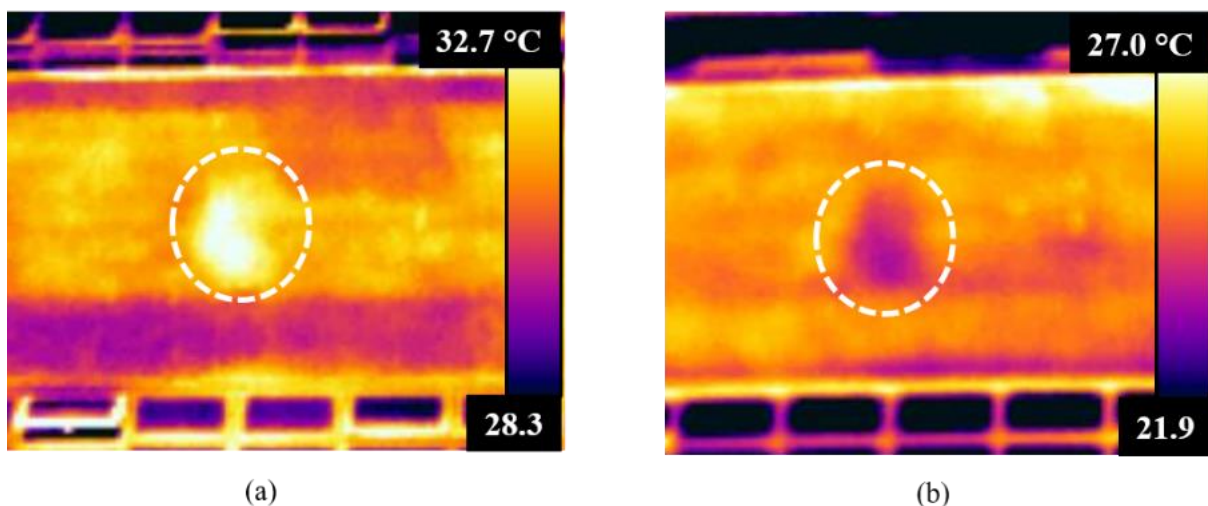


2.7.4 Descolamentos

A detecção de descolamentos de revestimento através da termografia torna-se possível pela pequena espessura da camada de revestimento e a presença de ar entre as camadas. Nesse caso, o ar torna-se o defeito identificado logo abaixo da camada de revestimento, apontando a possível existência de um descolamento. Isso ocorre devido às diferenças nas propriedades térmicas entre o ar com condutividade térmica próxima a 0,024 (W/m.K). Os materiais de construção como a cerâmica apresentam condutividade de 0,90 (W/m.K), a argamassa com 1,15 (W/m.K) e o concreto com 1,75 (W/m.K) (ABNT NBR 15220, 2003). Isso faz com que na região com descolamento o fluxo de calor tenha mais resistência para ocorrer e a superfície apresente temperaturas mais quentes (no fluxo direto) em comparação às regiões vizinhas sem anomalia ou temperaturas mais frias (no fluxo inverso).

A Figura 14 apresenta a detecção de descolamentos cerâmicos nos ciclos de fluxo direto na Figura 14(a) e fluxo inverso na Figura 14(b). Observa-se as diferenças na apresentação da anomalia nos termogramas, o que evidencia a influência das condições de fluxo de calor na identificação das anomalias. No fluxo direto, Figura 14(a), observa-se que a anomalia apresenta temperaturas superiores as zonas vizinhas e no fluxo inverso, Figura 14(b), as temperaturas na zona com anomalia apresentam temperaturas inferiores as zonas próximas.

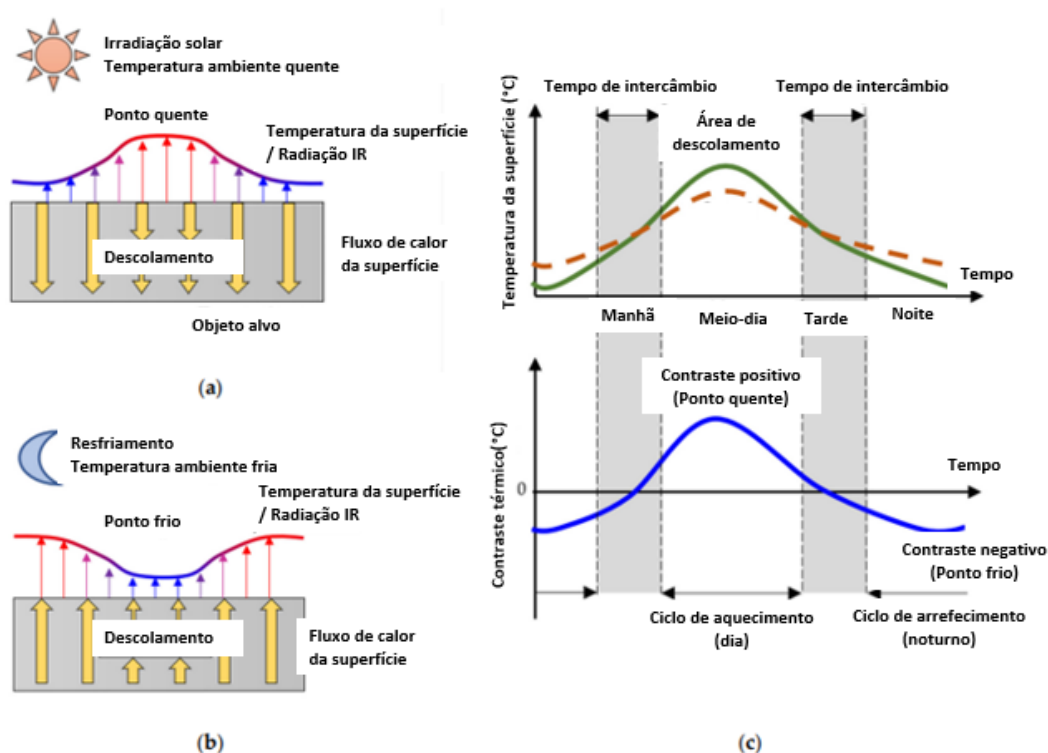
Figura 14 - Anomalia (a) sob fluxo de calor direto às 10h40 e (b) sob fluxo de calor inverso às 16h50



A Figura 15 apresenta o esquema de detecção de descolamento em edifícios. Ao longo do dia sob a incidência de radiação, segundo Figura 15 (a) o descolamento atua como resistência ao fluxo de calor, uma vez que atua como isolante. Neste momento, a superfície sobre a anomalia é apontada nos termogramas como zonas mais quentes, segundo a Figura 14 (a).

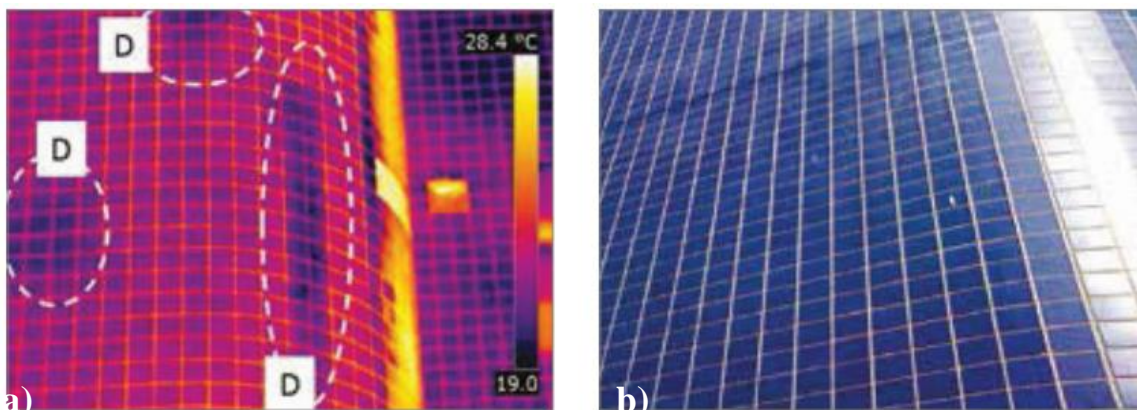
No período sem incidência de radiação (Figura 15 (b)) o comportamento é inverso, e as zonas com anomalia apresentam temperaturas inferiores ao restante do objeto alvo. Nesse ciclo de resfriamento, a zona de descolamento atua como resistência ao fluxo de calor para o exterior do objeto alvo. Observa-se na Figura 15 (c) que desconsiderando o momento de intercâmbio, no início do aquecimento e final do resfriamento, tanto as temperaturas superficiais quanto o contraste térmico tendem a apresentar os valores máximos no momento de maior incidência solar (KEE, et. al., 2012; HIASA, et. al., 2018; TOMITA e CHEW, 2022).

Figura 15 - Princípio da detecção de descolamentos (a) no ciclo de aquecimento (b) ciclo de resfriamento (c) comportamento da temperatura superficial e contraste térmico (Fonte: adaptada de TOMITA e CHEW, 2022)



As aplicações da termografia infravermelho em campo comprovam o que é apresentado na Figura 15, onde a identificação de descolamentos cerâmicos no ciclo de resfriamento tende a apresentar superfícies com temperaturas mais frias, quando comparadas ao restante da fachada. A Figura 16 mostra a detecção de descolamentos cerâmicos ao longo da fachada em revestimento cerâmico, sendo apontados no termograma como zonas com temperaturas inferiores, indicando a perturbação gerada pelo descolamento no fluxo térmico da fachada.

Figura 16 - Identificação de descolamento cerâmico em fachada de edifício (a) termograma (b) imagem digital (Fonte: BAUER et. al., 2015)



3 METODOLOGIA

A avaliação de descolamentos cerâmicos em fachadas por meio da inspeção termográfica garante precisão e agilidade aos diagnósticos. A definição desses critérios de análise auxilia na identificação das anomalias e fornece aos utilizadores da técnica ferramentas de rotina de análise quantitativa, que possibilitem a detecção de anomalias em fachadas de edifícios.

A presente pesquisa utiliza a base de dados do Projeto “Degradação, mensuração e modelação” do PECC/UnB e segue a linha de pesquisa desenvolvida por Aidar (2019). Os três edifícios investigados estão localizados em Brasília-DF e são avaliados por meio da termografia infravermelha. A principal contribuição desta investigação é no desenvolvimento de critérios quantitativos de análise de anomalias de descolamento cerâmico. Nesse sentido, a metodologia de desenvolvimento deste trabalho pode ser dividida em três etapas que são apresentadas na Figura 17.

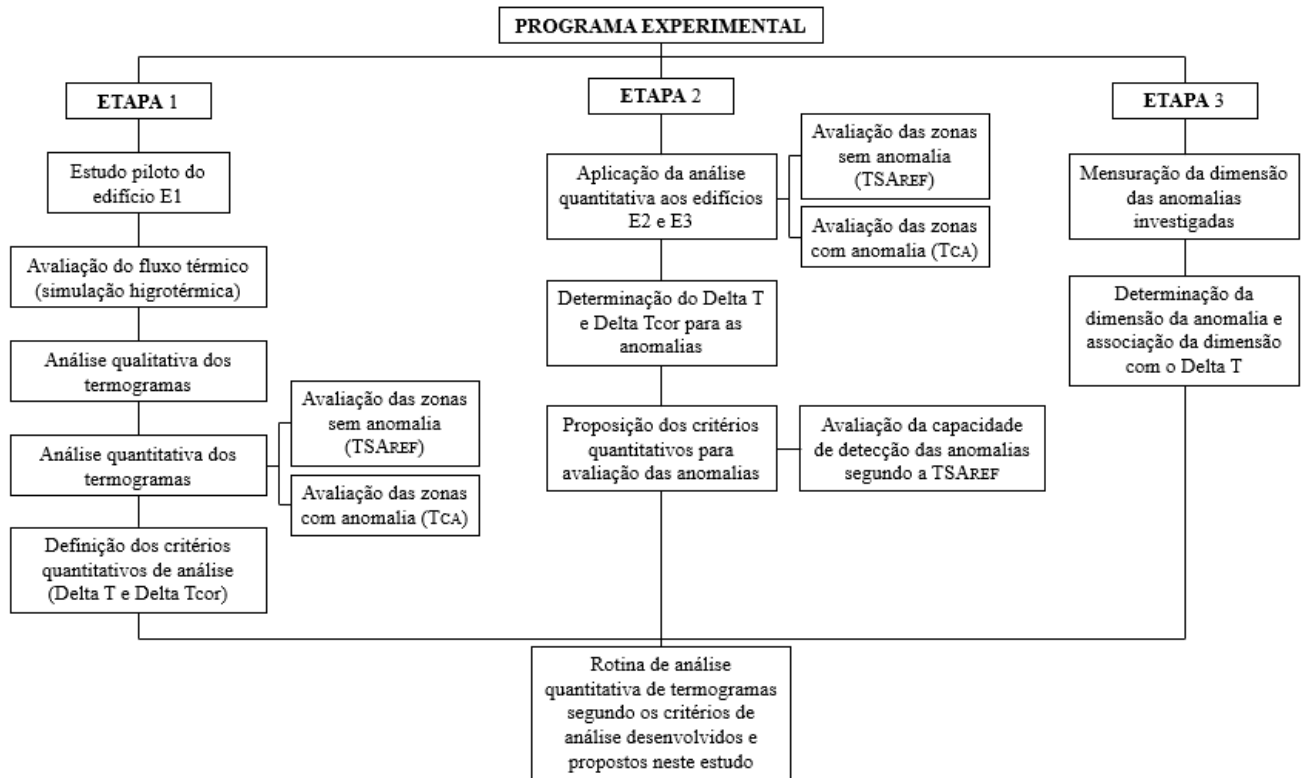
A primeira etapa consiste na realização do estudo piloto em um dos edifícios investigados com o intuito de desenvolver, alinhar e determinar uma rotina de análise quantitativa baseada em critérios de investigação e avaliação das anomalias de descolamento cerâmico. No edifício E1 são avaliadas as anomalias de descolamento cerâmico, considerando a análise qualitativa e quantitativa. A princípio, como etapa preliminar, são avaliados os resultados da simulação higratérmica para o edifício E1 com o intuito de compreender melhor a dinâmica do fluxo térmico no revestimento cerâmico das fachadas. Os pontos mais quentes e frios nos termogramas são identificados de forma visual e considerando os padrões de falhas de outros estudos. Logo após, realiza-se a avaliação quantitativa das temperaturas das zonas sem anomalia e com presença de anomalia para determinação das temperaturas de referência destas zonas, sendo elas $T_{SA_{REF}}$ e T_{CA} respectivamente. A avaliação das zonas e mensuração das temperaturas de referência permitem a determinação dos critérios quantitativos de análise Delta T e Delta T_{COR} .

A segunda etapa aplica a rotina de análise quantitativa aos demais edifícios e determina os critérios de análise Delta T e Delta T_{COR} a partir da avaliação das zonas sem anomalia e com presença de anomalias. Nessa etapa são avaliados os descolamentos cerâmicos dos edifícios E2 e E3, sendo a aplicação da rotina de análise validada ou não, segundo a capacidade de identificação e avaliação das anomalias de acordo com os critérios mensurados.

Na terceira etapa determina-se a dimensão horizontal da anomalia, avalia-se sua influência da investigação da anomalia e aplicação dos critérios quantitativos. Ao final da aplicação dos critérios e esperada validação, a rotina de análise segundo critérios quantitativos é definida e

pode ser aplicada em diferentes edifícios localizados em zonas diferentes de Brasília-DF e expostos a diferentes condições de fluxo térmico.

Figura 17 - Fluxograma do programa experimental



3.1 VARIÁVEIS DE PESQUISA

A definição das variáveis de estudo está apresentada na Tabela 2, na qual são enumerados os fatores de controle e as variáveis dependentes. As etapas do programa experimental desde a realização do estudo piloto para definição dos critérios de análise quantitativa até a aplicação e proposição dos critérios, para determinação da rotina de análise quantitativa segue as metodologias desenvolvidas principalmente nas pesquisas de Maldague (2001), Pavon (2017) e Aidar (2019).

Tabela 2 - Fatores de controle do estudo e variáveis dependentes

Fatores de controle	Variáveis dependentes
Edifícios investigados (E1, E2 e E3)	Temperatura superficial
Orientação cardeal da fachada	Temperatura de referência das regiões sem anomalia ($T_{SA_{REF}}$)
Radiação solar	Temperatura de referência das regiões com anomalia (T_{CA})
Horário de inspeção	Delta T
Fluxo de calor	Delta T_{COR}
Temperatura ambiente	Dimensão da anomalia

O primeiro fator de controle a ser considerado são os diferentes edifícios investigados, pois cada um desses representa um modelo com características específicas. Associado aos edifícios tem-se as orientações cardiais das fachadas, pois cada orientação está exposta a diferentes parcelas de radiação diária, que são diferentes para cada orientação (Norte, Sul, Leste e Oeste). A presença ou ausência de radiação solar altera o comportamento das temperaturas na superfície do revestimento e influencia na dinâmica do fluxo térmico. A depender do horário de inspeção, as condições de radiação solar incidente são alteradas, devido à trajetória do sol ao longo do dia e sua ausência no período da noite, resultando em alterações nos comportamentos das temperaturas superficiais.

O Delta T e Delta T_{COR} são os contrastes térmicos aplicados nas anomalias investigadas para detecção e análise. O emprego desses contrastes auxilia na identificação das condições para melhor avaliação dos defeitos em relação à visibilidade e gravidade. O Delta T e Delta T_{COR} são variáveis dependentes da influência da radiação solar e fluxo de calor e recebem influência dos horários de realização da inspeção termográfica, tendo em vista que utilizam a temperatura superficial do revestimento como critério de correção do Delta T.

Na avaliação do comportamento das temperaturas superficiais do revestimento, tem-se a investigação de zonas sem anomalias e com presença de anomalias. Essa avaliação permite definir a temperatura de referência das zonas sem anomalia ($T_{SA_{REF}}$) e das zonas com anomalia (T_{CA}). A dimensão da anomalia recebe influência do Delta T, uma vez que quanto maior o contraste absoluto mais precisa será a dimensão mensurada. Porém, quando essa determinação é realizada em momentos com baixo Delta T, as temperaturas por pixels ao longo da linha são mais dispersas e torna-se difícil a determinação dos limites da anomalia. As alterações nos

fatores de controle geram respostas sobre o revestimento como a alteração do comportamento das temperaturas superficiais, alterando assim as variáveis de saída Temperatura superficial, Delta T, Delta T_{COR}, TSA_{REF}, T_{CA} e dimensão das anomalias.

3.2 EDIFÍCIOS DE ESTUDO

Os três blocos de edifícios residenciais localizados em Brasília-DF são avaliados, com revestimentos cerâmicos de fachada, exceto o edifício E3 que apresenta áreas de fachada com revestimento em argamassa e pintura, cabe destacar que a avaliação das anomalias não considerou essas regiões. Todos os edifícios apresentam sistema construtivo em estrutura de concreto armado (vigas e pilares) com vedação em blocos cerâmicos. A localidade de Brasília-Brasil, segundo a classificação de Köppen, apresenta clima Tropical (A) com inverno seco (W) (RUBEL; KOTTEK, 2010; MAZZEO et. al, 2020). Segundo o zoneamento bioclimático brasileiro da NBR 15220-3 (ANBT, 2015) Brasília-Brasil encontra-se na zona bioclimática 4. São avaliadas as orientações de fachada Norte, Sul, Leste e Oeste para cada um dos edifícios investigados.

3.2.1 Edifício E1

O edifício E1 segundo a Figura 18 apresenta quatro orientações cardeais de fachadas, que foram inspecionadas através de termografia infravermelha para realização do estudo piloto desenvolvido na etapa 1 para avaliação das anomalias de descolamento e determinação dos critérios de análise quantitativo. O edifício E1 é composto por 6 pavimentos mais o pilotis, com altura aproximada de 20 metros.

Figura 18 - Fachadas do edifício E1 (a) Norte (b) Sul (c) Leste e (d) Oeste (Fonte: Aidar, 2019)





A Figura 19 apresenta a localização do edifício E1, são observadas as orientações de fachadas inspecionadas.

Figura 19 - Localização e orientações cardeais das fachadas do edifício E1 (Fonte: AIDAR, 2019)



3.2.2 Edifício E2

O edifício E2 é composto por 6 pavimentos mais o pilotis, com altura aproximada de 20 metros. A Figura 20 apresenta quatro orientações cardeais de fachadas, que foram inspecionadas através de termografia infravermelha para validação dos critérios de análise quantitativo desenvolvidos no estudo piloto do edifício E1.

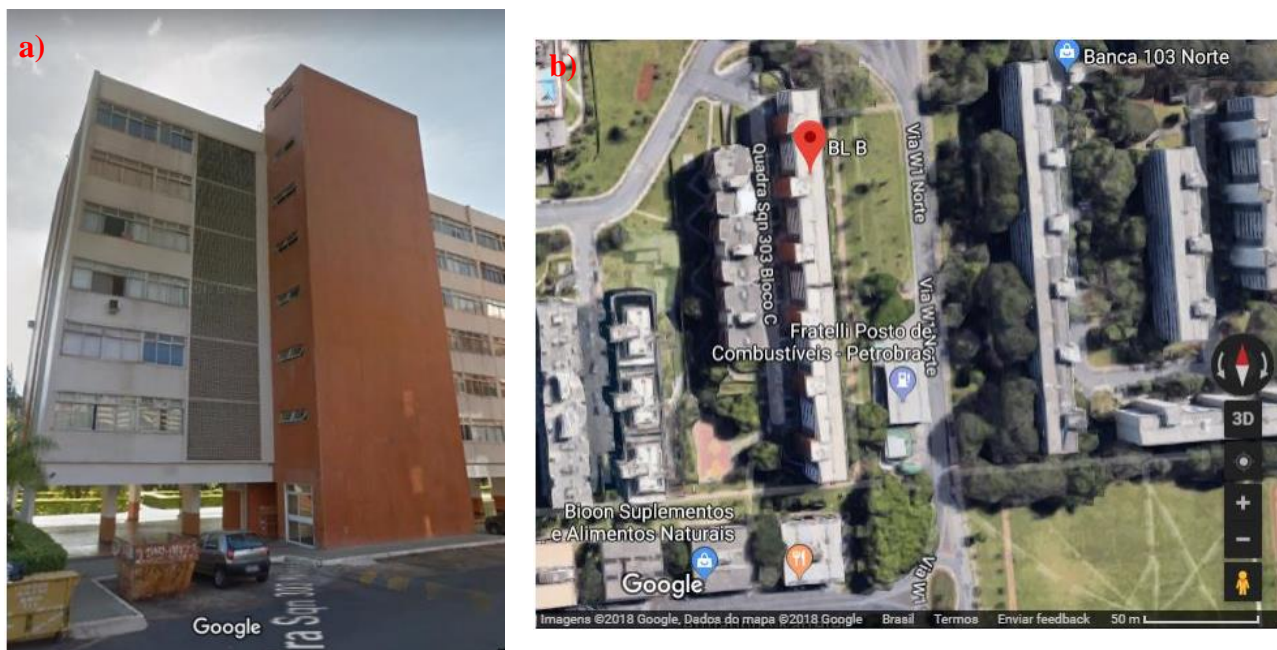
Figura 20 - Edifício E2 (a) imagem digital (b) localização e orientações cardeais das fachadas
(Fonte: AIDAR, 2019)



3.2.3 Edifício E3

O edifício E3, segundo a Figura 21, apresenta quatro orientações cardeais de fachadas, que foram inspecionadas através de termografia infravermelha para validação dos critérios de análise quantitativo desenvolvidos no estudo piloto do edifício E1. Observa-se, na Figura 21 que esse edifício apresenta duas tonalidades de revestimento cerâmico. As anomalias investigadas neste edifício para as orientações Norte, Leste e Oeste encontram-se localizadas no revestimento em cor clara e para a orientação Sul as anomalias estão localizadas no revestimento em cor escura. O edifício E3 é composto por 6 pavimentos mais o pilotis, com altura aproximada de 20 metros.

Figura 21 - Edifício E3 (a) imagem digital (b) localização e orientações cardeais das fachadas
(Fonte: AIDAR, 2019)



3.2.4 Horários de inspeção e condições ambientais

Os horários de inspeção dos edifícios investigados foram determinados segundo os resultados da simulação higrotérmica realizada na pesquisa de Aidar (2019). Na avaliação detalhada dos resultados da simulação foram avaliadas as transições de início de aquecimento, influência da incidência direta de radiação solar, a evolução das temperaturas superficiais do revestimento ao longo dos diferentes horários do dia e os resultados de gradiente de temperatura. A partir da avaliação e análise de todos esses dados é que se determinou os horários de realização da inspeção termográfica, sendo apresentados na Tabela 3 para cada um dos três edifícios investigados (PAVON, 2017; AIDAR, 2019).

Tabela 3 - Horários de inspeção (Fonte: AIDAR, 2019)

<i>Momentos de inspeção</i>	<i>Edifício E1</i>	<i>Edifício E2</i>	<i>Edifício E3</i>
01	07h40	07h	07h
02	08h30	08h	08h
03	09h30	09h	09h
04	10h30	10h	10h

05	16h50	11h	11h
06	17h30	12h	12h
07	18h20	16h50	16h40
08	19h10	17h10	17h30
09	20h	18h30	18h20
10	-	19h20	19h10
11	-	20h	20h

Dentre os parâmetros ambientais considerados e mensurados encontram-se a temperatura ambiente e umidade relativa do ar. Essas são definidas na região de pilotis dos edifícios, com o intuito de minimizar as variações decorrentes do vento e radiação solar. A temperatura ambiente e umidade são medidas através do psicrômetro Extech MO297 com termômetro acoplado.

3.2.5 Inspeção termográfica e equipamentos utilizados

Os edifícios investigados neste estudo fazem parte da base de dados do Projeto “Degradação, mensuração e modelação” do PECC/UnB e a inspeção termográfica desses edifícios é realizada na pesquisa de Aidar (2019), na qual são obtidos todos os termogramas utilizados como base para desenvolvimento do presente estudo. Na determinação dos momentos de realização da inspeção e a medição dos parâmetros a serem inseridos na câmera, realiza-se a inspeção termográfica que utilizou para obtenção dos termogramas uma câmera infravermelha modelo FLIR T400, com faixa de temperatura variando de 20°C a 120°C, com precisão de 2%, resolução de 320x240 pixels, com faixa espectral de 7,5 a 13 μm , lente de 25 graus e IFOV de 1,363 mrad. A última variável a ser determinada é a distância de obtenção dos termogramas, entre a câmera infravermelha e o objeto alvo. A distância é mensurada com o uso de trena eletrônica, onde é medida a distância horizontal entre a câmera e o edifício e a altura da área investigada em relação a base do edifício. Posteriormente, calcula-se a hipotenusa deste triângulo gerado a partir destas distâncias medidas, que corresponde a distância real entre a câmera e a fachada.

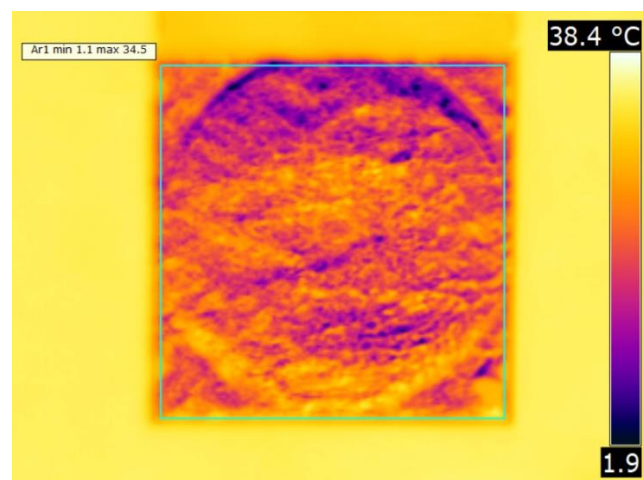
3.2.6 Determinação da emissividade e temperatura refletida

Um dos parâmetros a ser inserido na câmera infravermelha no momento de obtenção dos termogramas é a emissividade. A emissividade é um parâmetro que caracteriza a eficiência

de emissão de radiação de determinada superfície, sendo determinada pelo método da fita preta (ASTM 1933, 2014; ABNT NBR 16969, 2021). Neste estudo adota-se a emissividade de 0,82 em referência ao revestimento em placa cerâmica, sendo este valor utilizado em outros estudos com este material (PAVÓN, 2017).

A cada momento de realização da inspeção termográfica também é mensurada a temperatura refletida, por meio do método do papel de alumínio corrugado. A determinação da temperatura refletida consiste na obtenção de três termogramas da folha de papel alumínio fixada na fachada, sendo posteriormente tratados através do software FLIR Tools[®] onde são atribuídos os valores de emissividade 1 (um) e distância 0 (zero). A temperatura média da região da folha de alumínio corresponde à temperatura refletida. A Figura 22 apresenta um caso de determinação da temperatura refletida. Vale ressaltar que este dado é mensurado e inserido no software no momento da avaliação quantitativa do termograma (ASTM E1862, 2014; ABNT NBR 16969, 2021).

Figura 22 - Mensuração da temperatura refletida na fachada Norte, horário de inspeção 12h no edifício E3



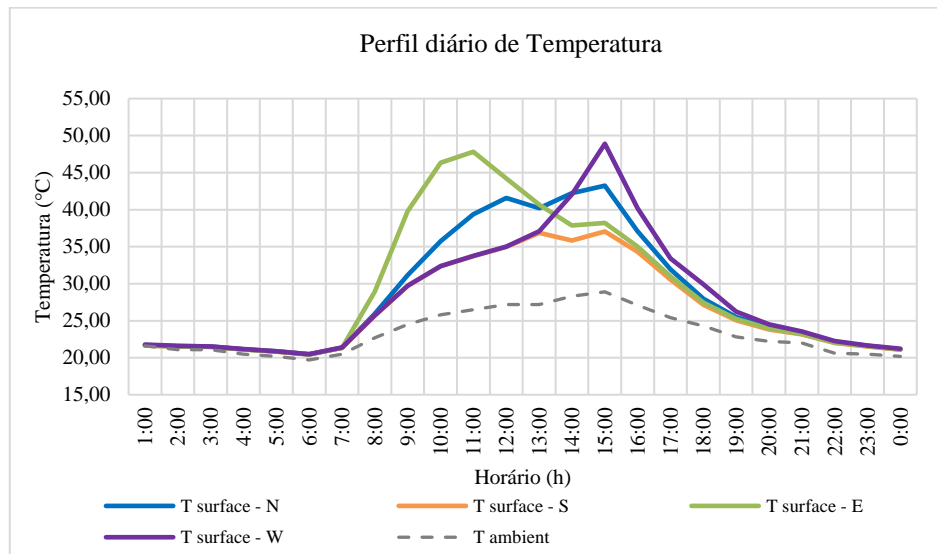
3.3 ETAPA 1: REALIZAÇÃO DO ESTUDO PILOTO EDIFÍCIO E1

3.3.1 Avaliação das temperaturas superficiais e gradientes de temperatura

O edifício E1 é investigado para determinação dos critérios de análise quantitativa e delimitação da rotina de análise. Após a determinação dos horários de inspeção e realização da inspeção termográfica para obtenção dos termogramas, realiza-se a investigação da temperatura

superficial com base nos resultados da simulação higrotérmica (AIDAR, 2019). Avalia-se os dados de temperatura obtidos na determinação do gradiente de temperaturas, que auxilia na compreensão da dinâmica do fluxo térmico ao longo do revestimento. A Figura 23 apresenta os resultados de temperatura superficial para as orientações Norte, Sul, Leste e Oeste do edifício E1.

Figura 23 - Perfil diário de temperaturas superficiais e temperatura ambiente do edifício E1



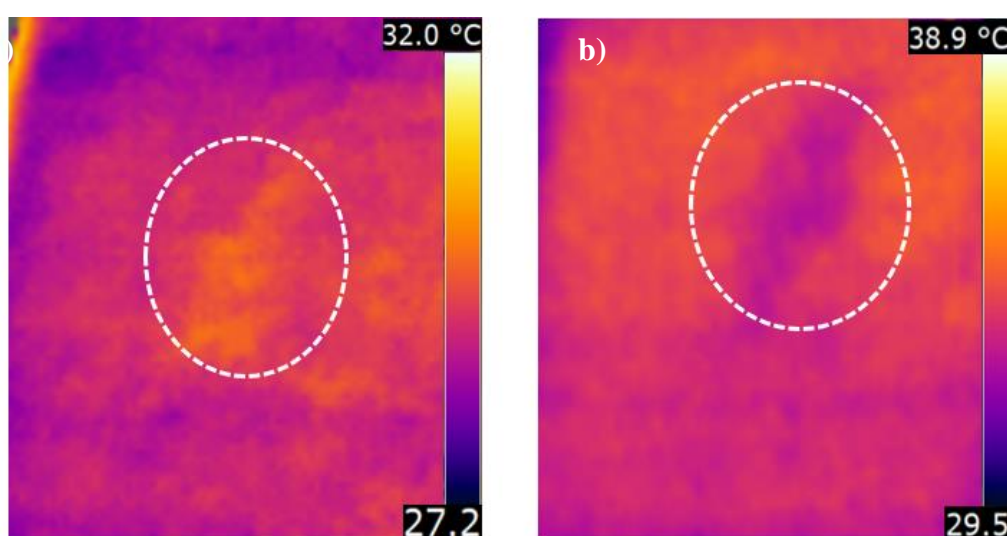
A avaliação da temperatura superficial permite conhecer a dinâmica de aquecimento do revestimento. No edifício E1 observa-se segundo a Figura 23 que a incidência de radiação solar inicia por volta de 07h, onde tem-se um incremento nos valores de temperatura que antes apresentavam comportamento constante. A orientação Leste apresenta maiores temperaturas até o momento das 11h e após isso apresenta queda nos valores. A orientação Oeste por sua vez, apresenta incremento nos valores de temperatura a partir das 13h, evidenciando que este comportamento das temperaturas se relaciona com a trajetória solar ao longo do dia. A orientação Sul apresenta os menores valores de temperatura ao longo do dia e a orientação Norte com valores de temperatura superiores a Oeste até o momento das 13h, apresentando após esse horário um incremento nos valores e redução após às 16h.

Nesta etapa os dados de temperatura obtidos por simulação são tratados e os gradientes de temperatura (G_{temp}) são determinados segundo a equação 10 conforme o item 2.6, para auxiliar na interpretação dos termogramas e na compreensão da dinâmica do fluxo térmico.

3.3.2 Análise qualitativa dos termogramas

A análise qualitativa é empregada com o objetivo de identificar zonas com presença de anomalia, como pontos mais quentes ou mais frios no revestimento de fachada. Neste estudo os momentos de inspeção consideram os ciclos de fluxo de calor direto (quando o sentido do fluxo é do exterior do edifício para o interior) e fluxo de calor inverso (quando o sentido do fluxo é do interior do edifício para o exterior). A Figura 24 apresenta uma anomalia de descolamento cerâmico identificada no fluxo de calor direto e inverso.

Figura 24 - Anomalia localizada na orientação Norte do edifício E1 (a) sob fluxo de calor direto às 10h40 e (b) sob fluxo de calor inverso às 16h50



O descolamento cerâmico apresentado na Figura 24 mostra a diferença no padrão de identificação da anomalia na Figura 24(a) no ciclo de fluxo direto e na Figura 24(b) no ciclo de fluxo inverso. No fluxo direto a anomalia mostra-se como zona mais quente quando comparada ao restante da fachada. No fluxo inverso a anomalia mostra-se como zona mais fria quando comparada ao restante da fachada. Essa avaliação visual é realizada em todas as orientações de fachadas do edifício e são determinadas as zonas a serem investigadas em todos os momentos de inspeção termográfica. São investigadas duas anomalias de descolamento cerâmico por orientação de fachada e apesar de localizadas na mesma orientação de fachada e edifício, apresentam particularidades e comportamentos diferentes devido serem anomalias distintas.

3.3.3 Análise quantitativa dos termogramas

A avaliação quantitativa é realizada nas zonas com possível presença de anomalia de descolamento cerâmico, identificadas por meio da análise qualitativa dos termogramas.

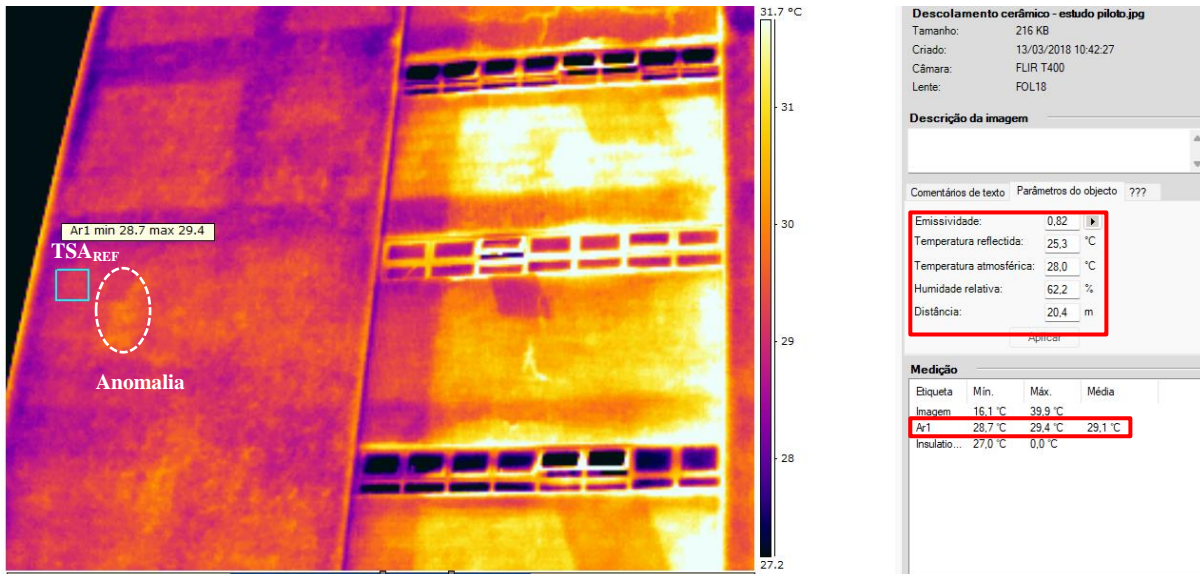
Emprega-se o FLIR Tools® para quantificação das temperaturas de cada pixel que compõe as zonas investigadas no termograma. Estabelece-se que a zona de estudo é uma anomalia, se a amplitude entre as temperaturas máxima e mínima dessa região seja superior a 2 °C.

3.3.3.1 Determinação da temperatura sem defeito

Na determinação da zona sem anomalia, os dados de temperatura por pixel são extraídos para o Excel e tratados removendo-se *outliers*, usando a técnica do intervalo interquartil. Dos valores de temperatura restantes, é determinada a temperatura mediana adotada como temperatura de referência da zona sem anomalia (TSA_{REF}). A utilização do intervalo interquartil na avaliação das temperaturas se justifica devido esta ferramenta permitir uma avaliação livre da dispersão do conjunto de dados, devido os limites do quartil se basear no valor da mediana e não considerar valores discrepantes. O Apêndice A apresenta a determinação do intervalo interquartil e mediana, adotada como TSA_{REF} , sendo destacados os valores que se encontram fora do intervalo de temperaturas considerado no intervalo interquartil.

A temperatura mediana é denominada como TSA_{REF} ou temperatura da zona sem anomalia de referência, essa temperatura é utilizada como parâmetro de caracterização da zona sem defeito, sendo utilizada na determinação dos contrastes térmicos aplicados. A Figura 25 ilustra a delimitação da zona sem anomalia. Nesse exemplo é delimitada, com a ferramenta área no *software* FLIR Tools® sobre o termograma, um retângulo sobre a zona sem presença de anomalia e a quantificação aponta que não há indicação de descolamento nesta região devido a variação entre mínima e máxima das temperaturas ser de 0.7 °C. Ao determinar a zona sem anomalia a área delimitada no termograma não deve estar a uma distância maior que 0.50 metros da anomalia. Observa-se na imagem que são inseridos no software os dados de emissividade, temperatura refletida, temperatura atmosférica (ambiente), umidade relativa e distância, pois estes dados possuem influência direta nos dados de temperatura obtidos.

Figura 25 - Determinação da zona sem anomalia e TSA_{REF} às 10h40

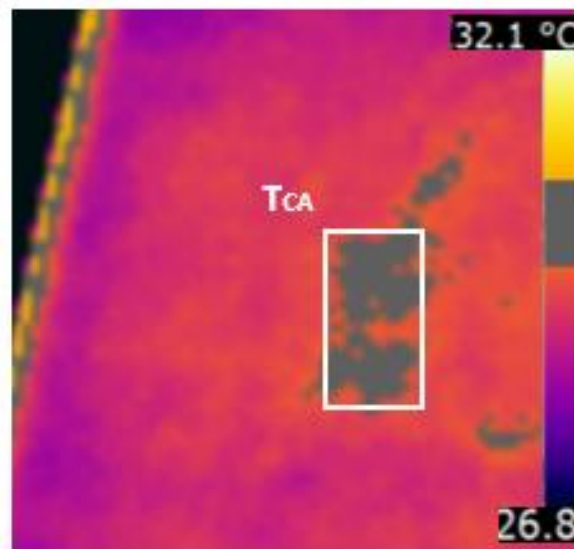


3.3.3.2 Determinação da temperatura com defeito

A zona com anomalia é delimitada para determinação da temperatura de referência da anomalia ou T_{CA} . Os dados de temperatura da área com anomalia são tratados removendo-se outliers, usando a técnica do intervalo interquartil. Dos valores de temperatura restantes determina-se a temperatura mediana que é adotada como a temperatura de referência da anomalia (T_{CA}). O Apêndice B apresenta a determinação do intervalo interquartil, os limites inferior e superior, assim como a mediana adotada como T_{CA} . As temperaturas destacadas se encontram fora dos limites do intervalo interquartil.

As temperaturas T_{CA} e TSA_{REF} são empregadas na determinação dos contrastes térmicos de avaliação das anomalias. A Figura 26 apresenta a delimitação da zona da anomalia para determinação da T_{CA} . Nesta imagem tem-se empregado a ferramenta isopleta do software FLIR Tools®, que permite ressaltar um intervalo específico de temperaturas no termograma. Neste caso é evidenciado uma variação de temperaturas superior a 2 °C.

Figura 26 – Determinação da zona com anomalia e T_{CA} às 10h40



3.3.4 Determinação dos contrastes térmicos

Determinadas as temperaturas de referência tanto das zonas sem anomalia quanto das zonas com anomalia, torna-se possível mensurar os critérios de análise quantitativa. Os contrastes empregados são variações do contraste absoluto (Equação 4) e contraste corrido (Equação 6) desenvolvidos por Maldague (2001). A equação 11 apresenta o cálculo do Delta-T, sendo importante mencionar que ele é calculado para cada anomalia e para cada horário (tempo). Conforme o sentido do fluxo de calor, o Delta T pode ser positivo ou negativo, sendo determinado conforme mostra a equação (11).

$$\Delta T(t) = T_{CA}(t) - T_{SA_{REF}}(t) \quad \text{Eq. 11}$$

Onde: $\Delta T(t)$ é o contraste absoluto no instante de tempo t (°C), $T_{CA}(t)$ é a temperatura do defeito no instante de tempo t (°C) e $T_{SA_{REF}}(t)$ temperatura da superfície sem defeito no instante de tempo t (°C).

O Delta T varia, aumentando ou diminuindo em razão da variação do fluxo de calor; com isso, a análise da anomalia pelo Delta T pode não ser a mesma para fluxos de calor de magnitude e direção distintas. Buscando uma grandeza que permita certo grau de comparação e analogia entre os diferentes descolamentos investigados, se propõe a aplicação do Delta T_{cor} conforme equação (3). Vale ressaltar que a pesquisa de Aidar (2019) também apresentou uma proposta de Delta T_{cor} para as anomalias dos edifícios investigados, porém utilizando a temperatura média das zonas sem anomalia como parâmetro de correção do Delta T. O mesmo

é obtido dividindo-se o Delta T pela temperatura da região sem anomalias e é definido como Delta Tcor, conforme equação (12).

$$Delta_{T_{cor}}(t) = \frac{Delta_T(t)}{TSA_{REF}(t)} \quad \text{Eq. 12}$$

Onde: DeltaTcor(t) é o contraste corrigido, Delta T(t) é o contraste absoluto(°C), TSA_{REF}(t) Temperatura da zona sem anomalia no instante t (°C).

3.4 ETAPA 2: APLICAÇÃO DA ANÁLISE QUANTITATIVA AOS EDIFÍCIOS E2 E E3

Nesta etapa o método de avaliação e análise quantitativa dos termogramas desenvolvido no estudo piloto foram aplicados aos outros dois edifícios investigados. Após a realização da inspeção termográfica e obtenção dos termogramas, a princípio realiza-se análise qualitativa dos termogramas com o intuito de identificar as anomalias, conforme apresentado no item 3.3.2.

A identificação das zonas com presença de anomalias permite a análise quantitativa dos termogramas para determinação das temperaturas de referência TSA_{REF} e T_{CA}. A partir da determinação da TSA_{REF} e T_{CA} conforme itens 3.3.3.1 e 3.3.3.2 respectivamente, pode-se mensurar os contrastes térmicos Delta T e Delta Tcor de acordo o item 3.3.4. Nesta etapa 2 ocorre a proposição dos critérios quantitativos de análise, obtidos segundo o estudo piloto. Observa-se como as temperaturas de referência obtidas através da avaliação das zonas sem presença de anomalia e com anomalia, conseguem caracterizar os descolamentos cerâmicos identificados na análise qualitativa dos edifícios E2 e E3.

Nessa proposição dos critérios, utiliza-se a TSA_{REF} como referência na capacidade de detecção das anomalias. As anomalias detectadas de modo qualitativo no FLIR Tools® com 1°C superior a TSA_{REF} de cada momento de inspeção, são consideradas no momento de definir o valor de referência Delta Tcor que caracteriza a presença de descolamentos cerâmicos.

3.5 ETAPA 3: DETERMINAÇÃO DA ROTINA DE ANÁLISE QUANTITATIVA

A etapa tem o enfoque de mensurar a dimensão horizontal das anomalias investigadas com base no momento de inspeção que apresenta o Delta T máximo em módulo. Neste estudo adota-se o critério do máximo Delta T como condição mais indicada para determinar a dimensão da anomalia pois maiores contrastes tendem a apresentar maior confiabilidade nos resultados de temperatura superficial. Nesta etapa avalia-se a aplicabilidade dos critérios na identificação e

avaliação de descolamentos cerâmicos em outros edifícios além do que foi realizado o estudo piloto para desenvolvimento da metodologia.

Ao final deste trabalho pretende-se enumerar uma proposta de rotina de análise quantitativa com base em critérios, que possa ser aplicada em diferentes edifícios submetidos a condições de fluxo térmico distintas.

4 RESULTADOS

Os resultados obtidos segundo o programa experimental proposto são apresentados por etapas de análise. A análise quantitativa das anomalias de descolamento cerâmico busca propor critérios quantitativos que caracterizem a presença deste tipo de anomalia nas fachadas de edifícios e a rotina de análise quantitativa proposta busca auxiliar na inspeção termográfica de fachadas de edifícios.

4.1 ETAPA 1 – ESTUDO PILOTO EDIFÍCIO E1

Na realização do estudo piloto do edifício E1 realizou-se a simulação higrotérmica para investigação das temperaturas superficiais e das temperaturas entre as camadas do sistema de revestimento, para determinação do gradiente de temperaturas segundo a equação 10. Os resultados de temperatura superficial do sistema são apresentados na Figura 23 do item 3.3.1. Os dados da Figura 23 mostram que a incidência de radiação solar inicia por volta das 07h sobre todas as orientações de fachada. A orientação Leste apresenta os maiores valores até o momento das 13h, seguida da Norte. As orientações Oeste e Sul até o momento das 13h apresentam comportamento de temperaturas semelhantes, devido a menor incidência de radiação. Logo após o momento das 13h ocorre inversão dos comportamentos de temperatura, onde a Leste apresenta redução dos valores e aumento das temperaturas da orientação Oeste. Neste momento das 13h em diante as maiores temperaturas superficiais observadas são para Oeste, Norte, Leste e Sul, respectivamente.

4.1.1 Determinação do Delta T edifício E1

A avaliação qualitativa ocorre de modo a identificar os locais com temperaturas mais quentes ou mais frios dos termogramas, e apontar a possível presença de anomalias. A Figura 27 apresenta as anomalias de descolamento cerâmico identificadas e analisadas de forma qualitativa e quantitativa. As zonas sem presença de anomalia e zonas com anomalia foram avaliadas e determinadas as temperaturas de referência $T_{SA_{REF}}$ e T_{CA} , apresentadas para este edifício no Apêndice E. A Figura 28 apresenta os resultados de Delta T para as anomalias de descolamento cerâmico investigadas no edifício E1. São apresentadas as anomalias das fachadas Norte e Sul nas Figura 28 (a) e Figura 28 (b) e as anomalias das fachadas Leste e Oeste nas Figura 28 (c) e Figura 28 (d). A avaliação quantitativa ocorre em dois momentos de avaliação dos resultados, o ciclo A no ciclo que ocorre pela manhã, período de 07h40 as 10h30 e ciclo B no ciclo que ocorre na tarde e noite, período de 16h50 às 20h.

Figura 27 - Anomalias de descolamento cerâmico investigadas no Edifício E1

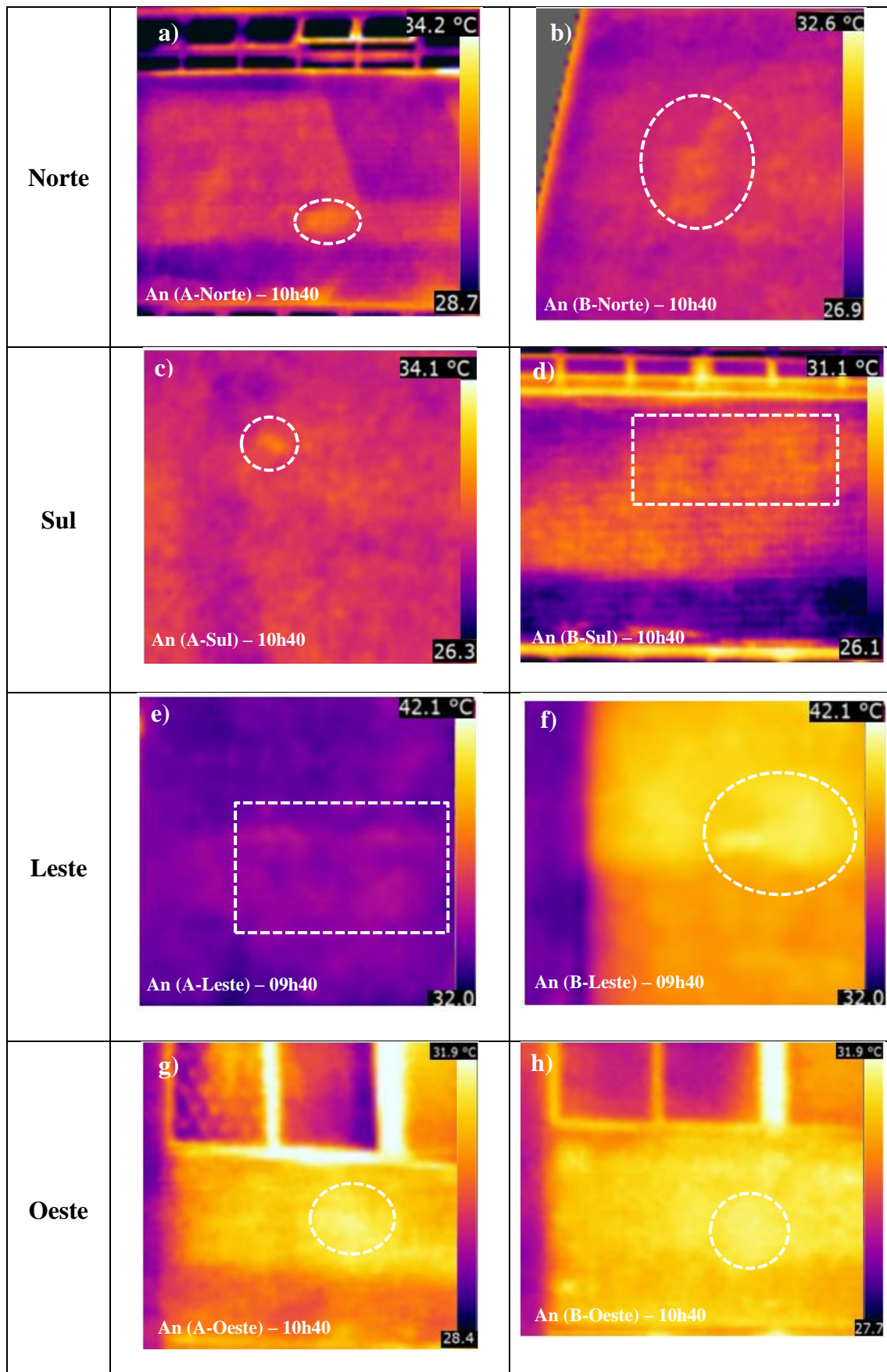
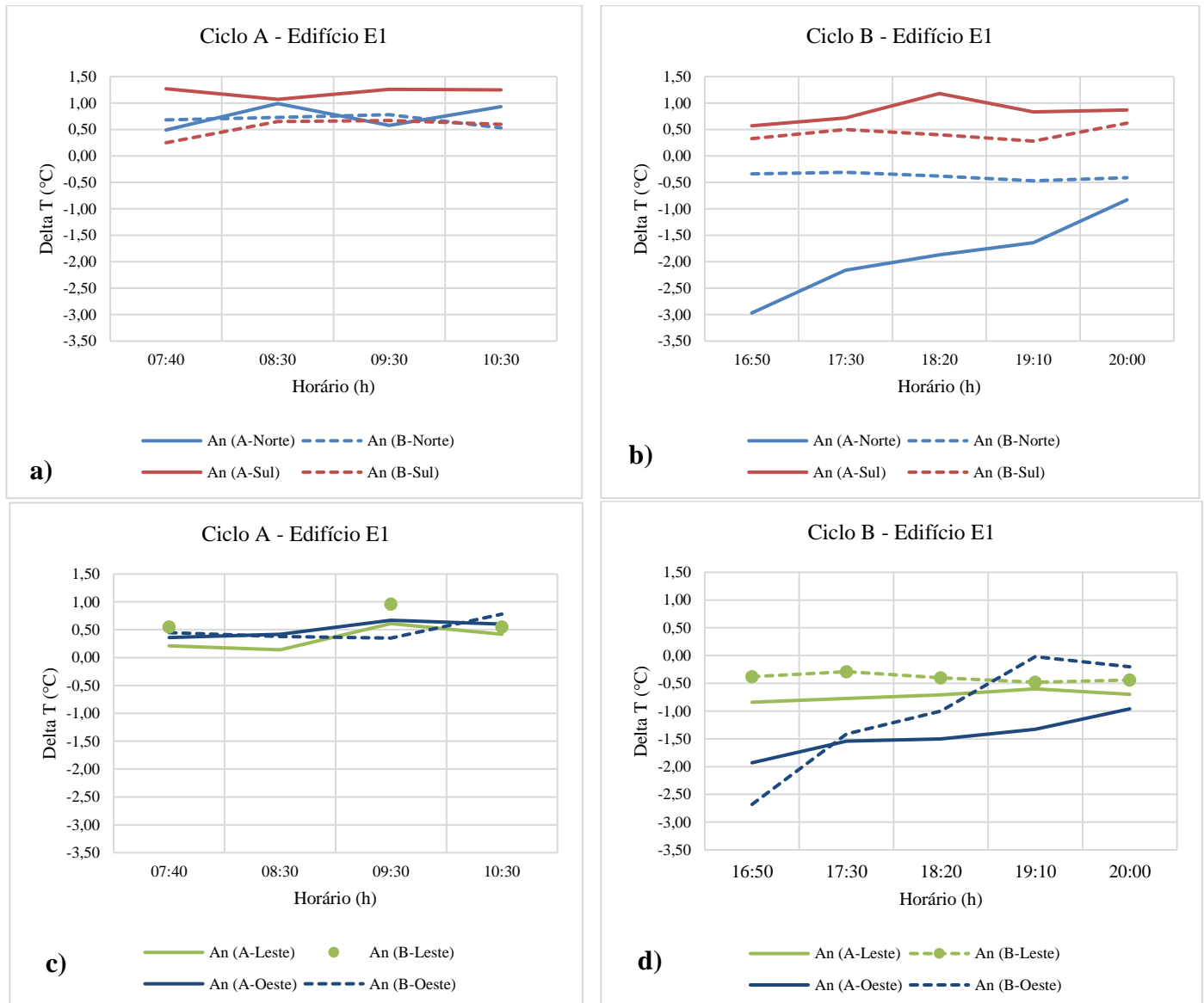


Figura 28 - Resultados do Delta T no edifício E1 para (a) Orientação Norte e Sul – Ciclo A e (b) Orientação Norte e Sul – Ciclo B (c) Orientação Leste e Oeste – Ciclo A e (d) Orientação Leste e Oeste – Ciclo B



Na Figura 28 (a) ciclo A das anomalias An A e An B, observa-se que os resultados de Delta T são positivos. Valores de Delta T positivos indicam que a T_{CA} é superior a T_{SAREF} , e que a temperatura da superfície na zona da anomalia é superior a zona sem anomalia próxima, indicando que a presença de anomalia perturba o fluxo de calor e altera a dinâmica de aquecimento da fachada. A anomalia An (A-Sul) apresenta resultados superiores, seguida da An (A-Norte), An (B-Norte) e An (B-Sul). No ciclo B (Figura 28 (b)) os resultados apontam que a orientação Sul continua apresentando a mesma dinâmica de fluxo térmico, pois os valores de Delta T para as anomalias An (A-Sul) e An (B-Sul) continuam positivos. Porém as anomalias

da orientação Norte apresentam inversão dos valores, com resultados negativos que indicam a inversão na dinâmica de aquecimento da fachada.

As anomalias das orientações Leste e Oeste são apresentadas nas Figura 28 (c) e Figura 28 (d). No ciclo A, os resultados apresentam convergência dos comportamentos, sem grandes variações, exceto o resultado das 08h30 para a anomalia An (B-Leste) que por apresentar valor discrepante e sendo considerado um erro, não foi considerado na análise. No ciclo B, observa-se maior variação do comportamento dos resultados. As anomalias An (A-Leste) e An (B-Leste) localizadas na orientação Leste apresentam comportamento do Delta T mais uniforme, enquanto as anomalias An (A-Oeste) e An (B-Oeste) localizadas na orientação Oeste apresentam seus valores máximos no horário de 16h50. Esse comportamento das anomalias da fachada Oeste no horário das 16h50 corresponde ao momento mais próximo do pico de temperatura superficial desta orientação segundo a Figura 23.

Os resultados quando avaliados em módulo mostram que a anomalia An (A-Norte) apresenta o maior valor de Delta T no ciclo B. Os maiores valores de Delta T da orientação Norte em comparação a Sul podem ser justificados devido a maior incidência de radiação solar, uma vez que esse fator de controle influencia diretamente na temperatura superficial do revestimento e conseqüentemente nas temperaturas de referência ($T_{S_{REF}}$ e T_{CA}) e Delta T.

Os valores de Delta T para cada orientação de fachada do edifício E1 e anomalias investigadas são apresentados na Tabela 4. Os valores máximos e mínimos (módulo) de Delta T obtidos para cada anomalia se encontram destacados na tabela 4, evidenciando em cada ciclo de análise que ocorrem.

Tabela 4 - Determinação do Delta T para o edifício E1

Orientação de fachada	Ciclo de avaliação	Horário (h)	Anomalia A	Anomalia B
			Delta T (°C)	Delta T (°C)
Norte	Ciclo A	07:40	0,49	0,68
		08:30	0,99	0,73
		09:30	0,58	0,78
		10:30	0,93	0,53
	Ciclo B	16:50	-2,97	-0,34
		17:30	-2,16	-0,31
		18:20	-1,87	-0,38
		19:10	-1,64	-0,47
		20:00	-0,83	-0,41
Sul	Ciclo A	07:40	1,27	0,25
		08:30	1,07	0,65
		09:30	1,26	0,67
		10:30	1,25	0,60

		16:50	0,57	0,33
		17:30	0,72	0,50
	Ciclo B	18:20	1,18	0,40
		19:10	0,83	0,28
		20:00	0,87	0,62
		07:40	0,21	0,55
	Ciclo A	08:30	0,14	-
		09:30	0,61	0,96
		10:30	0,42	0,55
Leste		16:50	-0,84	-0,38
		17:30	-0,77	-0,29
	Ciclo B	18:20	-0,71	-0,40
		19:10	-0,60	-0,48
		20:00	-0,70	-0,44
		07:40	0,36	0,45
	Ciclo A	08:30	0,42	0,38
		09:30	0,67	0,35
		10:30	0,60	0,78
Oeste		16:50	-1,93	-2,68
		17:30	-1,54	-1,41
	Ciclo B	18:20	-1,50	-1,00
		19:10	-1,33	-0,02
		20:00	-0,96	-0,20

Os valores de Delta T apresentam convergência superior no ciclo A quando comparados a ciclo B de avaliação. Esse comportamento pode ser justificado devido à influência dos fatores de controle sobre as variáveis independentes, uma vez que no ciclo A de avaliação a incidência de radiação exerce influência direta sobre as orientações Leste e Norte, e de forma indireta nas orientações Oeste e Sul devido estar relacionada à temperatura ambiente e fluxo térmico da fachada. No ciclo B a orientação Oeste é a que recebe influência direta da radiação, sendo as demais orientações influenciadas de forma indireta, isto resulta no comportamento mais disperso dos dados de Delta T sem uma convergência evidente.

Os resultados apresentados na Figura 28 e na tabela 4 mostram que as anomalias localizadas na orientação Norte e Oeste apresentam comportamentos semelhantes, nos ciclos A e B de avaliação. A anomalia An (B-Norte) é a única que no ciclo B apresenta comportamento diferente, pois os resultados de Delta T não apresenta maior valor no momento das 16h50 como as demais anomalias. As anomalias das orientações Leste e Sul apresentam comportamentos semelhantes no ciclo A de avaliação, exceto para a anomalia An (A-Sul) que apresenta comportamento mais distinto com valores maiores quando comparados aos valores das demais anomalias. No ciclo B observa-se semelhança de comportamento de Delta T para as anomalias

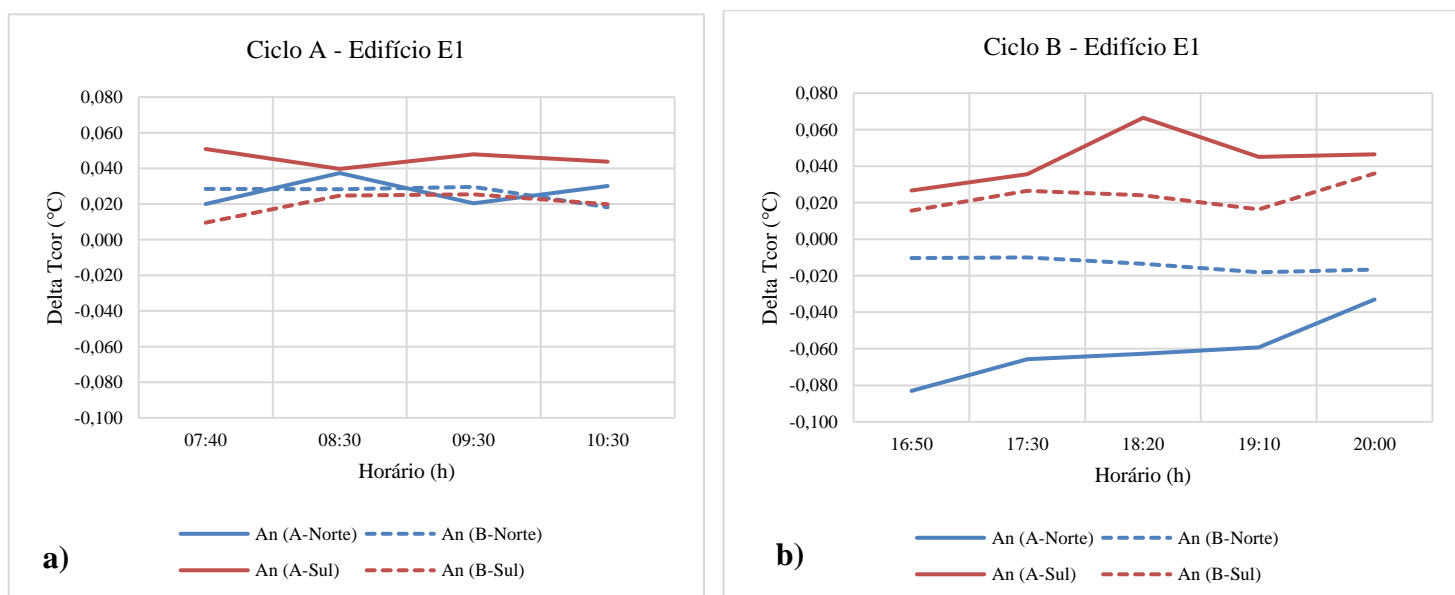
localizadas na mesma orientação, não sendo observadas semelhanças entre os valores das orientações Leste e Sul.

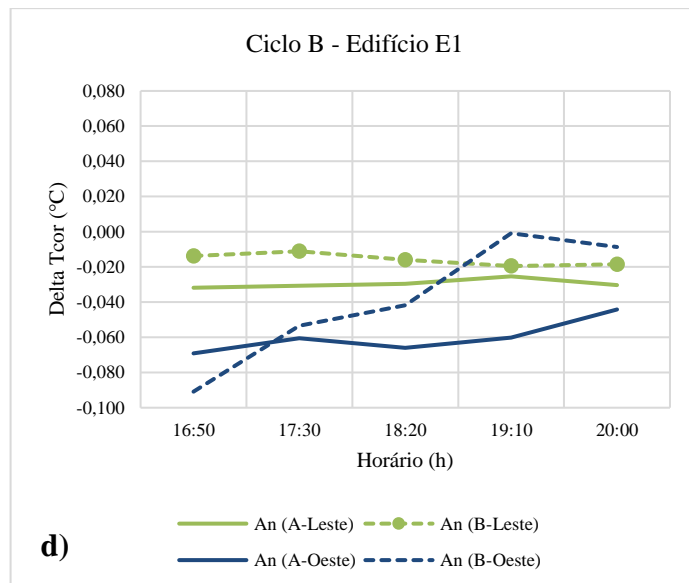
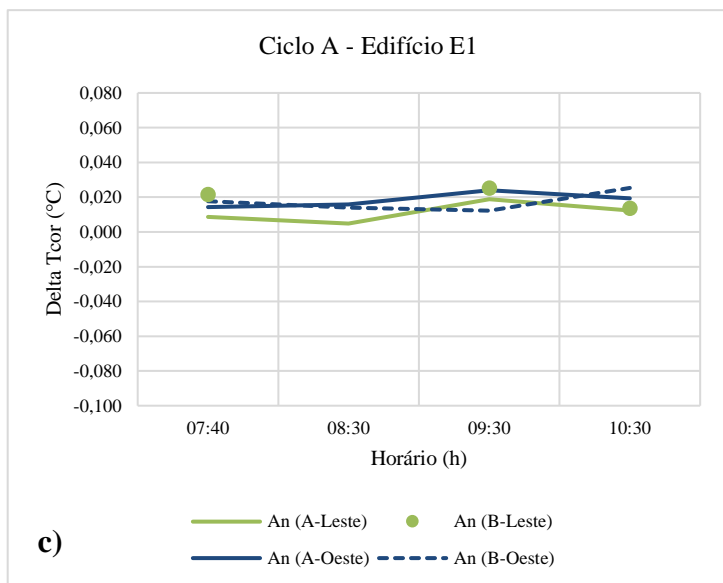
Observa-se que as anomalias localizadas na mesma orientação de fachada, apesar de apresentarem valores diferentes, tendem a apresentar distribuição de comportamentos de Delta T semelhantes. Este paralelismo de comportamentos é observado para as orientações Leste, Oeste e Sul, a orientação Norte é a única em que os comportamentos de Delta T das anomalias An (A-Norte) e An (B-Norte) apresentam diferenças no ciclo B de avaliação. A diferença observada nas anomalias da fachada Norte deve ser devido as particularidades das anomalias e a forma como estas influenciam na dinâmica do fluxo térmico, resultando em valores de Delta T com comportamentos divergentes.

4.1.2 Determinação do Delta Tcor edifício E1

A Figura 29 apresenta os resultados de Delta Tcor obtidos nos ciclos A e B de avaliação das anomalias de descolamento cerâmico. O emprego do Delta Tcor na avaliação permite uma investigação das anomalias localizadas em diferentes orientações e condições de fluxo, devido a correção pela TSA_{REF} .

Figura 29 – Resultados do Delta Tcor no edifício E1 para (a) Orientação Norte e Sul – Ciclo A e (b) Orientação Norte e Sul – Ciclo B (c) Orientação Leste e Oeste – Ciclo A e (d) Orientação Leste e Oeste – Ciclo B





A anomalia An (A-Sul) apresenta valores de Delta Tcor superiores às anomalias da orientação Norte. A anomalia An (A-Sul) quando comparadas as demais anomalias da Figura 29 (a) apresenta-se com maiores valores e a An (B-Sul) em contraste apresenta os menores resultados. A diferença no comportamento de anomalias localizadas na mesma orientação de fachada pode ser devido a diferenças na extensão do dano, devido às condições ambientais distintas, entre outros. Esse comportamento é atípico devido a incidência de radiação solar para Norte ser superior a Sul, apontando que o contraste a ser gerado na orientação Norte tende a ser superior.

No ciclo B (Figura 29 (b)) a anomalia An (A-Norte) apresenta os maiores valores de Delta Tcor (módulo) e a anomalia An (B-Norte) os menores valores (módulo), apesar de localizadas na mesma orientação, devido às particularidades de cada anomalia relacionada à extensão do dano e condições de fluxo da fachada. Os resultados de Delta Tcor das anomalias da orientação Sul são positivos no ciclo A e B de avaliação, indicando que para esta orientação não há mudanças significativas na dinâmica do fluxo de calor ao ponto de inverter os valores dos contrastes térmicos. Esse comportamento é evidenciado na Figura 23, na qual as temperaturas superficiais da fachada Sul apresentam comportamento de distribuição constante, sem grandes variações ao longo do dia, isto devido receber baixa incidência de radiação solar.

As orientações Leste e Oeste para as anomalias investigadas no ciclo A (Figura 29 (c)) apresentam distribuição das temperaturas semelhante aos dados de Delta T, porém com uma convergência maior dos resultados. Observa-se que os resultados de Delta Tcor no ciclo A para todas as anomalias apresentam comportamentos mais semelhantes. No ciclo B observa-se a mesma dispersão dos resultados observada na Figura 28 (d) para os dados de Delta T.

As anomalias da orientação Leste apresentam comportamentos paralelos, já as anomalias da orientação Oeste apesar de não apresentar paralelismo dos resultados apresentam os maiores valores de Delta Tcor no horário das 16h50min, em comparação as demais anomalias de todas as orientações investigadas. O comportamento de distribuição paralelo do Delta Tcor das anomalias An (A-Leste) e An (B-Leste) pode ser justificado devido nesse ciclo B de avaliação a incidência de radiação solar direta não estar presente sobre a orientação Leste, mantendo o comportamento das temperaturas superficiais constantes. Observa-se que os resultados de Delta Tcor das anomalias localizadas nas orientações Leste e Oeste passam de valores positivos para negativos, indicando que ocorre alteração da dinâmica do fluxo de calor nestas fachadas, resultante da incidência de radiação solar.

Na avaliação do comportamento paralelo entre os resultados de Delta Tcor das anomalias observa-se semelhanças de distribuição. Para anomalias localizadas em uma mesma orientação, apesar de valores diferentes, a tendência de distribuição dos dados ao longo dos horários de inspeção tende a ser semelhantes. As orientações que apresentam maiores semelhanças de comportamento são Norte e Oeste, com máximos valores (módulo) identificados no momento das 16h50min exceto para a anomalia An (B-Norte) que apresenta valor máximo às 09h30min. Este comportamento paralelo é devido as semelhanças na incidência de radiação sobre estas orientações, sendo superior na orientação Oeste que apresenta a anomalia An (B-Oeste) com maior Delta Tcor (módulo) associado, conforme apresenta a tabela 5.

Os resultados de Delta Tcor para cada anomalia investigada por orientação do edifício E1 são apresentados na tabela 5. Observa-se em destaque os valores máximos e mínimos para cada anomalia e esta avaliação permite a determinação de um valor de referência, que segundo as particularidades deste edifício, caracterize a presença de descolamento cerâmico.

Tabela 5 - Determinação do Delta Tcor para o edifício E1

Orientação de fachada	Ciclo de avaliação	Horário (h)	Anomalia A	Anomalia B
			Delta Tcor (°C/°C)	Delta Tcor (°C/°C)
Norte	Ciclo A	07:40	0,020	0,028
		08:30	0,037	0,028
		09:30	0,020	0,030
		10:30	0,030	0,018
	Ciclo B	16:50	-0,083	-0,010
		17:30	-0,066	-0,010
		18:20	-0,063	-0,014
		19:10	-0,059	-0,018

		20:00	-0,033	-0,017
Sul	Ciclo A	07:40	0,051	0,010
		08:30	0,040	0,025
		09:30	0,048	0,025
		10:30	0,044	0,020
	Ciclo B	16:50	0,027	0,016
		17:30	0,036	0,026
		18:20	0,066	0,024
		19:10	0,045	0,016
		20:00	0,047	0,036
Leste	Ciclo A	07:40	0,009	0,022
		08:30	0,005	-
		09:30	0,019	0,025
		10:30	0,012	0,014
	Ciclo B	16:50	-0,032	-0,014
		17:30	-0,031	-0,011
		18:20	-0,030	-0,016
		19:10	-0,025	-0,020
		20:00	-0,030	-0,018
Oeste	Ciclo A	07:40	0,014	0,018
		08:30	0,016	0,014
		09:30	0,024	0,012
		10:30	0,019	0,025
	Ciclo B	16:50	-0,069	-0,091
		17:30	-0,060	-0,053
		18:20	-0,066	-0,042
		19:10	-0,060	-0,001
		20:00	-0,044	-0,009

A proposição do Delta Tcor como contraste térmico permite a avaliação de anomalias com resultados mais convergentes, em comparação ao emprego do Delta T. Os resultados do ciclo A de avaliação, para os dados de Delta Tcor (Figura 28 (c)) apontam maior convergência e proximidade dos valores obtidos em comparação aos dados de Delta T (Figura 29 (c)) deste mesmo ciclo. Os resultados do ciclo B para ambos os contrastes apresentam dispersão dos resultados, devido nesse ciclo a orientação Oeste ser a que mais recebe incidência de radiação solar, seguida da orientação Norte segundo a Figura 23. As demais orientações neste período têm as condições de fluxo da fachada influenciadas pela temperatura ambiente. A semelhança dos resultados de Delta Tcor observados para as orientações Norte e Oeste permite a comparação entre anomalias localizadas nestas orientações. As orientações Leste e Sul também apresentaram semelhanças de comportamento, permitindo a avaliação conjunta das anomalias. Quando avaliadas as anomalias de todas as orientações em conjunto, uma vez que o Delta Tcor permite uma convergência maior dos comportamentos, é indicado que as particularidades dos fatores de controle listados no item 3.1 sejam considerados na interpretação.

Com os valores de Delta T e Delta Tcor mensurados é possível avaliar a influência do fluxo térmico nestes resultados. A avaliação desta influência é feita relacionando os dados dos contrastes térmicos, com o valor do gradiente de temperatura obtido para determinado horário de inspeção. O gradiente determinado segundo a equação (10) indica quando positivo que o sentido do fluxo térmico sobre o revestimento cerâmico da fachada é direto e quando negativo indica que o fluxo térmico é inverso. Essa avaliação pode auxiliar na detecção das anomalias e ao ser avaliada em conjunto com o contraste, deseja-se observar se auxilia na avaliação das anomalias.

As Figura 30 e Figura 31 apresentam os resultados de Delta T e Delta Tcor em função do fluxo térmico. Observa-se que nos resultados obtidos para as anomalias das fachadas Norte e Sul (Figura 30 (a) e Figura 31 (a)) o fluxo térmico foi positivo, evidenciando um aquecimento do sistema e que este ocorre de forma direta (sentido do fluxo térmico do exterior para o interior do edifício).

Em contrapartida, as anomalias das orientações Leste e Oeste (Figura 30 (b) e Figura 31 (b)) apresentaram resultados de Delta T e Delta Tcor associados a dados de fluxo térmico negativos, evidenciando inversão na dinâmica de fluxo de calor no sistema, onde a transferência dele ocorre do interior para o exterior do edifício.

As anomalias apresentam particularidades quanto à configuração do descolamento cerâmico, extensão do dano e gravidade associada. Associado a isto, estão localizadas em orientações de fachadas diferentes que apresentam incidência de radiação distintas. Isso influencia diretamente nos resultados de Delta T e Delta Tcor obtidos, uma vez que menor a incidência de radiação o Delta T apresente menor capacidade de evolução ou menor precisão devido o contraste reduzido. Todos os fatores elencados influenciam na dinâmica do fluxo térmico, que não apresenta uma relação direta dos comportamentos. A Figura 30 (a) e Figura 31 (a) apresentam os dados de Delta T e Delta Tcor em determinado patamar e com fluxo variando. No ciclo B, os resultados de Delta T e Delta Tcor apresentam dispersão e o fluxo varia em valores negativos. Os resultados mostram-se dispersos e sem padrão de distribuição. Com isso, essa avaliação e associação dos resultados só foi realizada no estudo piloto, não sendo aplicada aos edifícios E2 e E3.

Figura 30 - Resultados de Delta T x Fluxo térmico do edifício E1

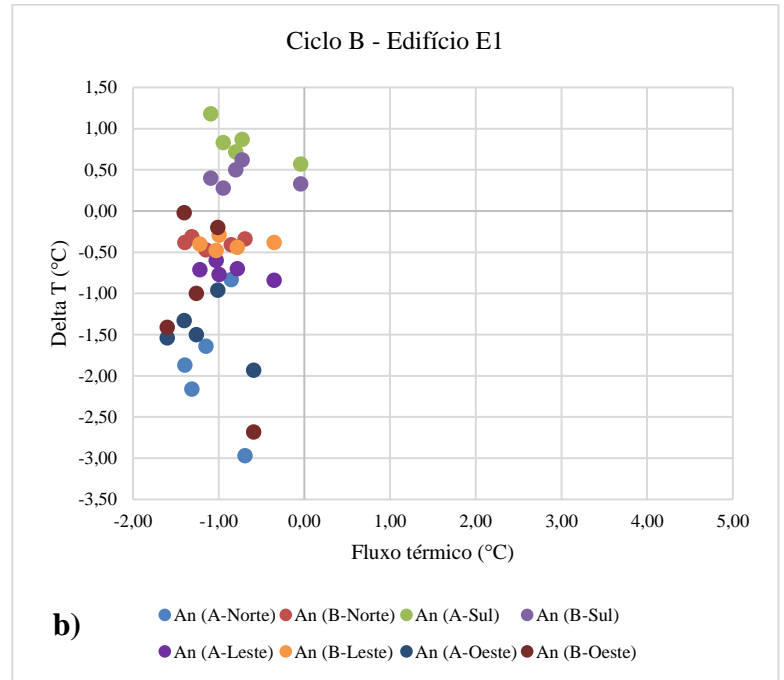
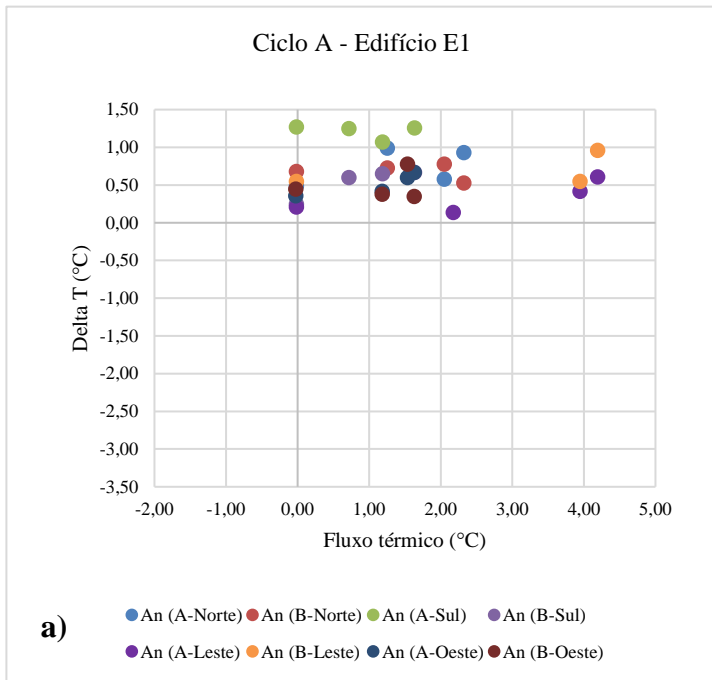
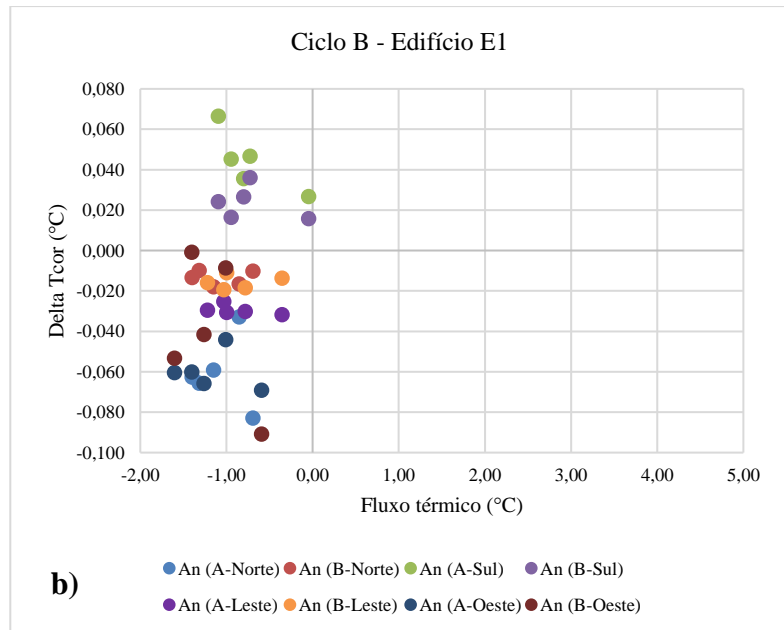
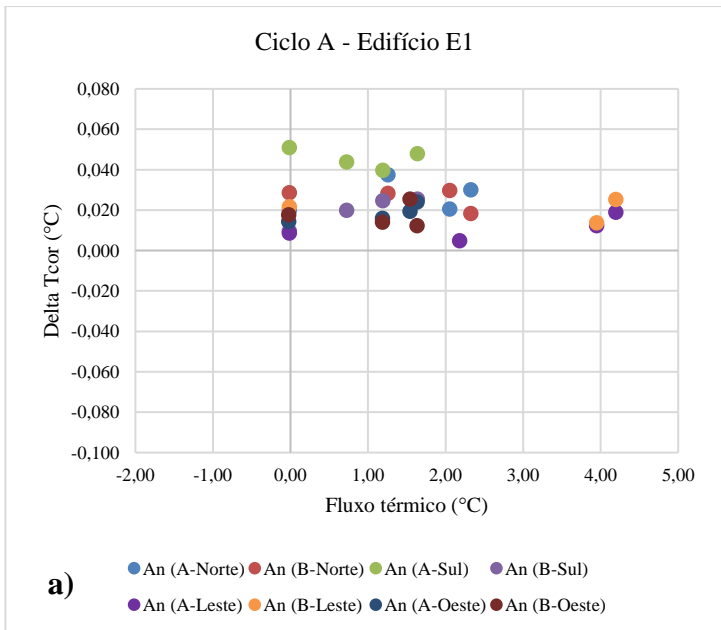


Figura 31 - Resultados de Delta Tcor x Fluxo térmico do edifício E1



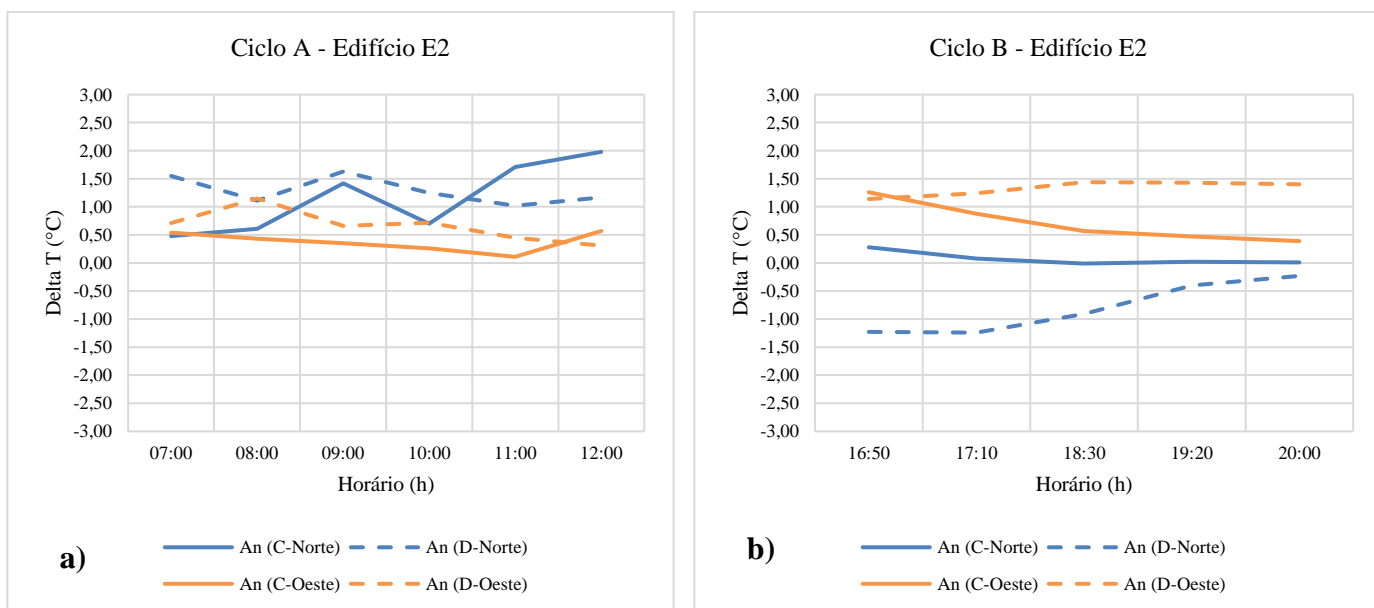
4.2 ETAPA 2 – EDIFÍCIOS E2 e E3

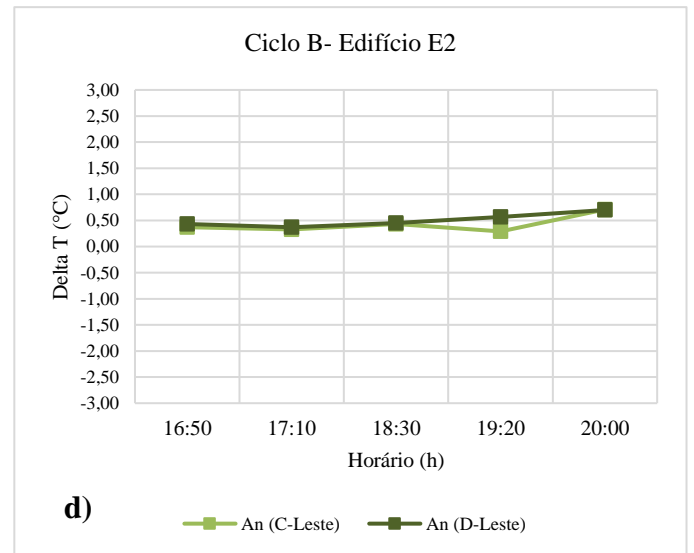
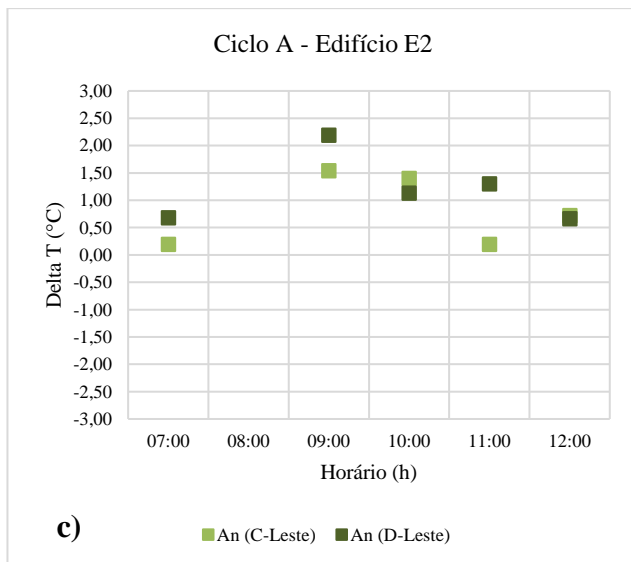
4.2.1 Determinação Delta T edifício E2

Neste ciclo é realizada a avaliação quantitativa dos edifícios E2 e E3 segundo a metodologia proposta através da investigação do edifício E1. As anomalias investigadas no edifício E2 estão apresentadas no Apêndice C.

Na análise quantitativa a primeira investigação é realizada na zona sem presença de anomalias, seguida da zona com anomalias para determinação das temperaturas de referência. O Apêndice F apresenta os resultados referentes ao edifício E2 e observa-se que constam os resultados de $T_{SA_{REF}}$ e T_{CA} para as orientações Norte, Leste e Oeste. Neste edifício não são avaliadas anomalias na orientação Sul devido particularidades do edifício. Os resultados de Delta T são apresentados na Figura 32.

Figura 32 - Resultados do Delta T no edifício E2 para (a) Orientação Norte e Oeste – Ciclo A e (b) Orientação Norte e Oeste – Ciclo B (c) Orientação Leste – Ciclo A e (d) Orientação Leste – Ciclo B





Os resultados de Delta T no ciclo A (Figura 32 (c)) mostram que as anomalias da orientação Leste tendem a apresentar os maiores valores, seguidas das anomalias da orientação Norte e Oeste, respectivamente. Esse comportamento condiz com o observado na Figura 23, na qual a orientação Leste é a que recebe maior parcela de incidência de radiação solar e apresenta pico de temperatura superficial no período entre 07 e 14h. Observa-se na Figura 32 (c) no horário 08h que não constam os resultados de Delta T, isto se deve ao erro da obtenção do dado no termograma, para não perturbar os dados obtidos optou-se por excluí-lo da análise.

O comportamento observado nos resultados da Figura 32 (a) e Figura 32 (b) evidencia a influência da radiação solar sobre os dados de Delta T e contrastes gerados entre as zonas sem anomalia e zonas com anomalia. No ciclo A, em que a orientação Oeste não recebe incidência direta da radiação solar, as anomalias localizadas nesta orientação apresentaram Delta T inferiores as demais anomalias investigadas. No ciclo B, em que há incidência de radiação direta, as anomalias An (C-Oeste) e An (D-Oeste) apresentam os maiores valores de contraste Delta T. As anomalias An (C-Leste) e An (D-Leste) por não receberem incidência direta nesse ciclo apresentam resultados sem grandes variações, com comportamento de distribuição de temperaturas constante. A anomalia An (C-Norte) apresenta neste ciclo a menor variação de valores de Delta T.

Quando avaliados os comportamentos de Delta T para as anomalias investigadas em cada orientação observa-se que há comportamentos semelhantes. As anomalias investigadas nas orientações Norte no ciclo A (Figura 32 (a)) apresentam comportamentos de Delta T paralelos, exceto no horário das 11h em que a anomalia An (D-Norte) apresenta diminuição do valor e a anomalia An (C-Norte) apresenta crescimento. No ciclo B, ambas as anomalias

investigadas apresentam maiores valores de Delta T no horário de 16h50min e posterior tendência a estabilização, para valores de contraste próximos de zero indicando o resfriamento do sistema de revestimento de fachada.

As anomalias da orientação Oeste no ciclo A (Figura 32 (a)) apresentam comportamentos de redução dos resultados, exceto no momento das 12h em que a anomalia An (C-Oeste) apresenta crescimento do Delta T e a anomalia An (D-Oeste) apresenta redução. No ciclo B, observa-se que a anomalia An (C-Oeste) apresenta o maior valor no horário 16h50 e posterior redução com tendência a estabilização, porém a anomalia An (D-Oeste) apresenta leve crescimento dos valores de Delta T entre 16h50 e 18h30 com posterior estabilização dos resultados em um patamar.

A orientação Leste apresenta semelhança nos resultados, tanto no ciclo A quanto no ciclo B. No ciclo A apresentada na Figura 32 (c) observa-se apesar de não constar o dado do horário 08h, que os resultados iniciais apresentam crescimento e posterior redução. No ciclo B (Figura 32 (d)) os resultados se mostram com comportamentos praticamente iguais, exceto no horário 19h20 em que a anomalia An (C-Leste) apresenta redução de Delta T em relação a anomalia An (D-Leste).

Quando avaliados os resultados para Norte e Oeste, observam-se comportamentos semelhantes principalmente no ciclo B em que a tendência é apresentar maiores valores no horário 16h50 e posterior redução com estabilização, exceto para a anomalia An (D-Oeste) que nos últimos horários deste ciclo apresenta leve crescimento dos resultados, mas também com tendência de estabilização. Os dados de Delta T obtidos para cada anomalia do edifício E2 são apresentados na tabela 6, sendo destacados os valores máximos e mínimos (módulo). Os resultados são apresentados considerando os ciclos de análise e horários de inspeção.

Tabela 6 - Determinação do Delta T para o edifício E2

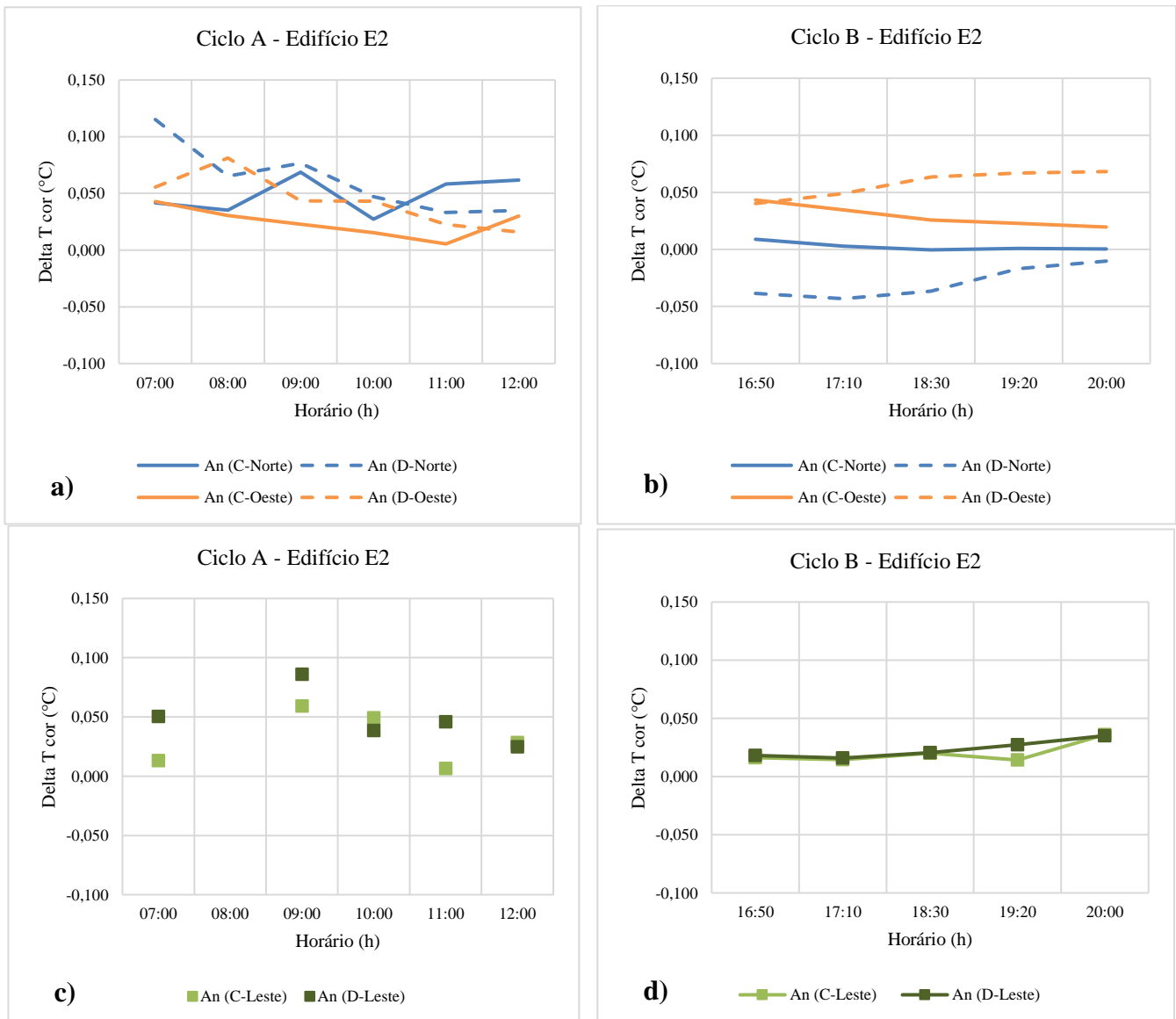
Orientação de fachada	Ciclo de avaliação	Horário (h)	Anomalia C	Anomalia D
			Delta T (°C)	Delta T (°C)
Norte	Ciclo A	07:00	0,48	1,55
		08:00	0,61	1,11
		09:00	1,42	1,63
		10:00	0,70	1,25
		11:00	1,71	1,02
		12:00	1,98	1,17
	Ciclo B	16:50	0,28	-1,23
		17:10	0,08	-1,24
		18:30	-0,01	-0,91

		19:20	0,02	-0,40
		20:00	0,01	-0,23
		07:00	0,19	0,68
		08:00	-	-
		09:00	<u>1,54</u>	<u>2,19</u>
	Ciclo A	10:00	1,40	1,13
		11:00	0,19	1,30
Leste		12:00	0,72	0,66
		16:50	0,37	0,43
		17:10	0,33	0,37
	Ciclo B	18:30	0,43	0,45
		19:20	0,29	0,57
		20:00	0,71	0,70
		07:00	0,54	0,71
		08:00	0,43	1,15
	Ciclo A	09:00	0,35	0,66
		10:00	0,26	0,72
		11:00	0,11	0,45
Oeste		12:00	0,57	0,31
		16:50	<u>1,26</u>	1,14
		17:10	0,88	1,24
	Ciclo B	18:30	0,57	<u>1,44</u>
		19:20	0,47	1,43
		20:00	0,39	1,40

4.2.2 Determinação Delta Tcor edifício E2

Os dados de Delta Tcor do edifício E2 são apresentados na Figura 33. Os resultados de Delta Tcor são apresentados para as orientações Norte, Leste e Oeste. O Delta Tcor corresponde à variação do Delta T (Figura 32) e por isso apresentam comportamento de distribuição dos dados semelhantes para todas as anomalias investigadas.

Figura 33 - Resultados do Delta T_{cor} no edifício E2 para (a) Orientação Norte e Oeste – Ciclo A e (b) Orientação Norte e Oeste – Ciclo B (c) Orientação Leste – Ciclo A e (d) Orientação Leste – Ciclo B



Os resultados de Delta T_{cor} obtidos apontam a mesma tendência de comportamento do Delta T observado na Figura 32. Observa-se que no horário 07h a anomalia An (D-Norte) parece apresentar um resultado mais distante da An (C-Norte), não observado anteriormente na avaliação do Delta T. Esse comportamento pode ser devido a T_{SAREF} desse horário ser baixa, em comparação ao dado da T_{CA} correspondente, devido ser um dos momentos iniciais da inspeção e a fachada não ter avançado no aquecimento para estabilização das temperaturas.

As anomalias das orientações Norte e Oeste apresentam resultados semelhantes, principalmente no ciclo B onde a tendência é que com o avanço dos horários de inspeção haja estabilização dos resultados. Na orientação Leste as anomalias investigadas apresentam

comportamentos similares nos dois ciclos, sendo observadas maiores variações no ciclo A e Delta Tcor máximo no horário 09h e no ciclo B os valores tendem a estabilização. Este comportamento de máximos valores no ciclo A que ocorre entre 07h a 12h é resultante da incidência de radiação direta sobre esta fachada e a estabilização no ciclo B entre 16h50 a 20h devido à ausência de incidência de radiação.

Quando avaliados os resultados em módulo, a anomalia An (D-Norte) apresenta o máximo Delta Tcor no ciclo A de investigação, na Figura 33 (a). O descolamento An (C-Oeste) apresenta os menores valores de Delta T neste ciclo, pois um dos fatores de controle que interferem diretamente nos resultados de Delta T é a radiação solar, que não incide de modo direto nessa orientação no período da manhã.

Neste edifício os resultados de Delta Tcor permitem a avaliação conjunta das anomalias. Os resultados apresentam comportamentos semelhantes ao Delta T obtido, indicando que esse contraste térmico consegue representar o comportamento das anomalias em relação à temperatura de zonas sem defeito na fachada. No edifício E2, os resultados de Delta Tcor apresentam convergência, principalmente para as anomalias das orientações Leste e Oeste. No ciclo A (Figura 33 (a)), observa-se a anomalia An (D-Norte) apresentando resultados mais dispersos, porém isto ocorre apenas no horário 07h.

Os dados de Delta T e Delta Tcor obtidos para o edifício E2 está apresentado na tabela 7, a correção do Delta T para se tornar Delta Tcor permite a avaliação das diferentes anomalias em conjunto, sendo possível avaliar os máximos e mínimos valores obtidos.

Tabela 7 - Determinação do Delta Tcor para o edifício E2

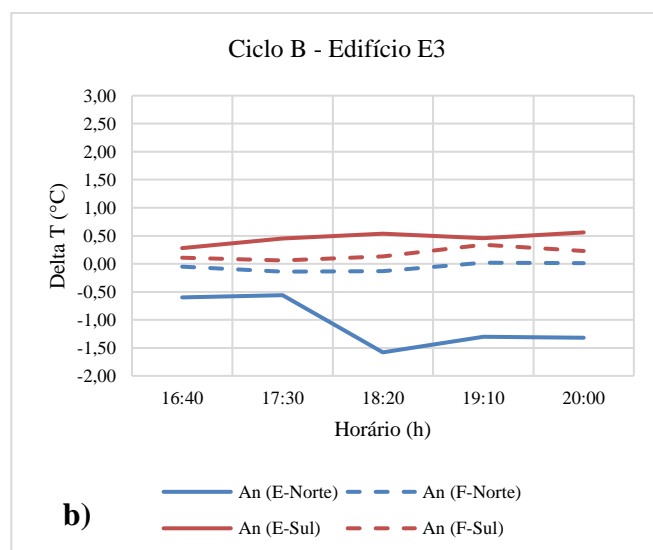
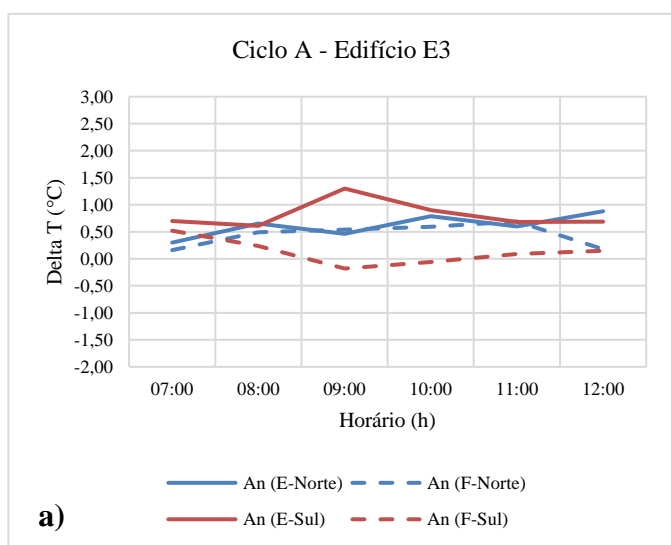
Orientação de fachada	Ciclo de avaliação	Horário (h)	Anomalia C	Anomalia D
			Delta Tcor (°C/°C)	Delta Tcor (°C/°C)
Norte	Ciclo A	07:00	0,042	0,115
		08:00	0,035	0,065
		09:00	0,069	0,077
		10:00	0,027	0,047
		11:00	0,058	0,033
	12:00	0,062	0,035	
	Ciclo B	16:50	0,009	-0,039
		17:10	0,003	-0,043
		18:30	0,000	-0,037
		19:20	0,001	-0,017
20:00		0,000	-0,010	
Leste	Ciclo A	07:00	0,013	0,051
		08:00	-	-

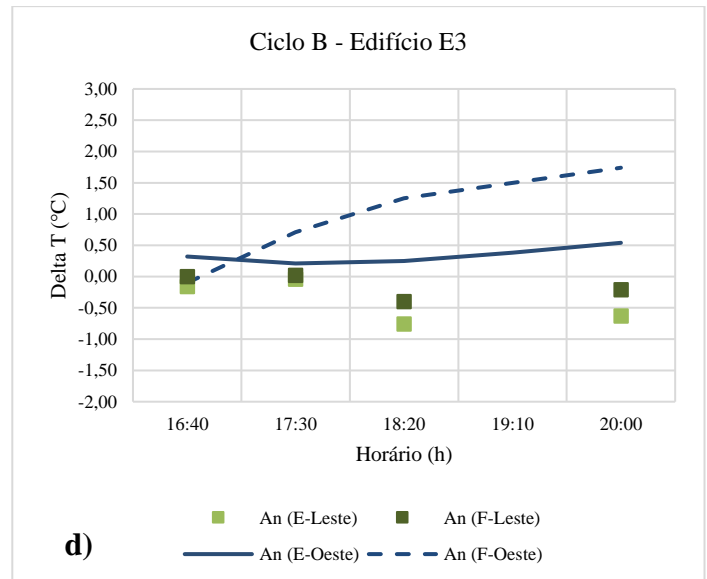
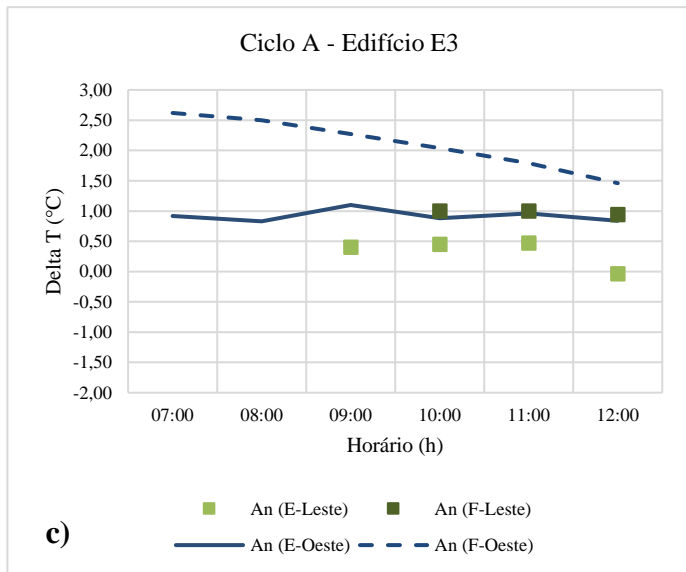
		09:00	0,059	0,086	
		10:00	0,049	0,039	
		11:00	0,007	0,046	
		12:00	0,028	0,025	
	Ciclo B	16:50	0,016	0,018	
		17:10	0,015	0,016	
		18:30	0,020	0,021	
		19:20	0,014	0,027	
		20:00	0,036	0,035	
Oeste	Ciclo A	07:00	0,043	0,055	
		08:00	0,030	0,081	
		09:00	0,023	0,043	
		10:00	0,015	0,043	
		11:00	0,005	0,023	
			12:00	0,030	0,016
			16:50	0,043	0,040
			17:10	0,035	0,049
		Ciclo B	18:30	0,026	0,064
			19:20	0,023	0,067
		20:00	0,020	0,068	

4.2.3 Determinação Delta T edifício E3

As anomalias investigadas no edifício E3 são apresentadas no Apêndice D. No edifício E3 a mensuração do Delta T é apresentada na Figura 34. A Figura 34 (a) e Figura 34 (b) apresentam as anomalias das orientações Norte e Sul, e as anomalias das orientações Leste e Oeste são apresentadas na Figura 34 (c) e Figura 34 (d).

Figura 34 – Resultados do Delta T no o edifício E3 para (a) Orientação Norte e Sul – Ciclo A e (b) Orientação Norte e Sul – Ciclo B (c) Orientação Leste e Oeste – Ciclo A e (d) Orientação Leste e Oeste – Ciclo B





Os resultados de Delta T do edifício E3 apresentam os resultados mais variáveis em comparação aos demais edifícios investigados. No ciclo A da Figura 34 (a) as anomalias da orientação Norte apresentam resultados paralelos e com comportamentos similares. As anomalias da orientação Sul apresentam maior variação, não apresentam similaridade dos comportamentos e no horário de 09h a anomalia An (E-Sul) apresenta o maior valor de Delta T neste ciclo. No ciclo B (Figura 34 (b)) as anomalias An (F-Norte), An (E-Sul) e An (F-Sul) apresentam comportamentos similares de distribuição do Delta T. Observa-se que as anomalias localizadas na orientação Sul apresentam valores positivos, enquanto a anomalia An (F-Norte) apresenta resultados negativos indicando alterações na dinâmica do fluxo de calor. A anomalia An (E-Norte) apresenta os valores máximos de Delta T no ciclo B, apresentando pico no horário 18h20 e redução dos valores após este horário.

As anomalias localizadas na orientação Oeste apresentaram comportamento particular no ciclo A (Figura 34 (c)) e ciclo B (Figura 34 (d)). A anomalia An (E-Oeste) apresenta comportamento do Delta T mais uniforme, considerando os dois ciclos de avaliação, porém a anomalia An (F-Oeste) apresenta o máximo valor de Delta T no horário 07h com tendência de redução e no ciclo B o menor valor de Delta T é observado no horário 16h50 e com tendência de crescimento após este horário. Este comportamento é atípico devido a incidência de radiação direta nesta orientação ocorrer no período vespertino, segundo a Figura 23, com isso o esperado é que no ciclo B as anomalias da orientação Oeste apresentem seus valores máximos de Delta T. Porém, ao avaliar as temperaturas de referência $T_{SA_{REF}}$ e T_{CA} no Apêndice G observa-se que as temperaturas das zonas avaliadas seguem essa dinâmica, com temperaturas inferiores no período de avaliação do ciclo A e temperaturas superiores no ciclo B. Observa-se que os

resultados de Delta T apresentam estes comportamentos devido a T_{CA} sempre apresentar valores superiores a $T_{SA_{REF}}$, para cada horário de análise. Porém, este comportamento aponta para uma particularidade da anomalia como a extensão do dano, nível de severidade e não para a dinâmica do fluxo de calor na fachada.

As anomalias da orientação Leste neste estudo apresentam lacunas nos dados de Delta T, resultantes de falhas no comportamento dos dados. A anomalia An (E-Lestee) não apresenta os resultados dos horários de inspeção 07h, 08h, 09h e 19h10, devido os comportamentos observados não representarem a realidade das temperaturas superficiais segundo a Figura 23. A anomalia An (F-Leste) também não apresenta os resultados dos horários de inspeção 07h, 08h e 19h10, devido a falha dos comportamentos observados.

Essas anomalias demonstram os desafios encontrados nas inspeções termográficas de grandes elementos em campo, uma vez que os fatores de controle podem alterar diretamente o comportamento das temperaturas superficiais e dinâmica do fluxo de calor, além das condições climáticas que podem atuar em determinado horário de inspeção e afetar a avaliação dos termogramas. Ao considerar os demais horários destas anomalias, observa-se comportamento semelhante na distribuição dos dados de Delta T em todos os horários de inspeção. A tabela 8 apresentada a seguir aponta os resultados máximos e mínimos de Delta T obtidos para cada momento de inspeção e para cada anomalia investigada no edifício E3, no ciclo A e ciclo B de análise.

Tabela 8 - Determinação do Delta T para o edifício E3

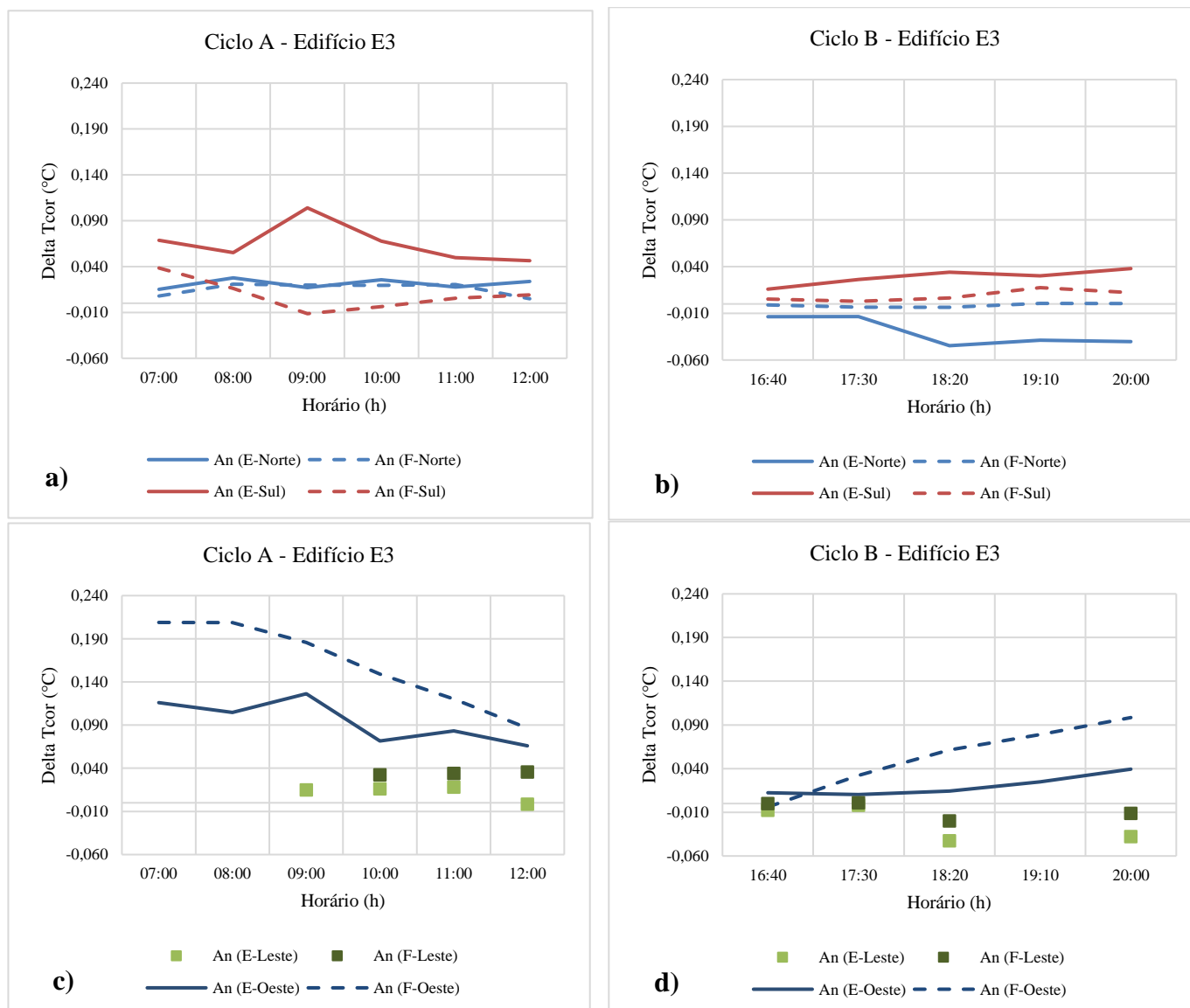
Orientação de fachada	Ciclo de avaliação	Horário (h)	Anomalia E	Anomalia F
			Delta T (°C)	Delta T (°C)
Norte	Ciclo A	07:00	0,30	0,16
		08:00	0,65	0,49
		09:00	0,46	0,54
		10:00	0,79	0,59
		11:00	0,60	0,69
	12:00	0,88	0,18	
	Ciclo B	16:40	-0,60	-0,05
		17:30	-0,56	-0,14
		18:20	-1,58	-0,13
		19:10	-1,30	0,02
20:00		-1,32	0,01	
Sul	Ciclo A	07:00	0,70	0,52
		08:00	0,61	0,24
		09:00	1,30	-0,18
		10:00	0,90	-0,06

		11:00	0,68	0,09
		12:00	0,69	0,15
		16:40	0,28	0,11
		17:30	0,45	0,06
	Ciclo B	18:20	0,54	0,13
		19:10	0,46	0,34
		20:00	0,56	0,23
		07:00	-	-
		08:00	-	-
	Ciclo A	09:00	0,40	-
		10:00	0,45	1,00
		11:00	0,47	1,00
		12:00	-0,04	0,94
		16:40	-0,16	0,00
		17:30	-0,04	0,02
	Ciclo B	18:20	-0,76	-0,40
		19:10	-	-
		20:00	-0,63	-0,21
		07:00	0,92	2,62
		08:00	0,83	2,50
	Ciclo A	09:00	1,10	2,27
		10:00	0,88	2,04
		11:00	0,96	1,79
		12:00	0,84	1,46
		16:40	0,32	-0,10
		17:30	0,21	0,71
	Ciclo B	18:20	0,25	1,25
		19:10	0,38	1,50
		20:00	0,54	1,74

4.2.4 Determinação Delta Tcor edifício E3

As anomalias investigadas no edifício E3 são apresentadas no Apêndice D. A mensuração do Delta Tcor das anomalias do edifício E3 são apresentados na Figura 35. O comportamento das temperaturas é semelhante aos dados de Delta T segundo a Figura 34 devido ao Delta Tcor ser um aprimoramento do Delta T.

Figura 35 - Resultados do Delta Tcor no o edifício E3 para (a) Orientação Norte e Sul – Ciclo A e (b) Orientação Norte e Sul – Ciclo B (c) Orientação Leste e Oeste – Ciclo A e (d) Orientação Leste e Oeste – Ciclo B



Nas anomalias investigadas nas orientações Norte e Sul observa-se a tendência de comportamento do Delta Tcor semelhante ao observado no Delta T. No ciclo A (Figura 35 (a)) tem-se a anomalia An (E-Sul) apresentando o Delta Tcor máximo no horário de 09h, as anomalias An (E-Norte) e An (F-Norte) apresentam comportamento similar e paralelo na distribuição dos dados e a anomalia An (F-Sul) com os menores valores de Delta Tcor.

No ciclo B (Figura 35 (b)) os resultados de Delta Tcor são mais convergentes, apresentando menores variações entre as anomalias investigadas. Observa-se que as anomalias An (F-Norte) e An (F-Sul) apesar de localizadas em orientações diferentes, apresentam

comportamentos paralelos dos dados Delta Tcor, e a anomalia An (E-Norte) apresenta o valor máximo com variação superior a 0,040 °C no horário 18h20.

Na Figura 35 (c) e Figura 35 (d) são apresentados os resultados das anomalias das orientações Oeste e Leste. No ciclo A, os resultados apresentaram maior distanciamento entre os pontos das anomalias da orientação Oeste e Leste, quando comparados o ciclo A do Delta T (Figura 34(c)). No ciclo B é observada a mesma tendência de distribuição e proximidade dos pontos, entre as anomalias das duas orientações quando comparadas o mesmo ciclo de Delta T (Figura 34(d)). Apesar das diferenças observadas nos dados de Delta Tcor, a distribuição dos pontos indica a mesma distribuição dos comportamentos de Delta T, apontando que a proposta deste contraste térmico é satisfatória na caracterização e avaliação das anomalias de descolamento cerâmico analisadas.

A tabela 9 apresenta os resultados de Delta Tcor das anomalias investigadas no edifício E3, para cada orientação cardinal de fachada e horário de inspeção termográfica. Nesta tabela 9 são apresentados os resultados máximos e mínimos para cada anomalia de descolamento cerâmico.

Tabela 9 - Determinação do Delta Tcor para o edifício E3

Orientação de fachada	Ciclo de avaliação	Horário (h)	Anomalia E	Anomalia F
			Delta Tcor (°C/°C)	Delta Tcor (°C/°C)
Norte	Ciclo A	07:00	0,015	0,008
		08:00	0,028	0,021
		09:00	0,017	0,020
		10:00	0,026	0,020
		11:00	0,018	0,021
		12:00	0,024	0,005
	Ciclo B	16:40	-0,014	-0,001
		17:30	-0,014	-0,003
		18:20	-0,045	-0,004
		19:10	-0,039	0,001
		20:00	-0,040	0,000
Sul	Ciclo A	07:00	0,069	0,038
		08:00	0,055	0,016
		09:00	0,104	-0,011
		10:00	0,068	-0,004
		11:00	0,050	0,006
	Ciclo B	12:00	0,046	0,009
		16:40	0,016	0,005
		17:30	0,026	0,003
		18:20	0,034	0,006

		19:10	0,030	0,017
		20:00	0,038	0,012
		07:00	-	-
		08:00	-	-
Leste	Ciclo A	09:00	0,015	-
		10:00	0,016	0,032
		11:00	0,018	0,034
		12:00	-0,002	0,036
		16:40	-0,008	0,000
	Ciclo B	17:30	-0,002	0,001
		18:20	-0,043	-0,020
		19:10	-	-
		20:00	-0,038	-0,011
		07:00	0,116	0,209
Oeste	Ciclo A	08:00	0,105	0,209
		09:00	0,126	0,186
		10:00	0,072	0,149
		11:00	0,083	0,120
		12:00	0,066	0,087
	Ciclo B	16:40	0,012	-0,004
		17:30	0,010	0,032
		18:20	0,014	0,061
		19:10	0,025	0,079
		20:00	0,039	0,098

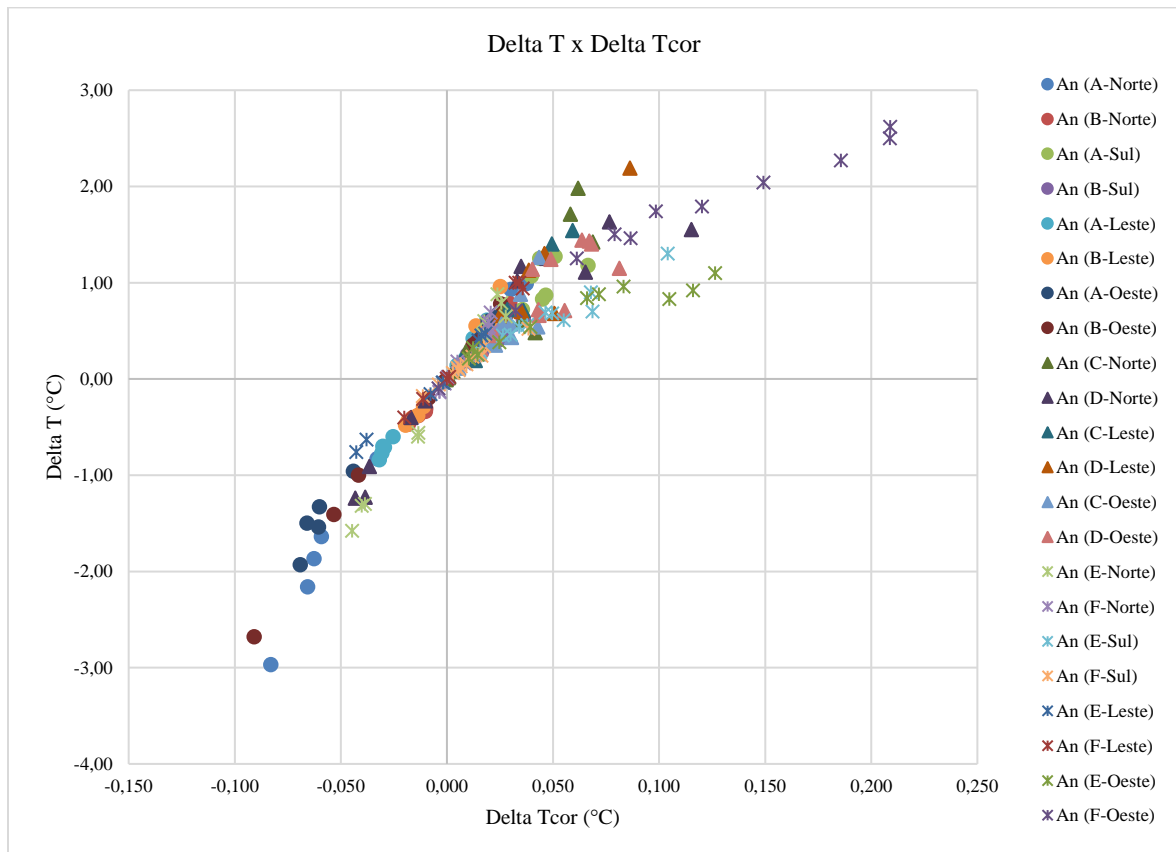
4.2.5 Determinação do indicador Delta Tcor

Os dados de Delta T e Delta Tcor ao serem associados na Figura 36 apresentam os comportamentos de cada anomalia investigada dos edifícios E1, E2 e E3. Os resultados apontam que os dados apesar de demonstrar o comportamento de diferentes anomalias, localizadas em diferentes edifícios, convergem em uma tendência de comportamento entre -0,050 °C/°C a 0,050 °C/°C. Observa-se uma dispersão dos resultados obtidos a baixo do valor de Delta Tcor -0,050 °C/°C e Delta T -1,00 °C, assim como dos resultados a cima de 0,030 °C/°C de Delta Tcor e 0,50 °C de Delta T.

O edifício E3 apresenta os resultados com maiores valores de Delta T em função do Delta Tcor, seguido do edifício E2 e E1, respectivamente. Os dados mais elevados de Delta T e Delta Tcor são observados para a anomalia An (F-Oeste) do edifício E3, enquanto os menores valores são observados para as anomalias An (A-Norte), An (A-Oeste) e An (B-Oeste) do edifício E1. A anomalia An (D-Leste) apresenta um resultado bem disperso quando comparado aos demais pontos desta anomalia, estando com Delta T próximo de -3,0 °C e Delta Tcor de aproximadamente -0,150 °C/°C.

Como as anomalias avaliadas apresentam particularidades quanto a extensão do dano e nível de severidade, é esperada uma dispersão dos resultados, uma vez que anomalias distintas geram comportamentos distintos. Por este motivo a proposta do Delta Tcor auxilia de certa forma na convergência do resultado, com o intuito de propor um valor de referência a partir do qual se consiga caracterizar a presença de descolamentos cerâmicos.

Figura 36 - Resultados de Delta T x Delta Tcor dos edifícios E1, E2 e E3



Os dados de Delta T e Delta Tcor são avaliados também segundo a capacidade de detecção, tendo como referência a temperatura $T_{SA_{REF}}$ de cada momento de inspeção. Avalia-se para cada anomalia os momentos de inspeção em que é possível a detecção destas de modo qualitativo com distribuição de temperaturas no termograma superiores em 1°C da $T_{SA_{REF}}$. Os resultados gerais desta avaliação são apresentados nos Apêndice L (Edifício E1), Apêndice M (Edifício E2) e Apêndice N (Edifício E3).

A análise da capacidade de detecção segundo este critério auxilia na determinação de um valor de referência de Delta Tcor a partir do qual é possível caracterizar a presença de anomalias de descolamento cerâmico. A princípio este valor é definido para cada anomalia localizada nas

diferentes orientações de fachada, que resulta em um valor referência por orientação e por fim para o edifício em geral. A tabela 10 apresenta os valores de referência obtidos, para cada anomalia investigada no ciclo A e ciclo B, assim como o valor adotado para cada edifício investigado nos dois ciclos.

Tabela 10 - Delta Tcor de referência na caracterização de descolamentos cerâmicos

Edifício	Anomalia	Horário (h)	Delta T (°C) (°C/°C)	Delta Tcor (°C) (°C/°C)
E1	An (A-Norte)	07:40	0,49	0,020
		18:20	-1,87	-0,063
	An (B-Norte)	10:30	0,53	0,018
		17:30	-0,31	-0,010
	An (A-Sul)	08:30	1,07	0,040
		17:30	0,72	0,036
	An (B-Sul)	07:40	0,25	0,010
		16:50	0,33	0,016
	An (A-Leste)	07:40	0,21	0,009
		20:00	-0,70	-0,030
	An (B-Leste)	10:30	0,55	0,014
		17:30	-0,29	-0,011
	An (A-Oeste)	07:40	0,36	0,014
		18:20	-1,50	-0,066
	An (B-Oeste)	07:40	0,45	0,018
		17:30	-1,41	-0,053
E2	An (C-Norte)	10:00	0,70	0,027
		16:50	0,28	0,009
	An (D-Norte)	11:00	1,02	0,033
		16:50	-1,23	-0,039
	An (C-Leste)	11:00	0,19	0,007
		16:50	0,37	0,016
	An (D-Leste)	12:00	0,66	0,025
		17:10	0,37	0,016
	An (C-Oeste)	11:00	0,11	0,005
		20:00	0,39	0,020
An (D-Oeste)	12:00	0,31	0,016	
	16:50	1,14	0,040	
E3	An (E-Norte)	07:00	0,30	0,015
		17:30	-0,56	-0,014
	An (F-Norte)	12:00	0,18	0,005
		17:30	-0,14	-0,003
	An (E-Sul)	12:00	0,69	0,056
		17:30	0,45	0,026
An (F-Sul)	10:00	-0,06	-0,004	
		16:40	0,11	0,005

An (E-Leste)	09:00	0,40	0,015
	18:20	-0,76	-0,043
An (F-Leste)	10:00	1,00	0,032
	18:20	-0,40	-0,020
An (E-Oeste)	12:00	0,84	0,066
	17:30	0,21	0,010
An (F-Oeste)	12:00	1,46	0,087
	17:30	0,71	0,032

A Tabela 10 mostra para cada edifício os valores de referência adotados para cada anomalia, a partir do qual se identifica a presença de descolamento cerâmico. A definição de um valor de referência é adotada para cada edifício, considerando os ciclos A e B de avaliação, visto que nestas as condições de incidência de radiação e fluxo térmico são distintas a depender da orientação de fachada. A tabela 10 apresenta os critérios adotados para cada edifício, sendo o critério final das amostras de edifícios investigadas o Delta T de 0,11 °C e Delta Tcor de 0,005 °C/°C no ciclo A e Delta T de -1,50 °C e Delta Tcor de -0,066 °C/°C no ciclo B. Com isso, anomalias que apresentem resultados iguais ou superiores a estes critérios indicam a presença de descolamento cerâmico no revestimento.

4.3 ETAPA 3 – MENSURAÇÃO DAS DIMENSÕES DAS ANOMALIAS E PROPOSTA DE ROTINA DE ANÁLISE QUANTITATIVA

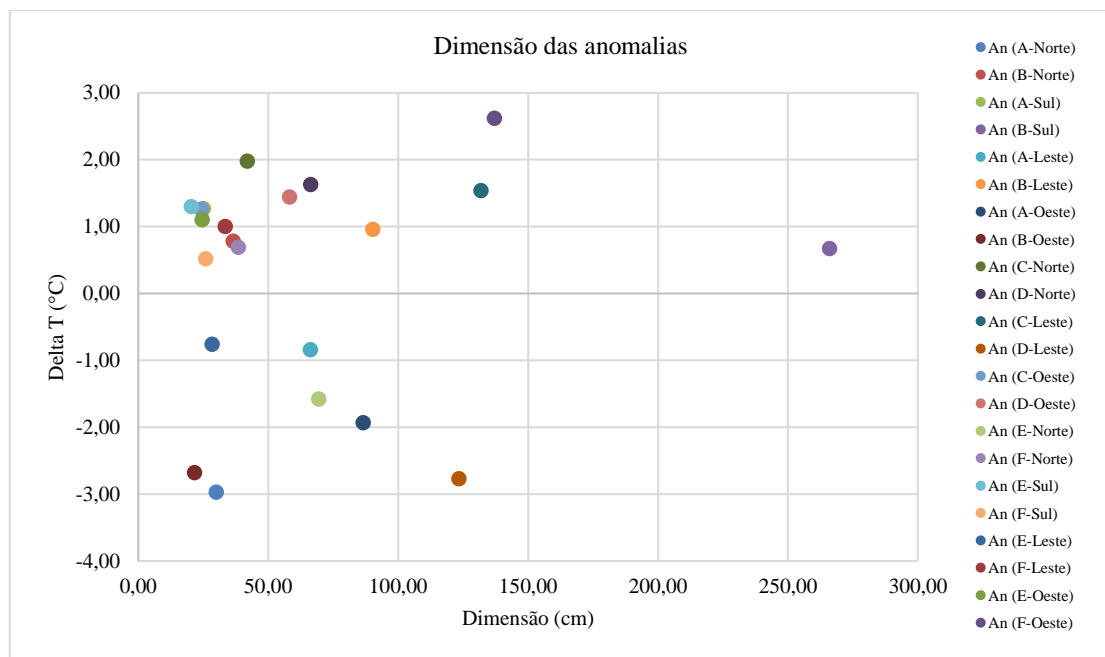
Na terceira etapa tem-se a determinação da dimensão horizontal das anomalias segundo a equação (9) apresentada no item 2.3.8. A apresentação dos termogramas, obtenção do perfil de temperatura sobre a zona com anomalia e tratamento das temperaturas para determinação da dimensão do defeito são apresentados para o edifício E1 no Apêndice I, edifício E2 correspondente ao Apêndice J e por fim edifício E3 no Apêndice K.

A mensuração da dimensão da anomalia pode ocorrer em todos os momentos de realização da inspeção termográfica, porém os resultados não são idênticos, sendo necessária a determinação de um critério geral para definição do melhor momento de mensuração e que apresente menor interferência de fatores externos. Neste estudo adota-se o momento de máximo Delta T em módulo como referência de horário de inspeção para determinação da dimensão da anomalia.

A tabela 12 apresenta os resultados obtidos para dimensão horizontal das anomalias investigadas em cada edifício, e a Figura 37 apresenta a relação entre os dados de Delta T e a dimensão horizontal das anomalias. Observa-se que não há uma relação direta quanto a maiores valores de Delta T em módulo corresponderem a maiores ou menores dimensões de anomalia,

isso devido cada anomalia apresentar suas características particulares. As anomalias que apresentaram maior e menor dimensão horizontal, respectivamente, correspondem à orientação de fachada Sul, sendo a maior dimensão da anomalia An (B-Sul) do edifício E1 e a menor An (E-Sul) do edifício E3. Observa-se na Figura 37 que a anomalia An (F-Oeste) apresenta o máximo Delta T e máxima dimensão. Os resultados observados são dispersos e não apresentam um comportamento convergente para todas as anomalias. Observa-se que oito anomalias que apresentam Delta T entre 0 a 2 °C e dimensão até 50 cm estão agrupadas na mesma região, sendo o único comportamento geral a ser identificado na Figura 37.

Figura 37 - Resultados de Delta T x Dimensão horizontal das anomalias dos edifícios E1, E2 e E3



O máximo Delta T obtido em módulo (Tabela 12) é observado na fachada Norte do edifício E1, na anomalia An (A-Norte) com valor de 2,97 °C e dimensão de 30 cm. No edifício E1 a maior dimensão de anomalia é atribuída a An (B-Sul), no edifício E2 os maiores valores são para orientação Leste, com An (C-Leste) e An (D-Leste) respectivamente. No edifício E3 a maior dimensão corresponde a anomalia An (F-Oeste) da orientação Oeste.

Tabela 11 - Determinação da dimensão horizontal das anomalias investigadas

Edifício	Anomalia	Horário (h)	Delta T máximo (°C)	Dimensão (cm)
E1	An (A-Norte)	16:50	-2,97	30,00
	An (B-Norte)	09:30	0,78	36,50
	An (A-Sul)	07:40	1,27	25,00
	An (B-Sul)	09:30	0,67	266,00
	An (A-Leste)	16:50	-0,84	66,12
	An (B-Leste)	09:30	0,96	90,17
	An (A-Oeste)	16:50	-1,93	86,50
	An (B-Oeste)	16:50	-2,68	21,62
E2	An (C-Norte)	12:00	1,98	41,90
	An (D-Norte)	09:00	1,63	66,30
	An (C-Leste)	09:00	1,54	131,78
	An (D-Leste)	08:00	-2,77	123,38
	An (C-Oeste)	16:50	1,26	24,21
	An (D-Oeste)	18:30	1,44	58,10
E3	An (E-Norte)	18:20	-1,58	69,40
	An (F-Norte)	11:00	0,69	38,46
	An (E-Sul)	09:00	1,30	20,40
	An (F-Sul)	07:00	0,52	25,83
	An (E-Leste)	18:20	-0,76	28,29
	An (F-Leste)	11:00	1,00	33,36
	An (E-Oeste)	09:00	1,10	24,47
	An (F-Oeste)	07:00	2,62	137,00

4.3.1 Proposição de rotina de análise quantitativa

A proposta abordagem quantitativa final elenca a sequência de uma análise a partir das etapas mencionadas a serem empregadas na avaliação de anomalias de descolamentos cerâmicos e como referência na obtenção e avaliação dos termogramas:

a) A avaliação quantitativa é realizada no software FLIR Tools[®], onde são mensuradas as temperaturas a cada pixel da imagem do termograma. No momento de análise são inseridas as informações quanto à emissividade, temperatura refletida, temperatura ambiente, umidade e distância. Dentre as ferramentas que auxiliam na visualização das anomalias estão a amplitude da faixa de temperaturas e isopletras, que podem ser ajustadas permitindo melhor análise das temperaturas do termograma, e as ferramentas área e linha para delimitação de zonas no termograma e obtenção das temperaturas que são extraídas para análise no Excel.

b) Análise do fluxo de calor das fachadas e incidência de radiação solar sobre o edifício, podendo ser empregada a carta solar, dados de insolação ou simulação higrótérmica.

c) Avaliação qualitativa dos termogramas para identificação de pontos mais frios ou quentes que caracterizem anomalias. Em seguida, quantificam-se as temperaturas superficiais,

de modo a avaliar se os comportamentos de temperatura caracterizam a presença de anomalias. A análise quantitativa considera a distribuição de temperaturas por pixels de zonas sobre a anomalia no termograma. A partir desta zona, se determina a temperatura mediana da anomalia, adotada como T_{CA} .

d) Análise da distribuição de temperaturas das regiões sem anomalia para determinação da TSA_{REF} e obtenção do comportamento padrão quando não há presença de anomalias. Nesta etapa, avalia-se a temperatura dos pixels de uma área delimitada sobre a zona sem presença de anomalia (sendo esta zona localizada a menos de 0,5 m da zona da anomalia). Os dados de temperatura são analisados, considerando o intervalo interquartil para reduzir a interferência de outliers, e determina-se a TSA_{REF} (conforme descrito no item 2.5), sendo a temperatura mediana da zona sem presença de anomalia.

e) Emprego da TSA_{REF} na determinação do Delta T (Equação 11) e Delta Tcor (Equação 12), uma vez que permite a avaliação com referência ao comportamento padrão de temperaturas e a perturbação gerada pelo defeito no ciclo de aquecimento e arrefecimento.

f) Determinação dos critérios quantitativos Delta T e Delta Tcor, a partir do qual é possível caracterizar a presença de anomalias do tipo descolamento cerâmico. Neste estudo, o critério de análise obtido é o Delta-Tcor de referência a partir do Delta T de 0,11 °C e Delta Tcor de 0,005 °C/°C no ciclo A e Delta T de -1,50 °C e Delta Tcor de -0,066 °C/°C no ciclo B.

4.4 SÍNTESE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Nesta seção, apresenta-se a síntese dos resultados obtidos a partir da análise quantitativa dos termogramas. Este estudo desenvolve critérios de análise que auxiliam na detecção e avaliação de anomalias de descolamentos cerâmicos de fachadas de edifícios. A tabela 13 apresenta os resultados obtidos para cada anomalia quanto ao Delta T, Delta Tcor e dimensão.

Tabela 12 - Dados gerais obtidos para cada anomalia

Edifício	Anomalia	Horário (h)	Delta T máximo (°C)	Delta Tcor (°C)	Dimensão (cm)
E1	An (A-Norte)	16:50	-2,97	-0,083	30,00
	An (B-Norte)	09:30	0,78	0,030	36,50
	An (A-Sul)	07:40	1,27	0,051	25,00
	An (B-Sul)	09:30	0,67	0,025	266,00
	An (A-Leste)	16:50	-0,84	-0,032	66,12
	An (B-Leste)	09:30	0,96	0,025	90,17
	An (A-Oeste)	16:50	-1,93	-0,069	86,5
	An (B-Oeste)	16:50	-2,68	-0,091	21,62

E2	An (C-Norte)	12:00	1,98	0,062	41,90
	An (D-Norte)	09:00	1,63	0,077	66,30
	An (C-Leste)	09:00	1,54	0,059	131,78
	An (D-Leste)	08:00	-2,77	-0,152	123,38
	An (C-Oeste)	16:50	1,26	0,043	24,21
	An (D-Oeste)	18:30	1,44	0,064	58,10
E3	An (E-Norte)	18:20	-1,58	-0,045	69,40
	An (F-Norte)	11:00	0,69	0,021	38,46
	An (E-Sul)	09:00	1,30	0,104	20,40
	An (F-Sul)	07:00	0,52	0,038	25,83
	An (E-Leste)	18:20	-0,76	-0,043	28,29
	An (F-Leste)	11:00	1,00	0,034	33,36
	An (E-Oeste)	09:00	1,10	0,126	24,47
	An (F-Oeste)	07:00	2,62	0,209	137,00

As inspeções termográficas realizadas consideraram a princípio a simulação higrotérmica para determinação dos melhores momentos de inspeção. Pavón (2017) desenvolve em sua pesquisa em laboratório, gradientes de temperatura de referência, para caracterizar os momentos com maior tendência a contrastes mais elevados nos termogramas e consequentemente melhor caracterização das anomalias de descolamento. Os critérios elaborados por Pavón (2017) foram aplicados em inspeções termográficas em campo realizadas por Aidar (2019) e auxiliaram na determinação dos momentos de realização das inspeções dos edifícios avaliados nesta pesquisa.

Os resultados de fluxo de calor foram avaliados em conjunto com os dados de Delta T e Delta T_{cor} obtidos, não sendo observada relação direta dos resultados. Com isso, a avaliação preliminar do fluxo de calor é indicada no momento prévio de definição dos horários de inspeção, mas sua análise na determinação dos critérios quantitativos da rotina de análise não se mostra tão efetivo (AIDAR, 2019). Estudos comprovam que a radiação solar provoca o fluxo de calor sobre o objeto alvo, porém é necessária uma incidência mínima diária para garantir que o contraste térmico necessário para avaliação das anomalias de descolamento seja gerado (WASHER, et. al., 2010; RAJA, et. al., 2020).

O contraste térmico Delta T_{cor} proposto neste estudo mostra-se efetivo como função de contraste a ser aplicado na investigação de anomalias de descolamentos devido ser um aperfeiçoamento do contraste absoluto (MALDAGUE, 2001; AIDAR, 2019). A correção do Delta T pela temperatura de referência de zonas sem anomalia (TSA_{REF}) propõe um indicador mais próximo da realidade de temperaturas da anomalia investigada, principalmente por apresentar como balizador uma zona sem presença de anomalias e com fluxo térmico semelhante ao restante da fachada (AIDAR, 2019). Diante dos resultados de Delta T e Delta

Tcor obtidos para os três edifícios investigados, determina-se como indicador para caracterização de descolamento cerâmico resultados a partir do Delta T de 0,11 °C e Delta Tcor de 0,005 °C/°C no ciclo A e Delta T de -1,50 °C e Delta Tcor de -0,066 °C/°C no ciclo.

A determinação da dimensão horizontal das anomalias está associada ao momento de máximo Delta T nas etapas de avaliação, conforme o item 4.3 da sessão de resultados. As anomalias investigadas em cada edifício apresentam suas particularidades devido as diferentes condições de fluxo térmico, nível de severidade da degradação, extensão da anomalia e entre outros fatores. Com isso, anomalias localizadas em um mesmo edifício apresentam características e comportamento de temperaturas superficiais na zona de anomalia distintos.

A avaliação da extensão da anomalia varia em função do Delta T, uma vez que os valores máximos de Delta T apresentam maior contraste, e com isso, dados de temperatura mais precisos e visibilidade do defeito a partir do perfil de temperatura da anomalia obtido (MALDAGUE, 2001; PAVON, 2017). A aplicação do método da máxima e do mínimo de inclinação se relaciona com a alteração do comportamento das temperaturas sobre uma superfície com presença de anomalia (MAC et. al., 2014; PAVON, 2017; HUH et. al., 2018). Os resultados obtidos não apresentaram relação direta da dimensão da anomalia com o Delta T, porém foram determinados no momento de máximo Delta T que é indicado como de maior precisão para esta determinação (BAUER et. al., 2016; BAUER, PAVON, 2016).

A avaliação conjunta do Delta T, Delta T cor e dimensão para cada anomalia investigada permite identificar qual a anomalia mais crítica e com maior grau de severidade, considerando a extensão do dano associada a dimensão. A tabela 13 permite observar para cada edifício as anomalias investigadas e os momentos de inspeção com Delta T máximo. Na avaliação conjunta das anomalias, considera-se o momento com máximo Delta T devido este apontar o momento com valores de temperatura superficial mais precisa.

No edifício E2 e E3 a anomalia mais crítica está associada ao momento de máximo Delta T, Delta Tcor e máxima dimensão. A anomalia An (D-Leste) é apontada como a mais crítica para o edifício E2 e a anomalia An (F-Oeste) para o edifício E3. No edifício E1 não ocorre esta convergência nos resultados e observa-se que o momento com máximo Delta T e Delta Tcor para a anomalia An (A-Norte) não apresenta a máxima dimensão de anomalia investigada. A anomalia com maior dimensão associada para o edifício E1 corresponde a An (B-Sul) com 266,00 cm, sendo a anomalia com maior dimensão investigada nos três edifícios.

5 CONCLUSÕES

A aplicação da termografia na inspeção de edifícios tem ocorrido de forma ampla devido à agilidade e precisão que confere as avaliações. A investigação termográfica de fachadas para avaliação de descolamentos cerâmicos é uma ferramenta que permite a obtenção de dados em tempo real e sem contato, garantindo um diagnóstico e avaliação precisos.

A determinação de uma rotina de análise quantitativa dos termogramas, que possa ser empregada por utilizadores da técnica em diferentes edifícios, facilita a detecção e avaliação de descolamentos cerâmicos. A definição dos critérios propostos neste estudo garante uma avaliação global das anomalias, independente da orientação e edifício em que estão localizadas. Os resultados obtidos para as anomalias de descolamento cerâmico investigadas e a metodologia proposta mostram-se adequados e podem ser aplicados a diferentes edifícios e condições de fluxo de calor.

Os critérios quantitativos obtidos por meio da avaliação das zonas sem presença de anomalia e zonas com anomalia permitem a avaliação do comportamento de temperaturas sobre a superfície da anomalia e auxiliam no diagnóstico dos descolamentos cerâmicos. A avaliação dos descolamentos cerâmicos, tendo como referência as zonas sem presença de anomalia, por meio da TSA_{REF} , mostra-se efetiva quanto aos resultados de Delta T e Delta Tcor obtidos, apontando que a metodologia de determinação da TSA_{REF} segundo a temperatura mediana da zona sem anomalia pode ser empregada de modo a determinar contrastes térmicos que caracterizem descolamentos cerâmicos.

O Delta Tcor é proposto como indicador para avaliação das anomalias, pois apresenta resultados mais convergentes que o Delta T e, também, permite uma avaliação mais precisa das anomalias. Nas anomalias investigadas no edifício E1, observa-se a maior convergência dos resultados de Delta Tcor em comparação ao Delta T. Nos edifícios E2 e E3 a convergência é observada para algumas anomalias específicas, porém o comportamento dos dados em relação ao Delta T apresenta similaridade, evidenciando que esse parâmetro pode ser aplicado como contraste térmico. Observa-se que a tendência de convergência dos dados é maior no ciclo A de avaliação, com referência aos horários entre 07h às 12h de realização da inspeção. No ciclo B, apesar dos valores apresentarem maior dispersão, os comportamentos são semelhantes ao Delta T obtido neste mesmo ciclo.

Os resultados de Delta T e Delta Tcor apontam para uma relação entre estes contrastes, onde, para anomalias diferentes e submetidas a condições de fluxo diferentes, mostram que é possível empregar o Delta Tcor como ferramenta de análise quantitativa. Isto ocorre, pois, este indicador associa diferentes valores de TSA_{REF} , em condições distintas de fluxo de calor.

A avaliação da dimensão no momento de máximos valores de Delta T para cada anomalia não apresentou convergência e relação direta. A avaliação conjunta dos dados de Delta T, Delta Tcor e dimensão garantem uma avaliação geral das anomalias investigadas, independentes dos edifícios em que estão localizadas e possibilitam uma avaliação quanto ao grau de severidade. Anomalias com maior Delta T e Delta Tcor que correspondem a maiores dimensões, tendem a apresentar maior severidade de degradação.

O emprego do gradiente, para avaliação em campo e em elementos de grande extensão, tais como fachadas, não se mostra tão efetivo quando comparado aos estudos realizados em laboratório. Não foi observada uma relação direta entre maiores valores de gradiente e maiores resultados de Delta T e Delta Tcor. A simulação higrotérmica pode ser empregada para realização de estudo preliminar quanto aos gradientes superficiais, para melhor compreensão da dinâmica do fluxo térmico na fachada e determinação dos melhores momentos para realização da inspeção termográfica em campo.

Este estudo propõe uma rotina de análise quantitativa a partir da avaliação das zonas sem presença e com presença de anomalia para definição de critérios quantitativos TSA_{REF} e T_{CA} que permitam a mensuração dos contrastes térmicos Delta T e Delta Tcor. Os valores de indicador Delta Tcor obtidos apresentam convergência para as anomalias de descolamento cerâmico dos edifícios investigados. Ao aplicar esta técnica em edifícios de diferentes localidades que não sejam Brasília-DF e expostos a diferentes condições de fluxo térmico, deve-se observar a aplicabilidade dos critérios e valor do indicador propostos neste estudo. Caso sejam observadas divergências, deve-se realizar os ajustes necessários de modo que permita a avaliação das anomalias de descolamento cerâmico.

5.1 SUGESTÕES PARA DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Os resultados obtidos no desenvolvimento desta dissertação podem ser ampliados e desenvolvidos de modo a permitir o avanço de conhecimento na área de inspeção termográfica de fachadas. Deste modo são propostas as seguintes avaliações para desenvolvimento de trabalhos futuros:

- Aplicar a rotina de análise quantitativa proposta em edifícios de outras localidades;
- Avaliar o Delta T_{cor} proposto como referência neste estudo na avaliação de outros edifícios de Brasília-DF para aumentar a base de dados;
- Avaliar a aplicação da rotina de análise quantitativa proposta para diferentes anomalias;
- Aplicar o indicador proposto para detecção de descolamentos cerâmicos em outros edifícios da base DMM e avaliar sua aplicabilidade quanto a identificação e avaliação destas anomalias.

6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15220-2 Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações, 2005.

_____. ABNT NBR 15575-1 Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2021.

_____. ABNT. NBR 15220-3 Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2015.

_____. ABNT NBR 16969. Ensaios não destrutivos – Termografia infravermelha – Princípios gerais. Rio de Janeiro, 2021.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E1862-14, Standard Practice for Measuring and Compensating for Reflected Temperature Using Infrared Imaging Radiometers, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org, 2014.

_____. ASTM E1933-14, Standard Practice for Measuring and Compensating for Emissivity Using Infrared Imaging Radiometers, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org, 2014.

AIDAR, L.; MILHOMEM, P.; BAUER, E. Análise das possíveis variações nos termogramas provocadas por alterações no ângulo de obtenção de imagens. Congresso Brasileiro de Patologia das Construções – CBPAT. Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Abril, 2018.

AIDAR, L. A. G. Metodologia de inspeção e análise de termogramas para estudo de fachadas em revestimento cerâmico. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação 07A/19, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 209p. 2019.

ANTUNES, G. R. (2010) Estudo de manifestações patológicas em revestimento de fachada em Brasília: sistematização da incidência de casos. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília. Brasília, Brasil. 166 p.

BAGAVATHIAPPAN, S.; LAHIRI, B. B.; SARAVANAN, T.; PHILIP, J.; 202 JAYAKUMAR, T. Infrared thermography for condition monitoring – A review. *Infrared Physics & Technology*, v. 60, p. 35–55, set. 2013.

BARREIRA, E.; DE FREITAS, V. P. Evaluation of building materials using infrared thermography. *Construction and Building Materials*, v. 21, n. 1, p. 218–224, 2007.

BARREIRA, E.; ALMEIDA, R. M. S. F.; FREITAS, V. P. DE; SOARES, T. Sensitivity analysis of quantitative infrared thermography (V. P. de Freitas, Ed.)1st Internacional Symposium on Building pathology. Anais...Porto, Protugal: 2015.

BARREIRA, E.; ALMEIDA, R. M. S. F.; DELGADO, J. M. P. Q. Infrared thermography for assessing moisture related phenomena in building components. *Construction and Building Materials*, v. 110, p. 251–269, maio 2016.

BARREIRA, E.; ALMEIDA, R. M. S. F.; MOREIRA, M. An infrared thermography passive approach to assess the effect ofleakage points in buildings. *Journal Energy and Buildings*. February, 2017.

BARREIRA, E.; ALMEIDA, R. M. *Infrared Thermography for Building Moisture Inspection*; Springer: Cham, Switzerland, 2019.

BAUER, E. CASTRO, E. K.; ANTUNES, G. RE.; LEAL, F. E. Identification and quantification of failure modes of new buildings façades in Brasília. XII DBMC - International Conference on Durability of Building Materials and Components. Anais...Porto - Portugal: 2011.

BAUER, E.; CASTRO, E. K.; HILDENBERG, A.; PAVON, E. Critérios para a aplicação da termografia de infravermelho passiva como tecnica auxiliar ao diagnóstico de patologias em fachadas de edifícios. *Revista Politecnica (Bahia)*, v. 21, p. 266–277, 2014.

BAUER, E.; PAVÓN, E. Termografia de infravermelho na identificação e avaliação de manifestações patológicas em edifícios. *Concreto e Construções: Requisitos de projeto, normalização e execução para estruturas com longa vida útil*, p. 93–98, 2015.

BAUER, E.; PAVON, E.; HILDENBERG, A. Erros na utilização de parâmetros termográficos da argamassa e da cerâmica na detecção de anomalias em revestimentos (SBTA, Ed.)XI Simpósio Brasileiro de tecnologia das Argamassas. Anais...Porto Alegre: SBTA, 2015b.

BAUER, E.; PAVÓN, E. Criteria for Identification of Ceramic Detachments in Building Facades with Infrared Thermography. *Developments in Building Diagnosis Techniques*, vol. 5, pp. 51–68, 2016b

BAUER E., PAVÓN E., PEREIRA CHF, NASCIMENTO, MLM (2016). Critérios para Identificação de Destacamentos Cerâmicos em Fachadas de Edifícios com Termografia por Infravermelho. In: Delgado J. (eds) *Recent Developments in Building Diagnosis Techniques. Building Pathology and Rehabilitation*, vol 5. Springer, Cingapura. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-981-10-0466-7_4. Acesso em: 4 jul. 2022.

BAUER, E. MILHOMEM, M and L. AIDAR, “Evaluating the damage degree of cracking in facades using infrared thermography,” *J. Civ. Struct. Heal. Monit.*, vol. 8, no. 3, pp. 517–528, 2018.

BELISÁRIO, W. S. J. Desempenho, durabilidade, degradação e vida útil: aspectos técnicos no desenvolvimento do plano de manutenção de fachadas. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM-022A/16, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 101P.

BRITISH STANDARD INSTITUTION. BS ISO 15686-2: Buildings and constructed assets — Service life planning. Part 2: Service life prediction procedures. London, 2012.

CERDEIRA, F.; VÁZQUEZ, M. E.; COLLAZO, J.; GRANADA, E. Applicability of infrared thermography to the study of the behaviour of stone panels as building envelopes. *Journal Energy and Buildings*. 2011.

ÇENGEL, Y.; GHAJAR, A. *Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications*. 4th. ed. New York: The McGraw-Hill Companies, 2011.

CONSOLI, O. J. Análise da durabilidade dos componentes das fachadas de edifícios, sob a ótica do projeto arquitetônico. 2006. 208 f. Dissertação (Mestrado em Desempenho em Sistemas Construtivos) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

COSTA, M. S. (2014). Identificação de danos em fachadas de edificações por meio de imagens panorâmicas geradas por plataforma robótica fotográfica. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília. Brasília, Brasil. 184 p.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. DIN EN 15026 Hygrothermal performance of building components and building elements – Assessment of moisture transfer by numerical simulation. CEN, Brussels, Belgium, 2007.

DORNELLES, K. A.; RORIZ, M. Influência das tintas imobiliárias sobre o desempenho térmico e energético de edificações. X Congresso Internacional de Tintas. Anais...São Paulo. 2007.

EDIS, E.; FLORES-COLEN, I.; BRITO, J. DE. Passive thermographic detection of moisture problems in façades with adhered ceramic cladding. *Construction and Building Materials*, v. 51, n. 0, p. 187–197, 31 jan. 2014.

EDIS, E.; FLORES-COLEN, I.; BRITO, J. DE. Building Thermography: Detection of Delamination of Adhered Ceramic Claddings Using the Passive Approach. *Journal of Nondestructive Evaluation*, v. 34, 2015.

FREITAS, J. G. DE; CARASEK, H.; CASCUDO, O. Utilização de termografia infravermelha para avaliação de fissuras em fachadas com revestimento de argamassa e pintura. *Ambiente Construído*, v. 14, n. 1, p. 57–73, 2014.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. *Manual de conforto térmico: arquitetura, urbanismo*. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001. Bibliografia. ISBN 85-85445-39-4.

GARRIDO, I.; LAGÜELA, S.; ARIAS, P. Infrared Thermography's Application to Infrastructure Inspections. *Infrastructures* 2018, 3, 35.

GARRIDO, I.; LAGUELA, S.; SFARRA, S.; SOLLA, M. Algorithms for the automatic detection and characterization of pathologies in heritage elements from thermographic images. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLII-2/W15, 2019 27th CIPA International Symposium “Documenting the past for a better future”, 1–5 September, Ávila, Spain, 2019.

GARRIDO, I.; SOLLA, M.; LAGUELA, S.; FERNÁNDEZ, N. IRT and GPR Techniques for Moisture Detection and Characterisation in Buildings. *Journal Sensors*. November, 2020.

GARRIDO, I.; LAGUELA, S.; SFARRA, S.; ARIAS, P. Development of Thermal Principles for the Automation of the Thermographic Monitoring of Cultural Heritage. *Journal Sensors*. 2020.

GIL-VALVERDE, R.; TAMAYO-ALONSO, D.; ROYUELA-DEL-VAL, A.; POZA-CASADO, I.; MEISS, A.; PADILLA-MARCOS, M. A. Three-dimensional characterization of air infiltration using infrared thermography. *Journal Energy and Buildings*. 2021.

HENRIQUE, E. S. (2017) Sensibilidade à degradação das fachadas: estudo dos aspectos construtivos. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília. Brasília, Brasil. 102 p.

HIASA, S.; BIRGUL, R.; MATSUMOTO, M.; NECATI CATBAS, F. Experimental and Numerical Studies for Suitable Infrared Thermography Implementation on Concrete Bridge Decks. *Measurement* 2018, 121, 144–159.

HUH, J.; MAC, V. H.; TRAN, Q. H.; LEE, K. Y.; LEE, J. I.; KANG, C. Detectability of Delamination in Concrete Structure Using Active Infrared Thermography in Terms of Signal-to-Noise Ratio. *Journal Applied Sciences*. October, 2018.

IBARRA-CASTANEDO, C.; SFARRA, S.; KLEIN, M.; MALDAGUE, X. Solar loading thermography: Time-lapsed thermographic survey and advanced thermographic signal processing for the inspection of civil engineering and cultural heritage structures. *Infrared Physics and Technology*, v. 82, p. 56–74, maio 2017.

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P.; BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S. Fundamentos de transferência de calor e massa. 6.ed. LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. Rio de Janeiro, 2008.

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P.; BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S. Fundamentos de transferência de calor e massa. 7.ed. LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. Rio de Janeiro, 2014.

ITC. Termografia Nivel 1. Manual do curso. Infrared T ed. Sao Paulo: 2008.

JOPPOLO, C. M., CURTO, D. D., LUCIANI, A., VALISI, L. P., BELLEBONO, M. Keeping it modern, making it sustainable. Monitoring and energy retrofitting the Urbino University Colleges. Climamed 2017 – Mediterranean Conference of HVAC; Historical buildings retrofit in the Mediterranean area, 12-13 May, Matera, Italy, 2017.

KAYMAZ, E. (2019) Monitoring Thermal Bridges by Infrared Thermography. In: Alalouch C., Abdalla H., Bozonnet E., Elvin G., Carracedo O. (eds) *Advanced Studies in Energy Efficiency and Built Environment for Developing Countries. Advances in Science, Technology & Innovation (IEREK Interdisciplinary Series for Sustainable Development)*. Springer, Cham. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-030-10856-4_11. Acesso em: 3 jun. 2022.

KEE, S.-H.; OH, T.; POPOVICS, J.S.; ARNDT, R.W.; ZHU, J. Nondestructive Bridge Deck Testing with Air-Coupled Impact-Echo and Infrared Thermography. *J. Bridge Eng.* 2012, 17, 928–939.

KIRIMTAT, A.; KREJCAR, O. A review of infrared thermography for the investigation of building envelopes: Advances and prospects. *Energy & Buildings* 176 (2018) 390–406.

KOMINSKY, J. R.; LUCKINO, J. S.; STREET, N. H.; MARTIN, T. F. Passive Infrared Thermography — A Qualitative Method for Detecting Moisture Anomalies in Building Envelopes. *Tedford & Pond*, p. 1–11, 2007.

KYLILI, A.; FOKAIDES, PA; CHRISTOU, P.; KALOGIROU, S. A Infrared Thermography (IRT) Applications for Building Diagnostics: A review. *App. Energy* 2014, 134, 531–549.

LAI, W. W.-L.; LEE, K.-K.; POON, C.-S. Validation of size estimation of debonds in external wall's composite finishes via passive Infrared thermography and a gradient algorithm. *Construction and Building Materials*, v. 87, p. 113–124, jul. 2015.

LERMA, J. L.; CABRELLES, M.; PORTALÉS, C. Multitemporal thermal analysis to detect moisture on a building façade. *Journal Construction and Building Materials*. December, 2010.

LUCCHI, E. Applications of the infrared thermography in the energy audit of buildings: A review. *Journal Renewable and Sustainable Energy Reviews*. November, 2018.

LUCENAS, R.; BAUER, E.; PAVÓN, E. Diferenças nos padrões de identificação termográfica de vários materiais e defeitos. XVII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação das Construções. CINPAR, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.4322/CINPAR.2021.014>. Acesso em: 8 mar. 2022.

MAC, V. H.; TRAN, Q. H.; HUH, J.; DOAN, N. S.; KANG, C.; HAN, D. Detection of Delamination with Various Width-to-depth Ratios in Concrete Bridge Deck Using Passive IRT: Limits and Applicability. *Materials*. December, 2019.

MADRUGA, F. J.; IBARRA-CASTANEDO, C.; CONDE, O. M.; LÓPEZ-HIGUERA, J. M.; MALDAGUE, X. Infrared thermography processing based on higher-order statistics. *NDT & E International*, v. 43, n. 8, p. 661–666, nov. 2010.

MALDAGUE, X. *Nondestructive Evaluation of Materials by Infrared Thermography*. [s.l.] Springer-Verlag London Limited 1993, 1993.

MALDAGUE, X. *Theory and Practice of Infrared Technology for Nondestructive Testing* 1st Edition. SciTech Book News, 2001.

MARTÍNEZ, I.; CASTILLO, A.; MARTÍNEZ, E.; CASTELLOTE, M. Physico-chemical material characterization of historic unreinforced masonry buildings: The first step for a suitable intervention. *Journal Construction and Building Materials*. 2013.

MAZZEO, D.; MATERA, N.; LUCA, P. D.; BAGLIVO, C.; CONGEDO P. M.; OLIVETI, G. Worldwide geographical mapping and optimization of stand-alone and grid-connected hybrid renewable system techno-economic performance across Köppen-Geiger climates, *Applied Energy*, Volume 276, 2020, 115507 ISSN 0306-2619. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115507>. Acesso em: 3 jun. 2022.

MILHOMEM, M.; AIDAR, L.; BAUER, E. Estudo da evolução da temperatura nas regiões das fachadas com termografia. 6ª Conferência sobre patologia e reabilitação de edifícios, Rio de Janeiro, 2018.

MILHOMEM, M. P. (2019). Critérios para identificação e avaliação do grau de dano de fissuras em fachadas de edifícios com aplicação da termografia de infravermelho. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação 08A/19, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 115p.

NASCIMENTO, M. L. M. (2016). Aplicação da Simulação Higrotérmica na Investigação da Degradação de Fachadas de Edifícios. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM-018A/16, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 173p.

NOWAK, H.; KUCYPERA, M. Application of Active Thermography for Detecting Material Defects in the Building Envelope. *Inframtion Proceedings*. Anais...2010.

PAVÓN, E (2017). Critérios e padrões de comportamento para avaliação de descolamentos cerâmicos com termografia de infravermelho. Tese de Doutorado, Publicação E.TD-6A/17, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília- DF, 250p.

PEDRA, S. A. Potencialidades da termografia infravermelha aplicada ao design do conforto térmico de alvenaria estrutural. Dissertação de mestrado. Universidade de Minas Gerais, 2011.

PIAZZAROLLO, C. B. (2019) Estudo da evolução e da gravidade da degradação nas diferentes zonas componentes da fachada. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília. Brasília, Brasil. 102 p.

PINHEIRO, P. I. S. (2016) Aplicação do Método de Mensuração da Degradação (MMD) ao estudo das fachadas de edifícios em Brasília. Trabalho de conclusão de curso. Bacharelado em Engenharia Civil. Universidade de Brasília. Brasília, Brasil. 186 p.

RAJIC, N. Principal component thermography for flaw contrast enhancement and flaw depth characterisation in composite structures. *Composite Structures*, v. 58, n. 4, p. 521–528, 2002.

RAJA, B.N.K.; MIRAMINI, S.; DUFFIELD, C.; SOFI, M.; MENDIS, P.; ZHANG, L. The Influence of Ambient Environmental Conditions in Detecting Bridge Concrete Deck Delamination Using Infrared Thermography (IRT). *Struct. Control. Health Monit.* 2020, 27, e2506.

REBELO, D. Avaliação quantitativa dos resultados da termografia de infravermelho aplicada ao estudo da humidade. Dissertação de mestrado. Universidade do Porto, 2017.

ROSINA, E.; LUDWIG, N. Optimal thermographic procedures for moisture analysis in buildings materials. *Diagnostic Imaging Technologies and Industrial Applications*. Anais...Munich, Alemanha: SPIE, 1999. Disponível em: <http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?articleid=907226>. Acesso em: 9 mai de 2022.

RUBEL, F.; KOTTEK M. Mudanças climáticas observadas e projetadas de 1901 a 2100 representadas por mapas mundiais da classificação climática Köppen-Geiger. *Meteorol Z*, 19 (2010), pp. 135 – 141. Disponível em: <http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/shifts.htm>. Acesso em: 20 jun. 2022.

RUIZ V. L.; FLORES S. V.; PRIETO V. E. In Situ Assessment of Superficial Moisture Condition in Façades of Historic Building Using Non-Destructive Techniques. *Case Study Build mother* 2019, 10, e00228.

SANTOS, D. G. (2018). Estudo da vida útil e degradação de fachadas em argamassa a partir da inspeção de edifícios. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação 27A/18, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 136p.

SFARRA, S.; IBARRA-CASTANEDO, C.; THEODORAKEAS, P.; AVDELIDIS, N. P.; PERILLI, S.; ZHANG, H.; NARDI, I.; KOUJ, M.; MALDAGUE, X. P. V. Evaluation of the state of conservation of mosaics: Simulations and thermographic signal processing. *International Journal of Thermal Sciences*, v. 117, p. 287–315, 2017.

SILVA, D. D. S. Diagnóstico de patologias em fachadas utilizando termografia. Mestrado. Engenharia Civil. Universidade do Porto, 2012.

SILVA, M. N. B. (2014) Avaliação quantitativa da degradação e vida útil de revestimentos de fachada – Aplicação ao caso de Brasília/DF. Tese de Doutorado. Universidade de Brasília.

SILVA, A.; BRITO, J.; GASPAR, P. L. Comparative analysis of service life prediction methods applied to rendered façades. *Materials and Structures*, 2016.

SOUZA, J. S. (2016). Evolução da degradação de fachadas - efeito dos agentes de degradação e dos elementos constituintes. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação 07A/16, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 114p.

SOUZA, J. S. (2019). Impacto dos fatores de degradação sobre a vida útil de fachadas de edifícios. Tese de doutorado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DT-15A/19, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 139 p.

TANAKA, D.; PAVON, E. Influência das dimensões dos descolamentos de revestimentos cerâmicos na avaliação com termografia de infravermelho. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 21, n. 3, p. 133-146, jul./set. 2021. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212021000300542>. . Acesso em: 8 mai. 2022.

TOMITA, K.; CHEW, M.Y.L. A Review of Infrared Thermography for Delamination Detection on Infrastructures and Buildings. *Sensors* 2022, 22, 423. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s22020423>. Acesso em: 9 mai. 2022.

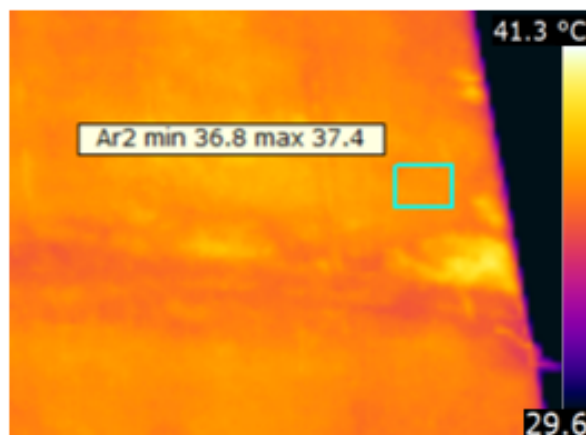
WASHER, G.; FENWICK, R.; BOLLENI, N. Effects of Solar Loading on Infrared Imaging of Subsurface Features in Concrete. *J. Bridge Eng.* 2010, 15, 384–390.

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

ZANONI, V. A. G. Influência dos agentes climáticos de degradação no comportamento higrotérmico de fachadas em Brasília. Brasília- Brazil Universidade de Brasília (UnB), 2015.

APÊNDICES

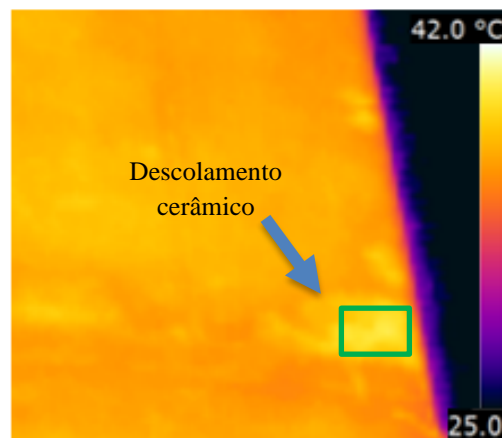
Apêndice A - Determinação da TSA_{REF} para anomalia localizada na orientação Norte do edifício E3 no horário de 12h



Dados da zona sem anomalia	
Temp média	37,00
Temp máx	37,35
Temp mín	36,48
Limite inf Q1	36,87
Temp mediana (TSA_{REF})	37,07
Limite sup Q3	37,15

Coordenadas de pixel (x/y)	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14
y1	37,06	37,07	37,11	37,08	37,05	37,07	37,28	37,21	37,21	37,16	36,98	36,80	36,56	36,48
y2	37,14	37,14	37,15	37,15	37,18	37,05	37,05	37,05	37,12	37,16	37,16	37,00	36,63	36,56
y3	37,16	37,15	37,19	37,21	37,12	37,08	37,07	37,15	37,15	37,15	37,02	37,03	36,56	36,67
y4	37,35	37,29	37,29	37,27	37,25	37,16	37,17	37,14	37,12	37,03	36,80	36,78	36,68	36,66
y5	37,23	37,35	37,24	37,31	37,30	37,19	37,19	37,34	37,10	36,97	36,82	36,73	36,57	36,69
y6	37,15	37,28	37,21	37,11	37,22	37,10	37,07	37,21	37,16	36,99	36,85	36,80	36,59	36,68
y7	37,22	37,09	37,12	36,94	37,09	37,13	36,99	37,09	37,07	36,88	36,96	36,68	36,70	36,49
y8	37,07	37,12	37,11	36,97	36,93	36,97	36,97	37,09	36,96	36,91	36,87	36,96	36,51	36,54
y9	37,06	36,86	36,90	36,87	36,84	36,85	36,98	36,89	36,93	36,92	36,89	36,73	36,49	36,48

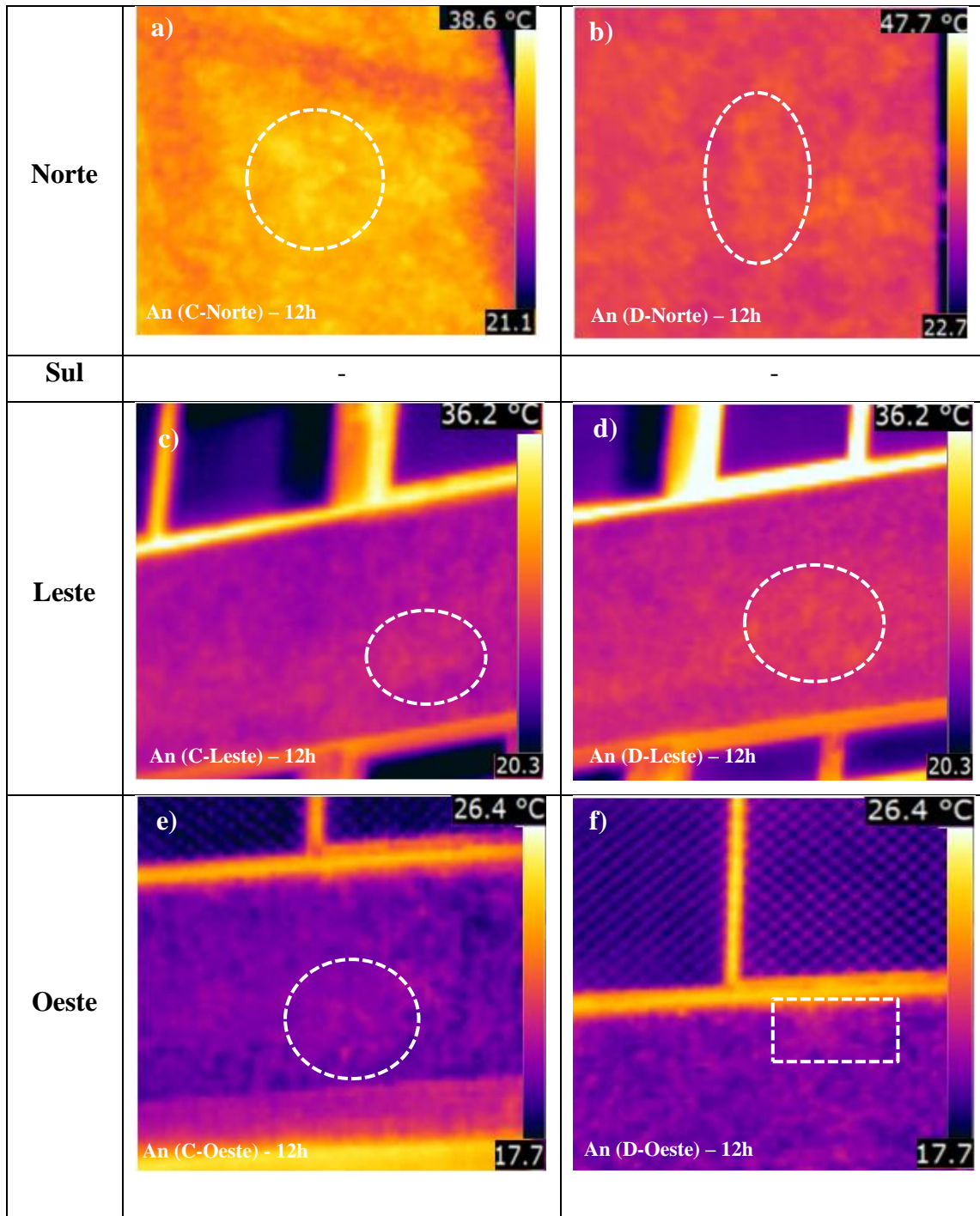
Apêndice B - Determinação da T_{CA} para anomalia localizada na orientação Norte do edifício E3 no horário de 12h



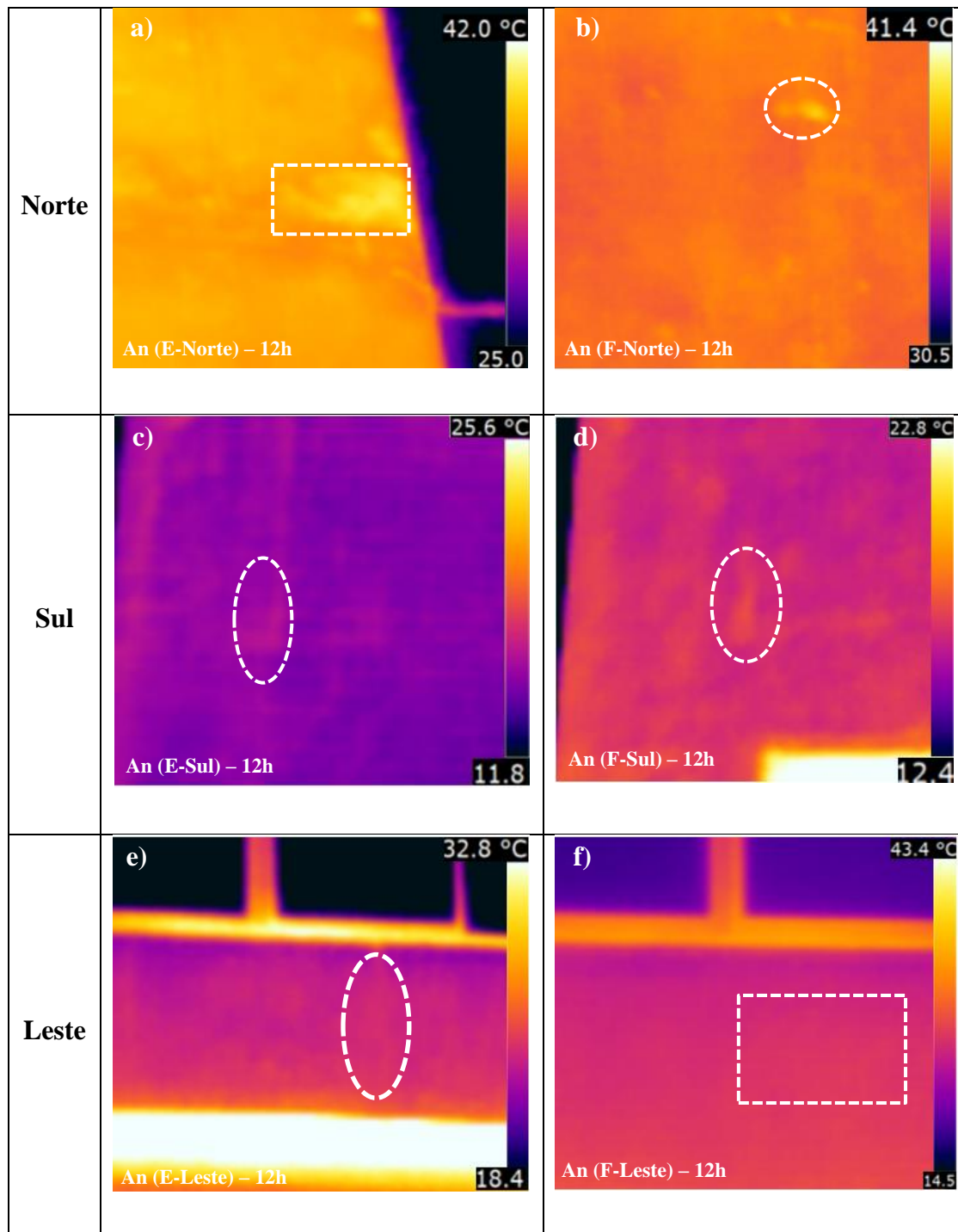
Dados da zona com anomalia	
Tempmédia	38,02
Tempmáx	40,06
Tempmín	35,93
Limiteinf Q1	37,32
Temp mediana (TCA)	<u>37,95</u>
Limitesup Q3	38,85

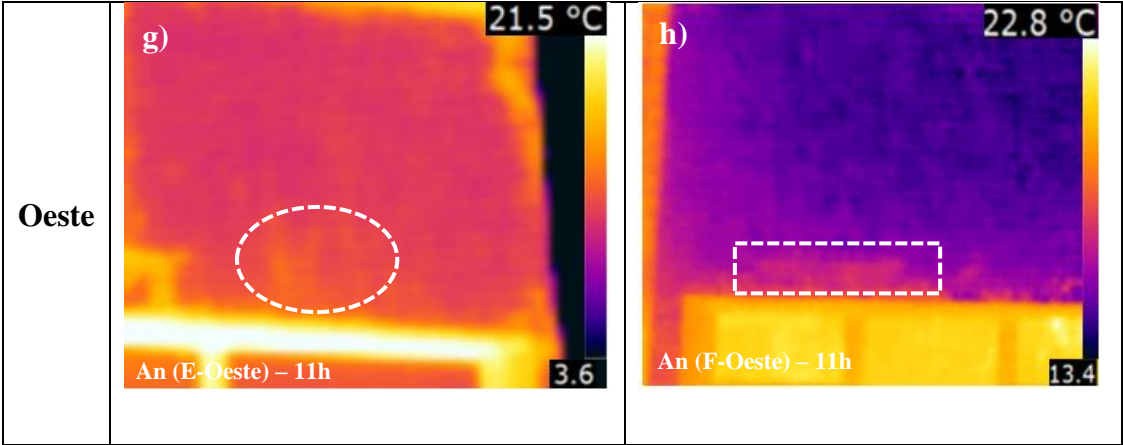
Coordenadas de pixel (xy)	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15	x16	x17	x18	x19
v1	36,50	36,73	36,73	36,76	36,95	37,19	37,49	37,61	37,76	37,44	37,33	37,47	37,31	37,24	37,65	37,29	37,02	36,70	36,57
v2	36,69	36,91	37,32	37,57	37,49	37,44	37,77	38,05	38,07	38,24	38,23	38,07	38,06	38,19	38,52	38,69	38,51	37,63	37,14
v3	36,58	36,97	37,53	37,51	37,42	37,39	37,50	37,78	37,77	38,13	38,35	38,38	38,53	38,55	38,74	38,90	38,90	39,06	38,74
v4	36,45	36,87	37,38	37,37	37,37	37,48	37,50	37,67	37,74	38,19	38,24	38,65	38,74	38,90	39,08	39,34	39,34	39,23	39,23
v5	36,65	36,70	36,88	37,32	37,43	37,48	37,48	37,77	37,90	38,21	38,21	38,72	38,66	38,77	39,40	39,62	39,62	39,35	39,22
v6	36,89	36,88	36,80	37,07	37,43	37,57	38,15	38,70	38,98	39,39	39,10	39,10	38,78	38,79	39,72	39,84	39,86	39,59	39,03
v7	37,71	37,66	37,57	37,23	37,44	37,48	38,15	38,92	39,34	39,61	39,39	39,40	39,45	39,46	39,76	39,85	40,06	39,71	39,25
v8	37,42	37,94	38,01	38,01	37,73	37,75	38,17	38,75	39,07	39,64	39,36	39,26	39,59	39,70	39,62	39,48	39,38	39,41	39,25
v9	37,02	37,42	37,81	38,00	38,21	38,51	38,55	38,98	38,81	38,94	39,24	39,30	39,48	39,23	38,74	38,65	38,84	38,86	38,96
v10	36,80	37,01	37,39	37,56	37,87	38,39	38,54	38,49	38,20	38,57	38,89	39,11	39,00	38,58	38,36	38,16	38,15	38,15	38,44
v11	36,18	36,49	36,56	36,60	36,60	37,12	37,17	37,16	37,51	37,92	37,96	38,13	37,81	37,63	37,55	37,58	37,69	37,86	38,14
v12	35,93	36,33	36,34	36,00	35,98	36,30	36,23	36,27	36,54	37,05	36,97	37,09	36,53	36,80	36,53	36,92	37,18	37,26	37,47

Apêndice C - Anomalias de descolamento cerâmico investigadas nos edifícios E2



Apêndice D - Anomalias de descolamento cerâmico investigadas nos edifícios E3





Apêndice E - Determinação das temperaturas de referência $T_{SA_{REF}}$ e T_{CA} para o edifício E1

Orientação	Ciclo de avaliação	Horário (h)	Anomalia A		Anomalia B	
			$T_{SA_{REF}}$ (°C)	T_{CA} (°C)	$T_{SA_{REF}}$ (°C)	T_{CA} (°C)
Norte	Ciclo A	07:40	24,51	25,00	23,88	24,56
		08:30	26,49	27,48	25,85	26,58
		09:30	28,33	28,91	26,35	27,13
		10:30	30,95	31,88	29,14	29,67
	Ciclo B	16:50	35,77	32,80	33,23	32,89
		17:30	32,90	30,74	31,02	30,71
		18:20	29,85	27,98	28,14	27,76
		19:10	27,68	26,04	25,97	25,50
		20:00	25,17	24,34	24,59	24,18
Sul	Ciclo A	07:40	24,97	26,24	26,17	26,42
		08:30	26,95	28,02	26,38	27,03
		09:30	26,29	27,55	26,33	27,00
		10:30	28,59	29,84	30,18	30,78
	Ciclo B	16:50	21,37	21,94	21,10	21,43
		17:30	20,23	20,95	18,87	19,37
		18:20	17,75	18,93	16,61	17,01
		19:10	18,40	19,23	17,07	17,35
		20:00	18,69	19,56	17,23	17,85
Leste	Ciclo A	07:40	24,37	24,58	25,45	26,00
		08:30	28,99	29,13	-	-
		09:30	32,38	32,99	38,12	39,08
		10:30	34,20	34,62	40,12	40,67
	Ciclo B	16:50	26,39	25,55	27,57	27,19
		17:30	25,14	24,37	26,11	25,82
		18:20	24,02	23,31	25,05	24,65
		19:10	23,66	23,06	24,61	24,13
		20:00	23,13	22,43	23,85	23,41
Oeste	Ciclo A	07:40	25,18	25,54	25,45	25,90
		08:30	26,45	26,87	27,24	27,62
		09:30	27,93	28,60	28,58	28,93
		10:30	31,03	31,63	30,79	31,57
	Ciclo B	16:50	27,92	25,99	29,49	26,81
		17:30	25,46	23,92	26,41	25,00
		18:20	22,75	21,25	23,98	22,98
		19:10	22,12	20,79	23,03	23,01
		20:00	21,73	20,77	22,96	22,76

Apêndice F - Temperaturas de referência $T_{SA_{REF}}$ e T_{CA} para o edifício E2

Orientação	Ciclo de avaliação	Horário (h)	Anomalia C		Anomalia D	
			$T_{SA_{REF}}$ (°C)	T_{CA} (°C)	$T_{SA_{REF}}$ (°C)	T_{CA} (°C)
Norte	Ciclo A	07:00	11,54	12,02	13,46	15,01
		08:00	17,32	17,93	17,00	18,11
		09:00	20,67	22,09	21,29	22,92
		10:00	25,69	26,39	26,59	27,84
		11:00	29,37	31,08	30,74	31,76
		12:00	32,05	34,03	33,48	34,65
	Ciclo B	16:50	31,56	31,84	31,86	30,63
		17:10	29,11	29,19	28,72	27,48
		18:30	24,39	24,38	24,89	23,98
		19:20	22,62	22,64	23,53	23,13
		20:00	21,37	21,38	22,45	22,22
Leste	Ciclo A	07:00	14,27	14,46	13,44	14,12
		08:00	-	-	-	-
		09:00	25,99	27,53	25,41	27,60
		10:00	28,36	29,76	29,29	30,42
		11:00	28,46	28,65	28,25	29,55
		12:00	25,31	26,03	26,44	27,10
	Ciclo B	16:50	22,80	23,17	23,67	24,10
		17:10	22,55	22,88	23,28	23,65
		18:30	21,29	21,72	21,95	22,40
		19:20	20,44	20,73	20,84	21,41
		20:00	19,70	20,41	19,95	20,65
Oeste	Ciclo A	07:00	12,61	13,15	12,80	13,51
		08:00	14,12	14,55	14,16	15,31
		09:00	15,29	15,64	15,19	15,85
		10:00	17,00	17,26	16,71	17,43
		11:00	20,13	20,24	19,92	20,37
		12:00	19,07	19,64	19,49	19,80
	Ciclo B	16:50	29,09	30,35	28,35	29,49
		17:10	25,41	26,29	25,30	26,54
		18:30	22,21	22,78	22,65	24,09
		19:20	20,68	21,15	21,34	22,77
		20:00	19,90	20,29	20,53	21,93

Apêndice G - Temperaturas de referência $T_{S_{REF}}$ e T_{CA} para o edifício E3

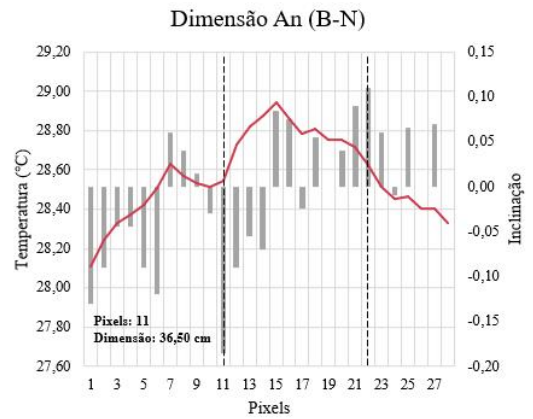
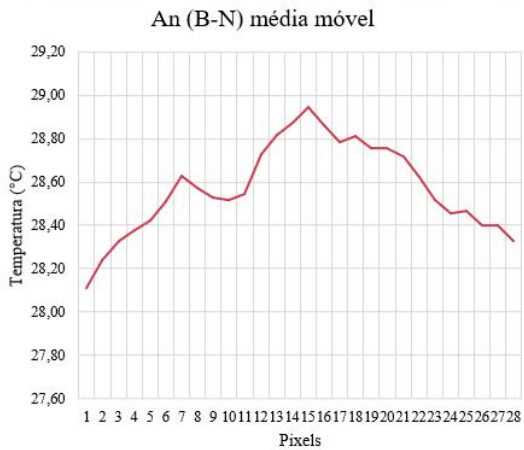
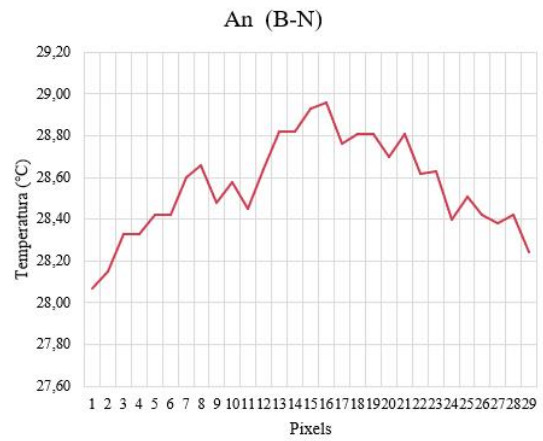
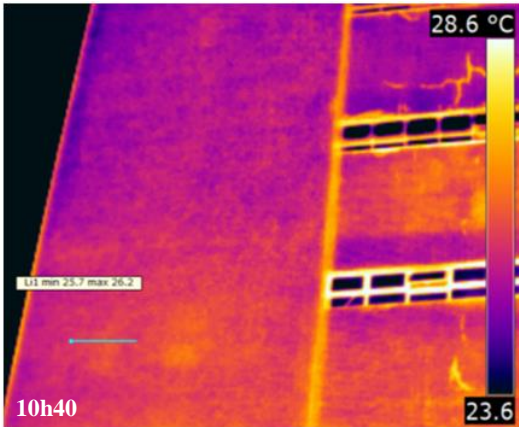
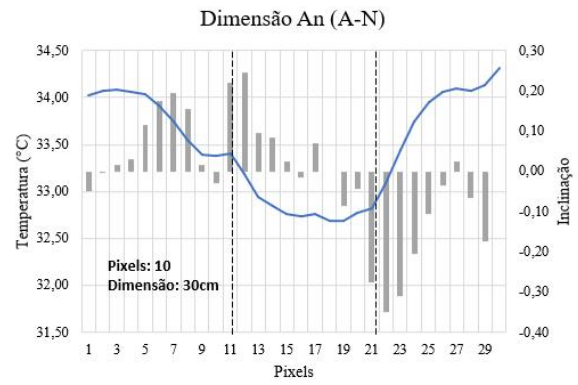
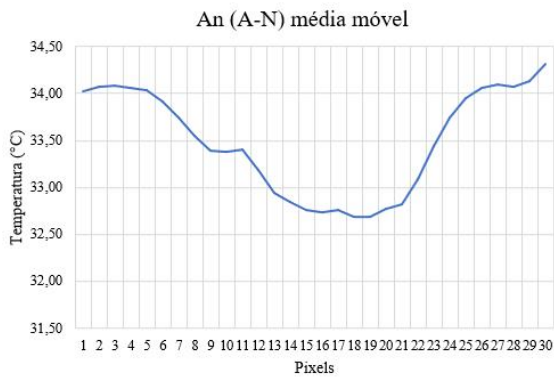
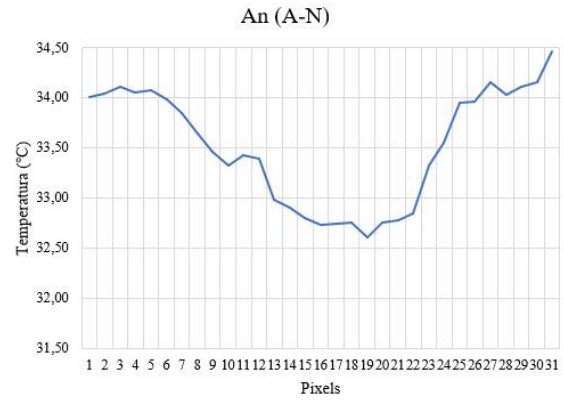
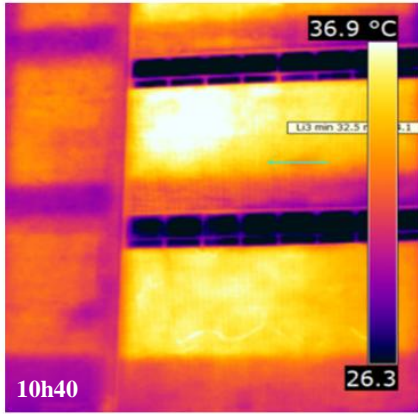
Orientação	Ciclo de avaliação	Horário (h)	Anomalia E		Anomalia F	
			$T_{S_{REF}}$ (°C)	T_{CA} (°C)	$T_{S_{REF}}$ (°C)	T_{CA} (°C)
Norte	Ciclo A	07:00	19,78	20,08	19,96	20,12
		08:00	23,50	24,15	23,59	24,08
		09:00	26,97	27,43	27,36	27,90
		10:00	30,91	31,70	30,09	30,68
		11:00	34,24	34,84	33,61	34,30
		12:00	37,07	37,95	36,67	36,85
	Ciclo B	16:40	43,91	43,31	43,82	43,77
		17:30	41,43	40,87	40,19	40,05
		18:20	35,37	33,79	36,08	35,95
		19:10	33,55	32,25	34,60	34,62
		20:00	32,84	31,52	32,70	32,71
Sul	Ciclo A	07:00	10,21	10,91	13,55	14,07
		08:00	11,08	11,69	14,82	15,06
		09:00	12,50	13,80	15,82	15,64
		10:00	13,27	14,17	15,78	15,72
		11:00	13,71	14,39	16,30	16,39
		12:00	14,87	15,56	16,42	16,57
	Ciclo B	16:40	17,70	17,98	21,51	21,62
		17:30	17,12	17,57	21,14	21,20
		18:20	15,88	16,42	20,07	20,20
		19:10	15,36	15,82	19,50	19,84
		20:00	14,80	15,36	19,24	19,47
Leste	Ciclo A	07:00	-	-	-	-
		08:00	-	-	-	-
		09:00	26,97	27,37	-	-
		10:00	27,84	28,29	30,88	31,88
		11:00	26,07	26,54	29,36	30,36
		12:00	23,83	23,79	26,36	27,30
	Ciclo B	16:40	20,65	20,49	21,93	21,93
		17:30	19,31	19,27	21,22	21,24
		18:20	17,80	17,04	19,91	19,51
		19:10	-	-	-	-
		20:00	16,60	15,97	18,68	18,47
Oeste	Ciclo A	07:00	7,93	8,85	12,54	15,16
		08:00	7,92	8,75	11,98	14,48
		09:00	8,71	9,81	12,23	14,50
		10:00	12,30	13,18	13,68	15,72
		11:00	11,53	12,49	14,90	16,69
		12:00	12,73	13,57	16,87	18,33
	Ciclo B	16:40	26,04	26,36	25,21	25,11

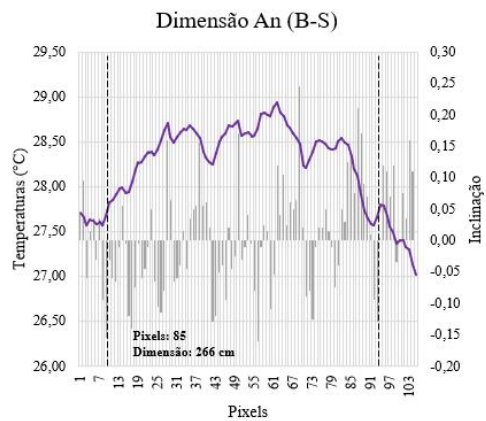
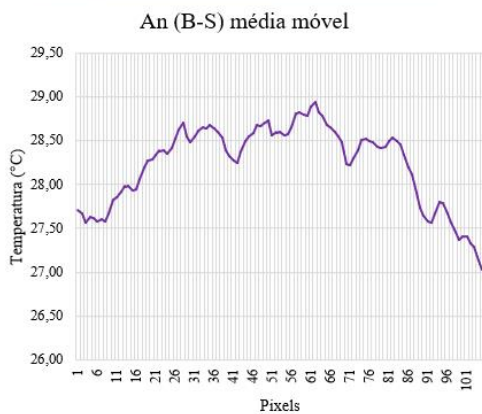
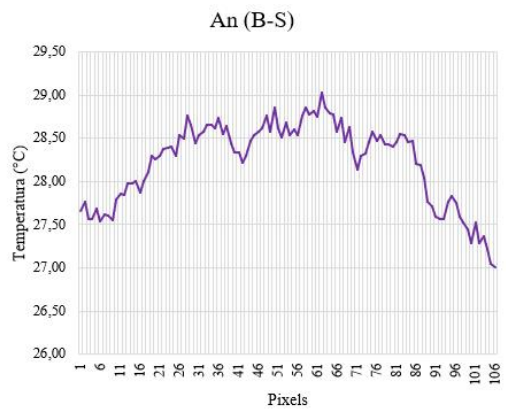
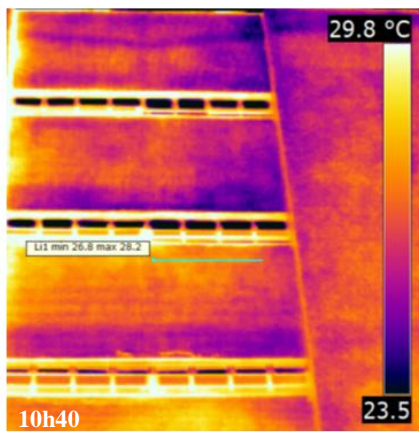
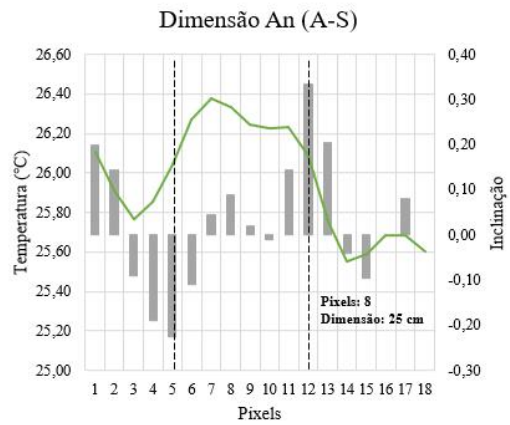
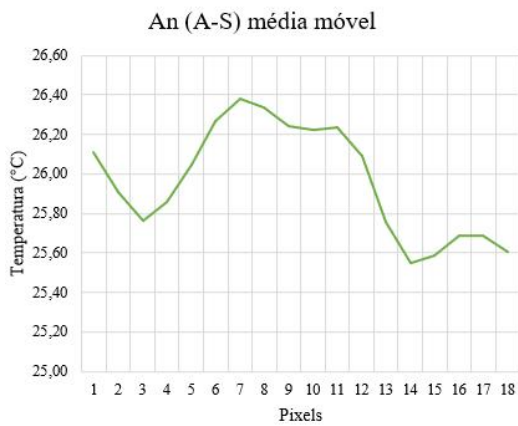
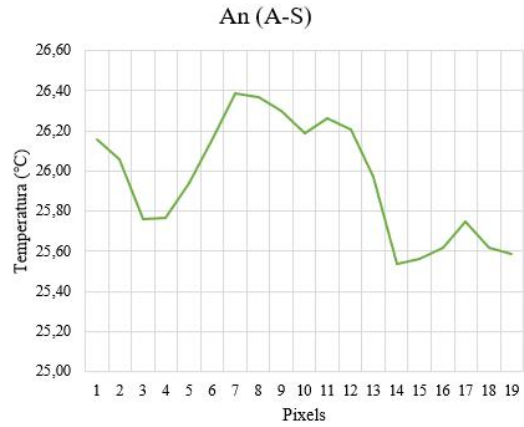
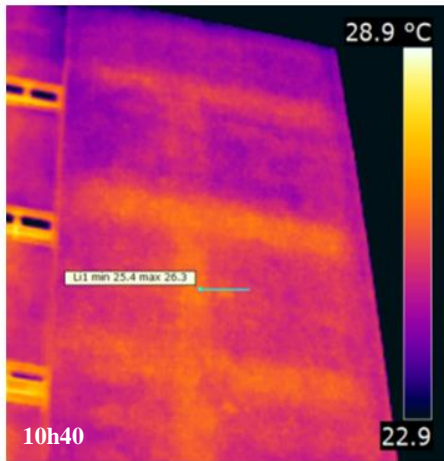
17:30	20,39	20,60	21,95	22,66
18:20	17,39	17,64	20,41	21,66
19:10	15,39	15,77	18,99	20,49
20:00	13,72	14,26	17,68	19,42

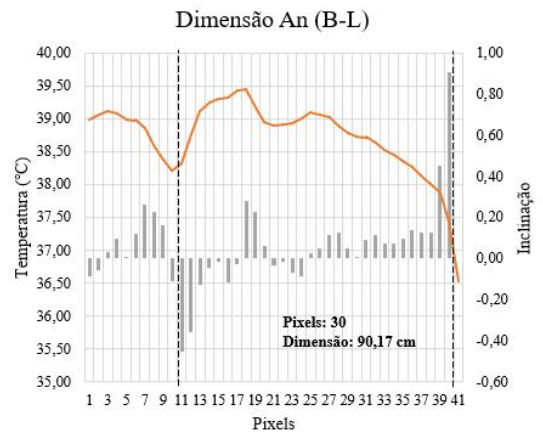
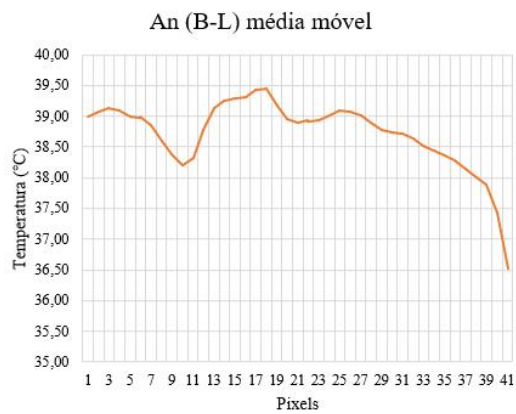
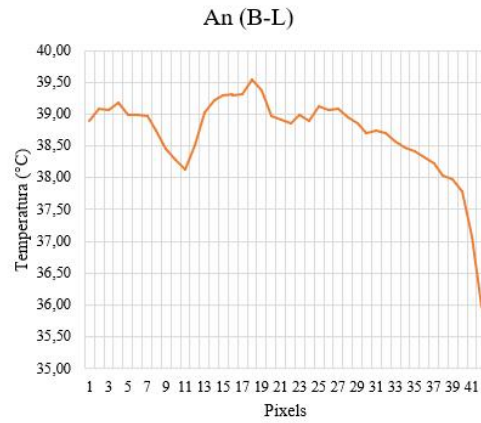
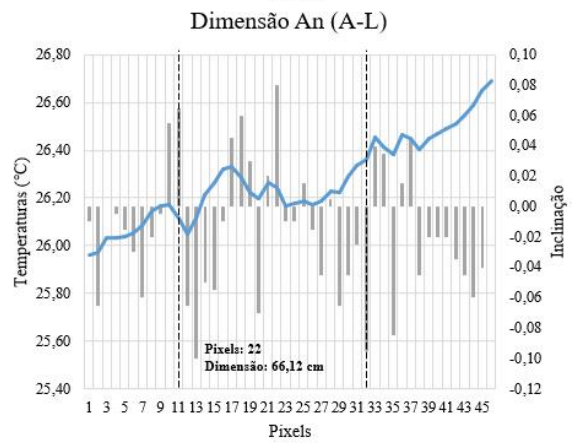
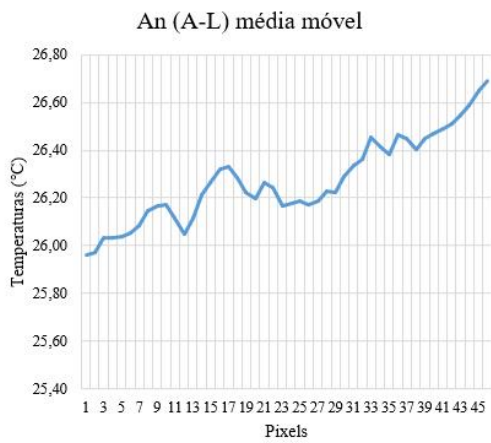
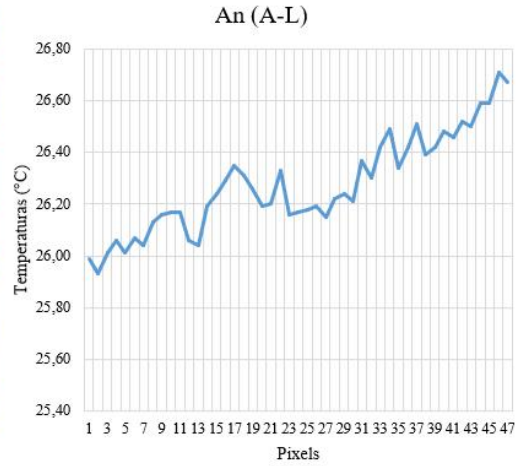
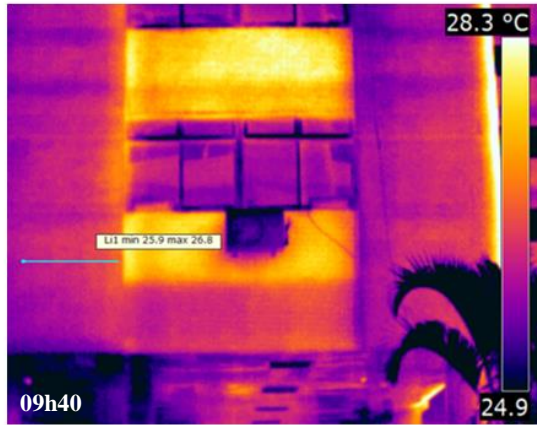
Apêndice H - Determinação dos gradientes de temperatura do edifício E1

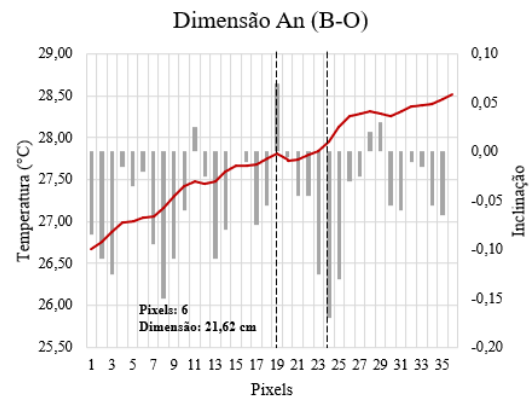
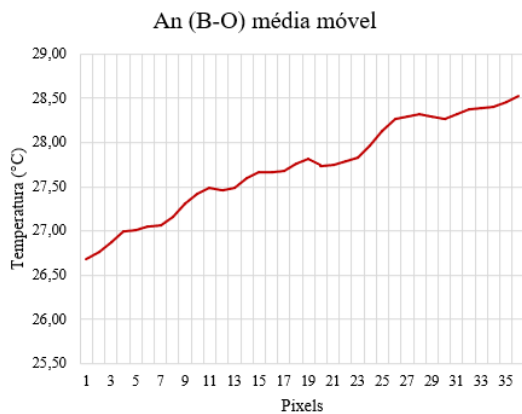
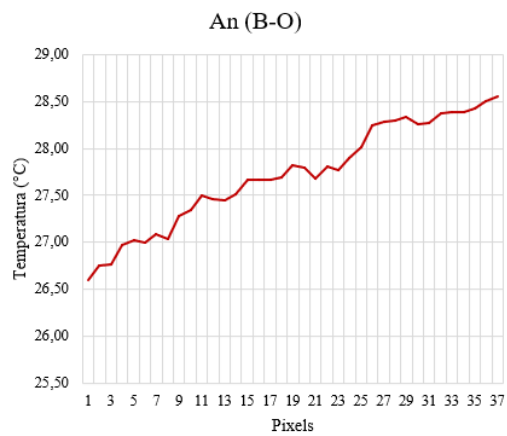
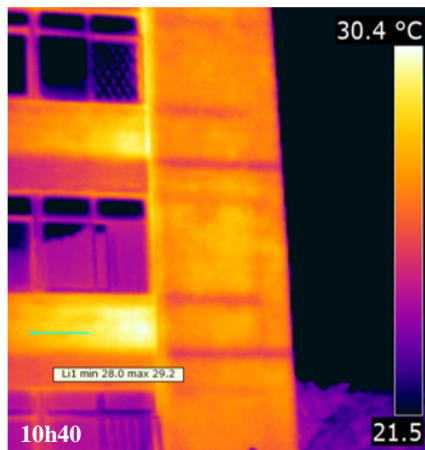
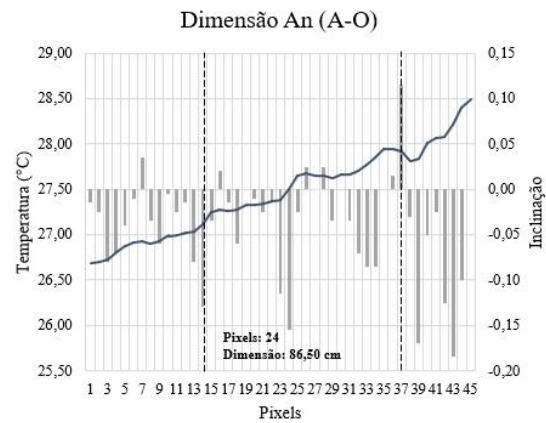
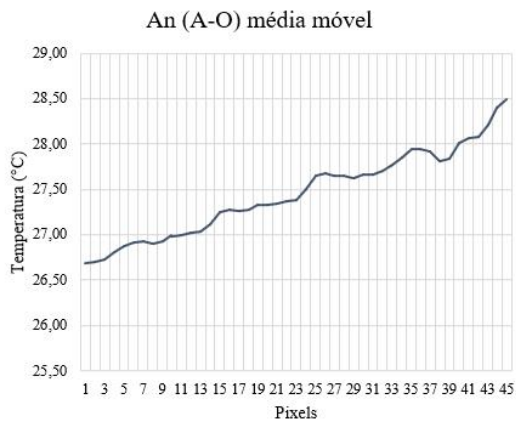
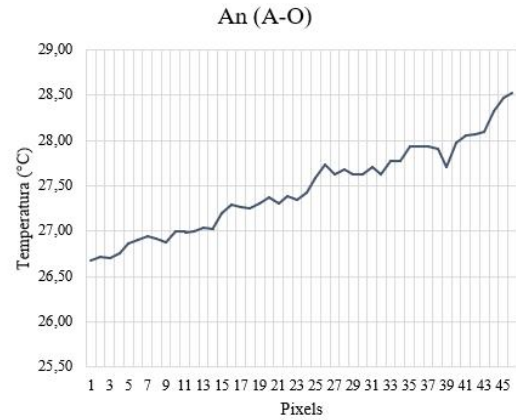
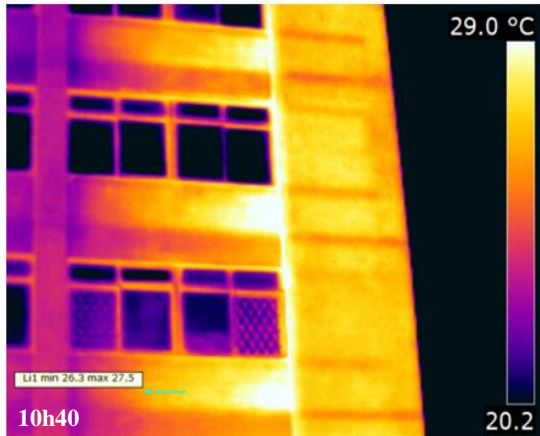
Horário	G _{Temp-Norte}	G _{Temp-Sul}	G _{Temp-Leste}	G _{Temp-Oeste}	Temperatura ambiente
1:00	-0,15	-0,13	-0,13	-0,18	21,60
2:00	-0,24	-0,23	-0,24	-0,27	21,10
3:00	-0,23	-0,22	-0,22	-0,25	21,10
4:00	-0,32	-0,32	-0,32	-0,33	20,50
5:00	-0,34	-0,33	-0,33	-0,35	20,20
6:00	-0,38	-0,38	-0,38	-0,39	19,70
7:00	<u>-0,02</u>	<u>-0,02</u>	<u>-0,02</u>	<u>-0,02</u>	<u>20,50</u>
8:00	<u>1,26</u>	<u>1,19</u>	<u>2,18</u>	<u>1,18</u>	<u>22,70</u>
9:00	<u>2,05</u>	<u>1,63</u>	<u>4,19</u>	<u>1,63</u>	<u>24,50</u>
10:00	<u>2,32</u>	<u>0,72</u>	<u>3,95</u>	<u>1,54</u>	<u>25,80</u>
11:00	2,33	1,24	2,65	1,23	26,50
12:00	2,05	1,17	0,74	1,16	27,20
13:00	0,94	1,38	-0,01	1,43	27,20
14:00	1,58	0,61	-0,23	2,48	28,30
15:00	1,51	1,03	0,53	3,59	28,90
16:00	<u>-0,69</u>	<u>-0,04</u>	<u>-0,35</u>	<u>-0,59</u>	<u>27,10</u>
17:00	<u>-1,31</u>	<u>-0,80</u>	<u>-1,00</u>	<u>-1,60</u>	<u>25,40</u>
18:00	<u>-1,40</u>	<u>-1,09</u>	<u>-1,22</u>	<u>-1,26</u>	<u>24,30</u>
19:00	<u>-1,15</u>	<u>-0,95</u>	<u>-1,03</u>	<u>-1,40</u>	<u>22,80</u>
20:00	<u>-0,85</u>	<u>-0,73</u>	<u>-0,78</u>	<u>-1,01</u>	<u>22,20</u>
21:00	-0,62	-0,54	-0,57	-0,71	22,00
22:00	-0,69	-0,64	-0,66	-0,75	20,60
23:00	-0,53	-0,50	-0,52	-0,57	20,50
0:00	-0,47	-0,45	-0,46	-0,49	20,20

Apêndice I - Dimensão horizontal das anomalias do edifício E1

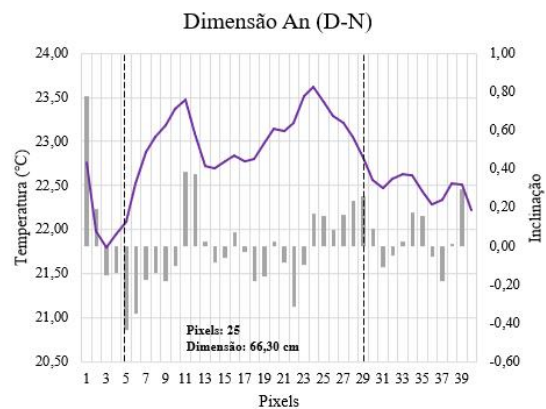
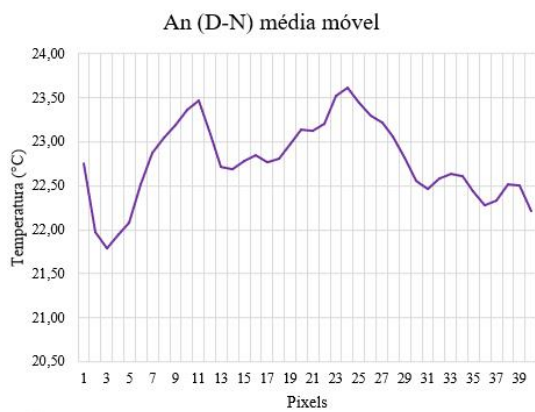
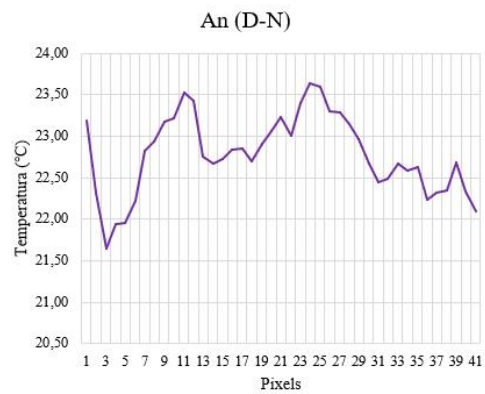
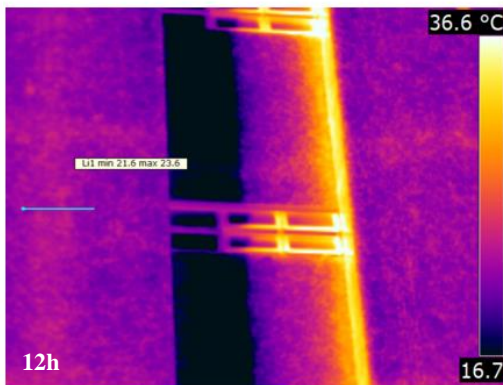
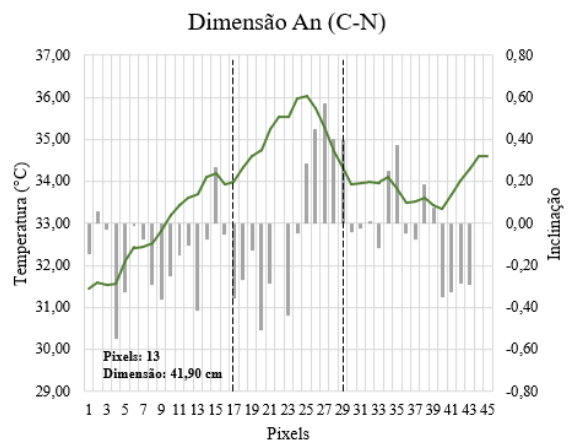
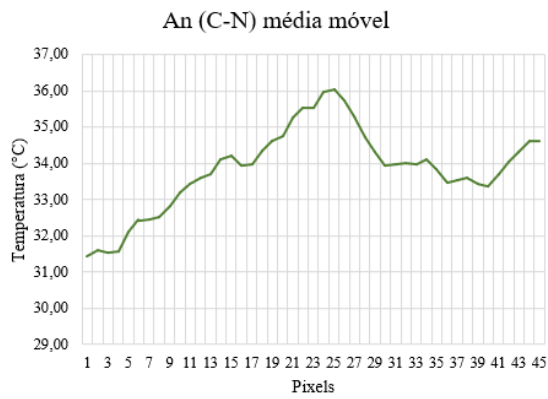
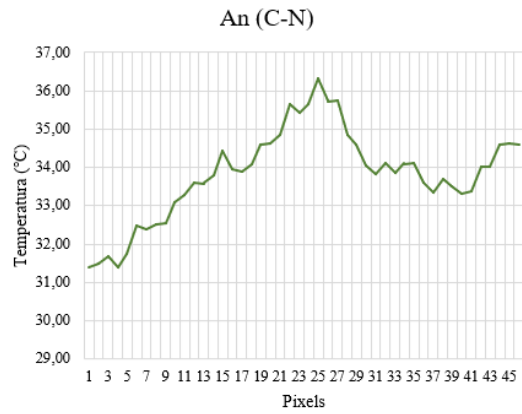
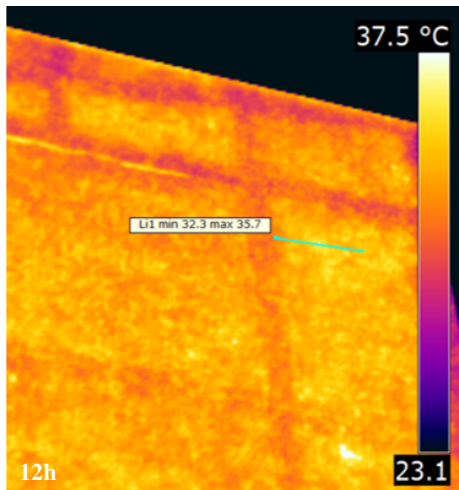


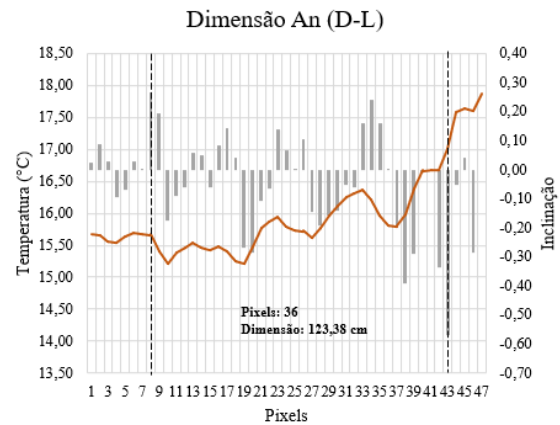
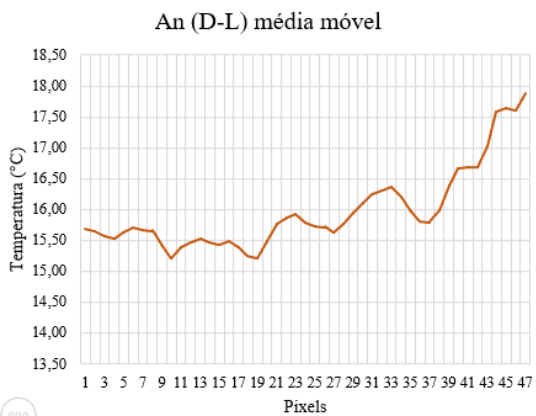
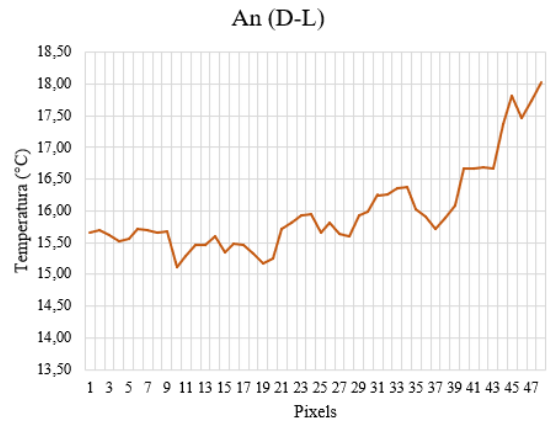
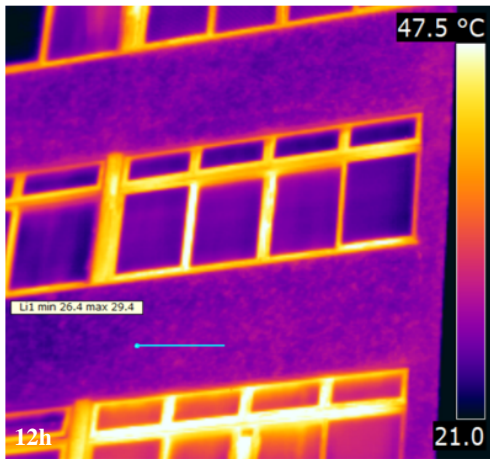
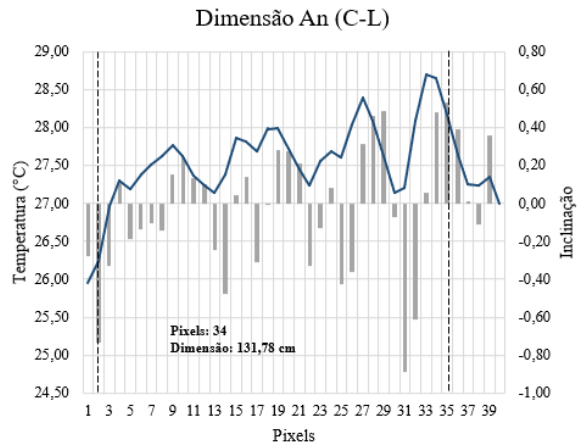
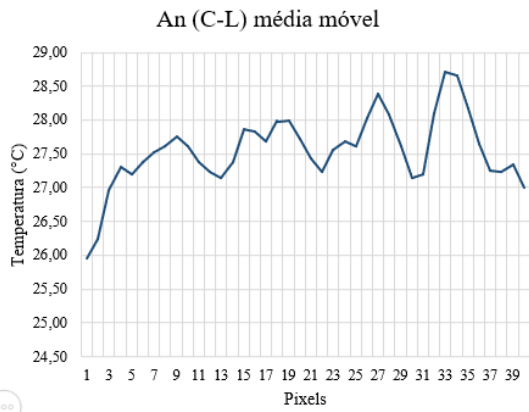
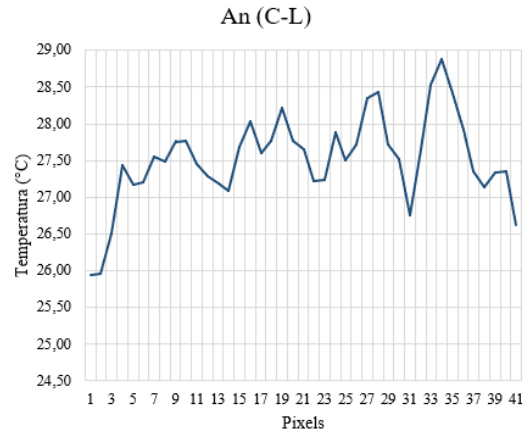
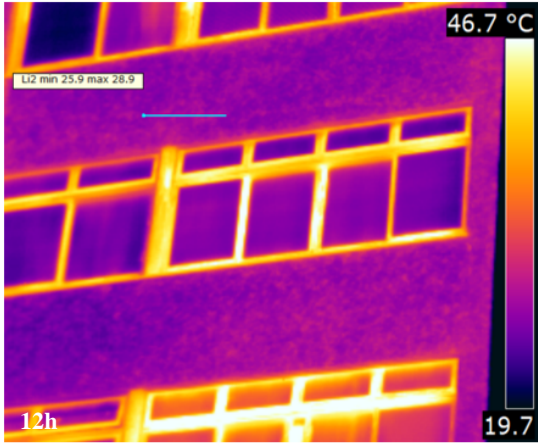


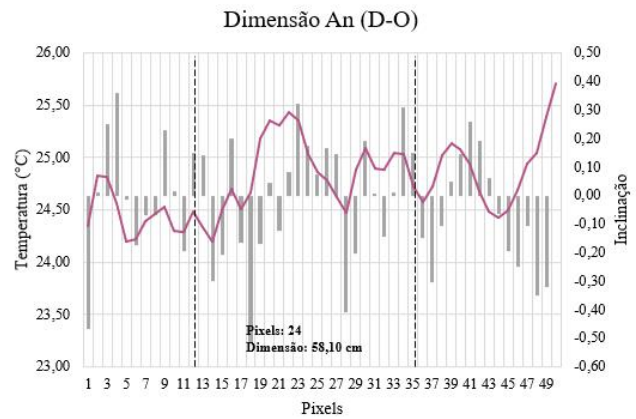
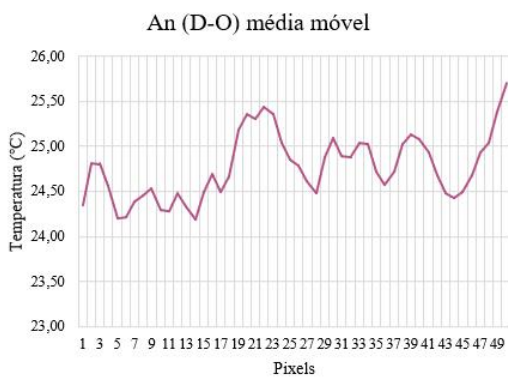
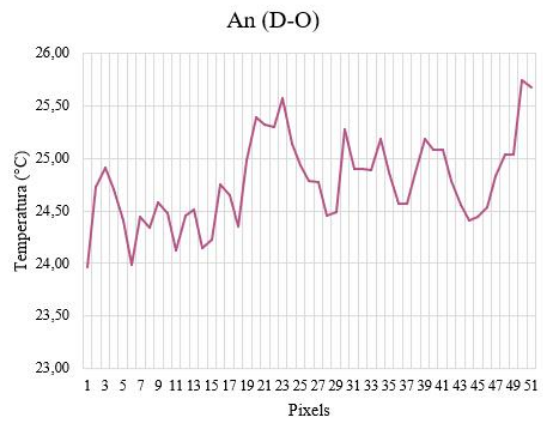
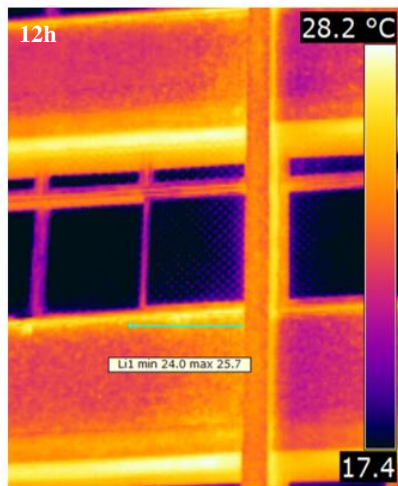
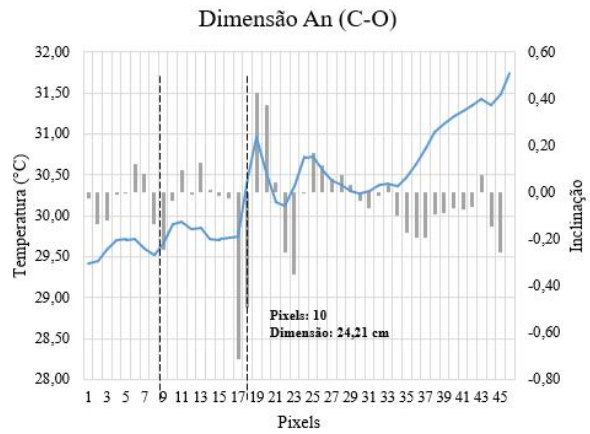
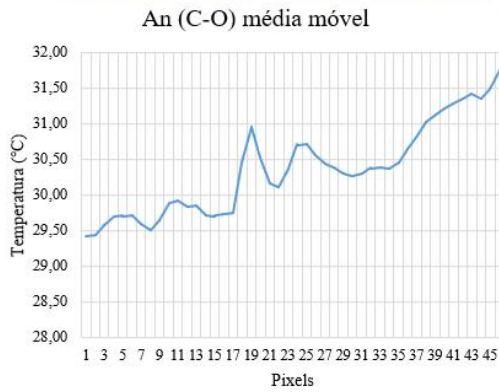
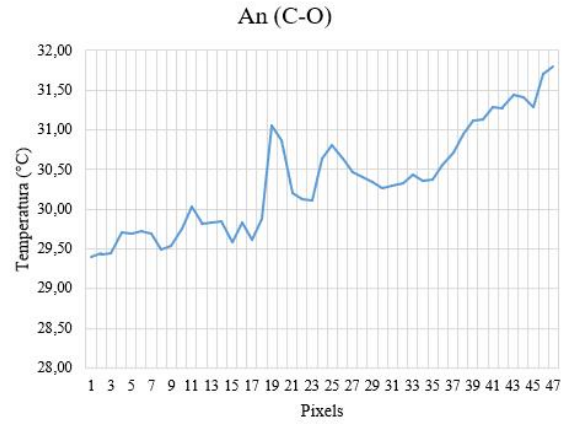
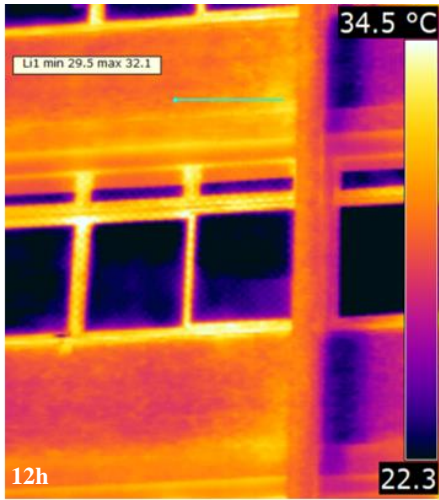




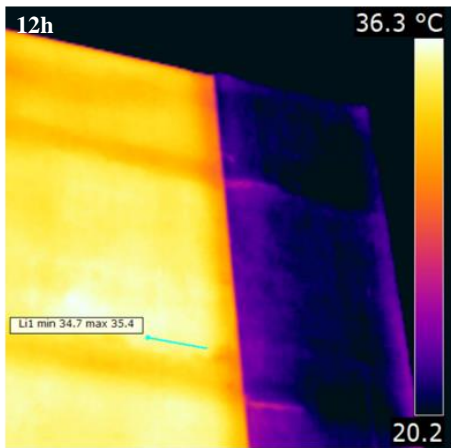
Apêndice J - Dimensão horizontal das anomalias do edifício E2



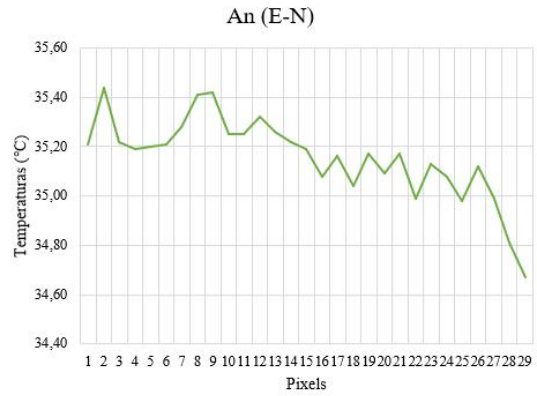
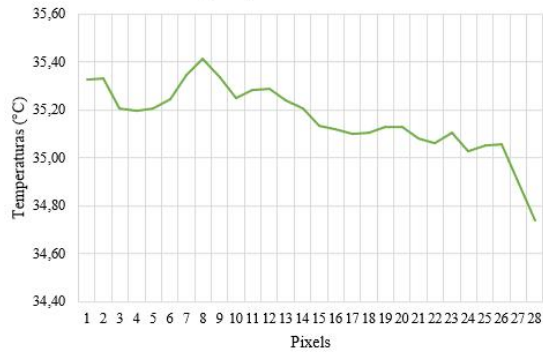




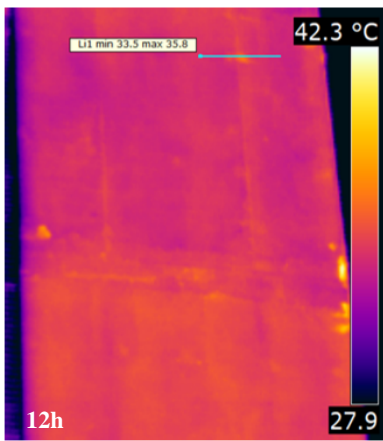
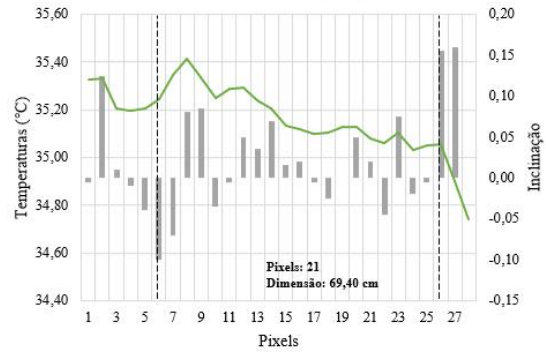
Apêndice K - Dimensão horizontal das anomalias do edifício E3



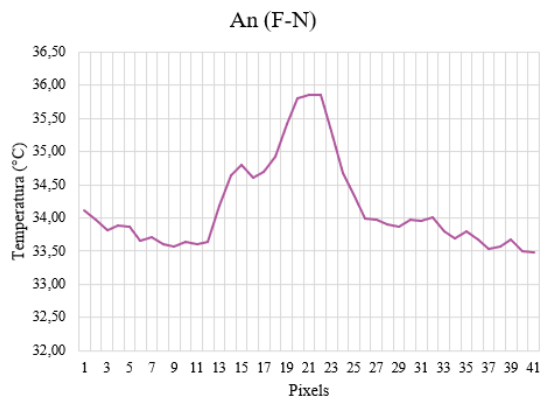
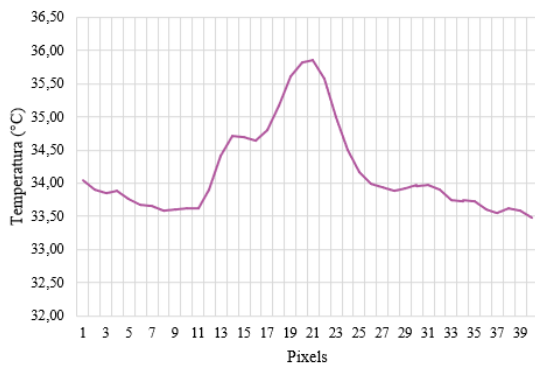
An (E-N) média móvel



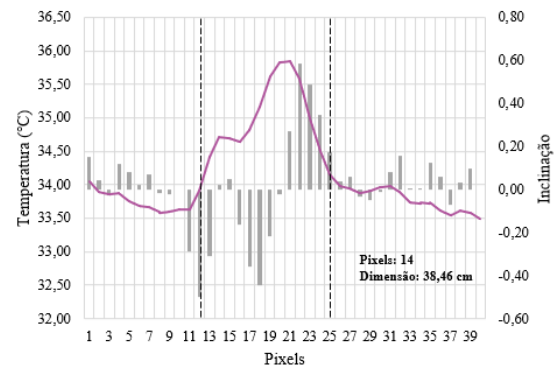
Dimensão An (E-N)

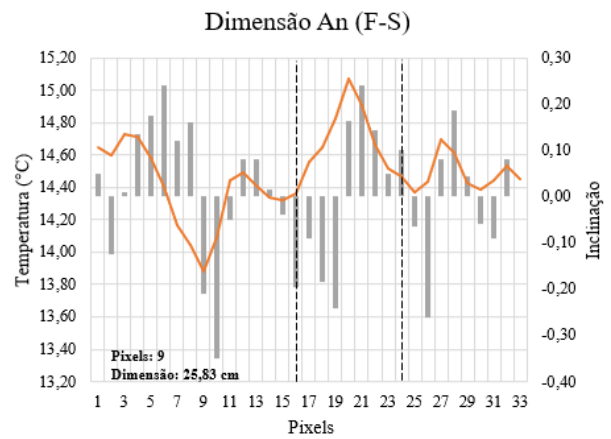
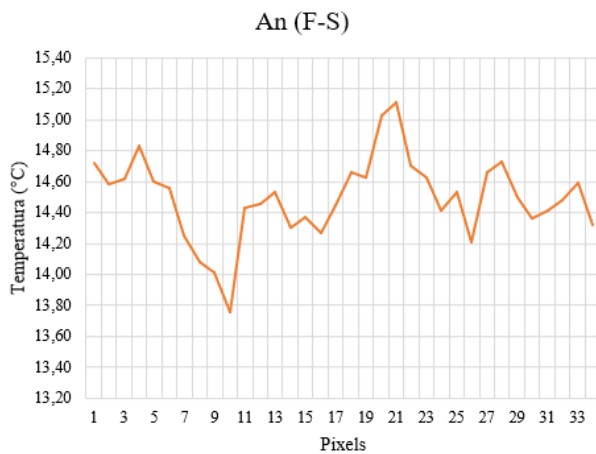
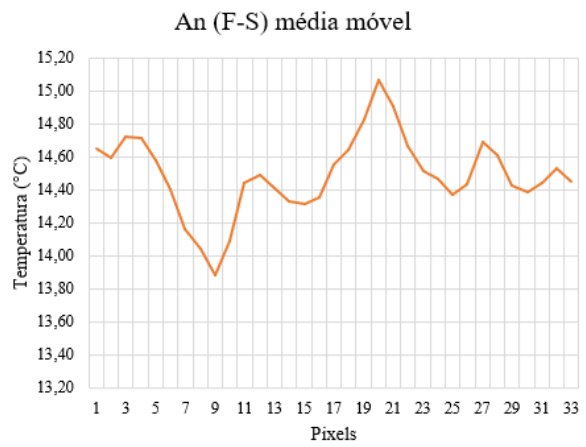
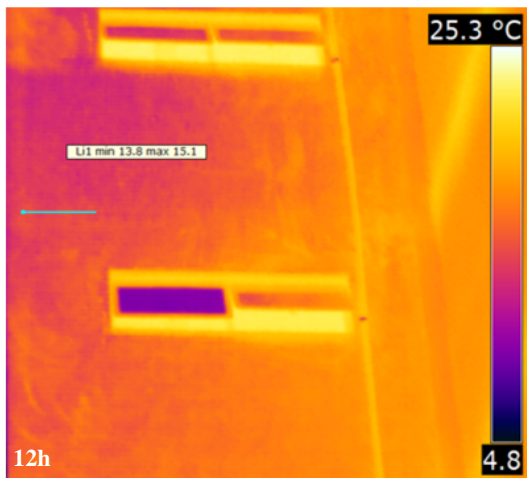
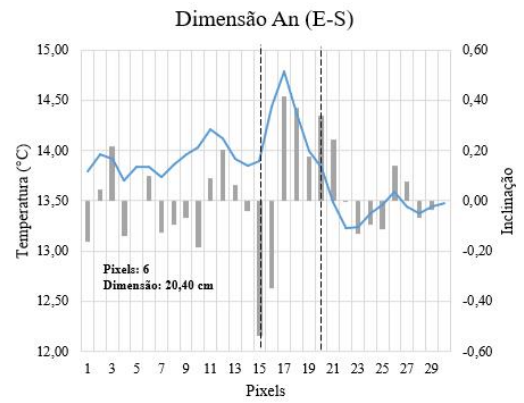
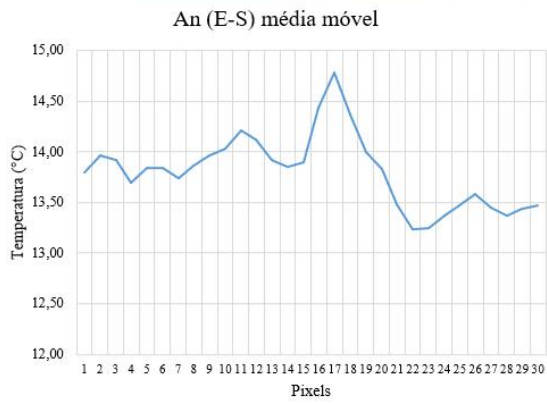
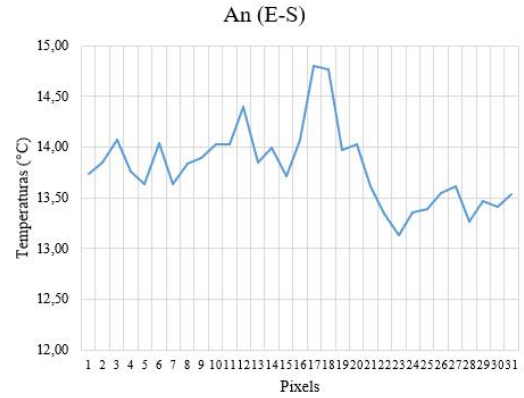
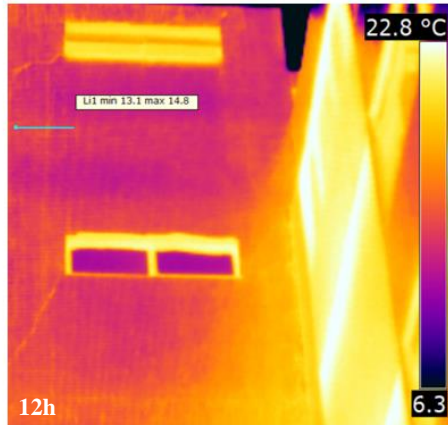


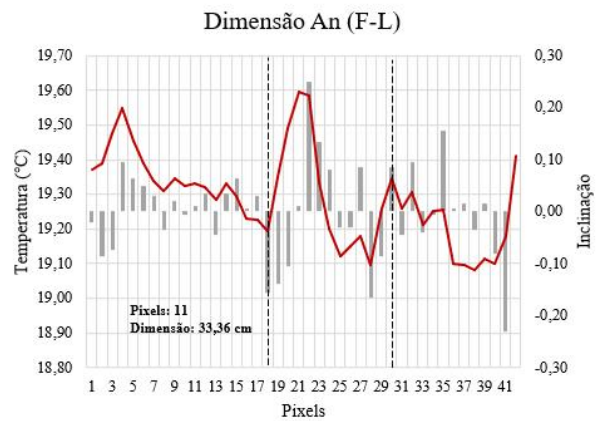
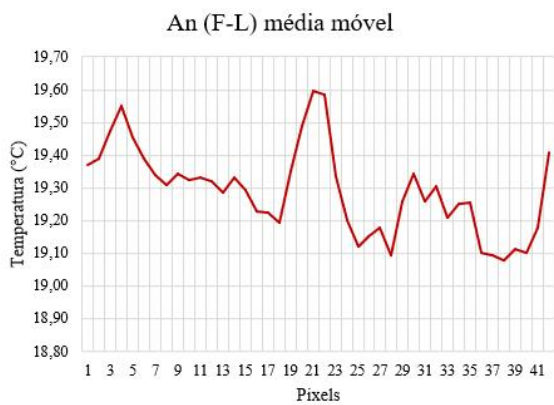
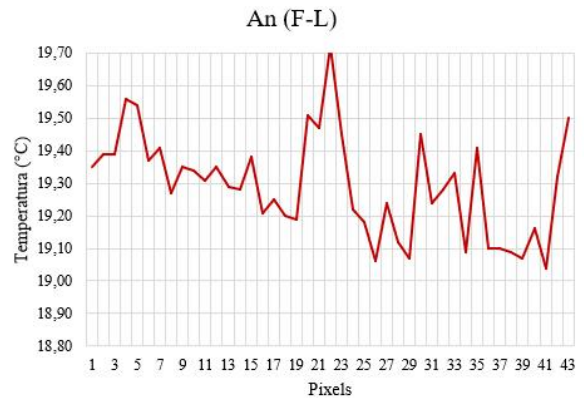
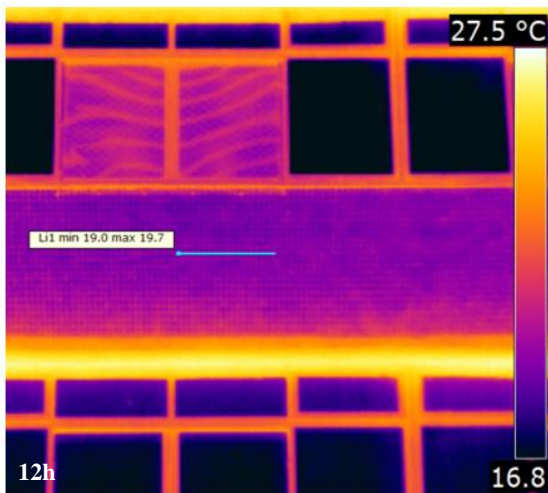
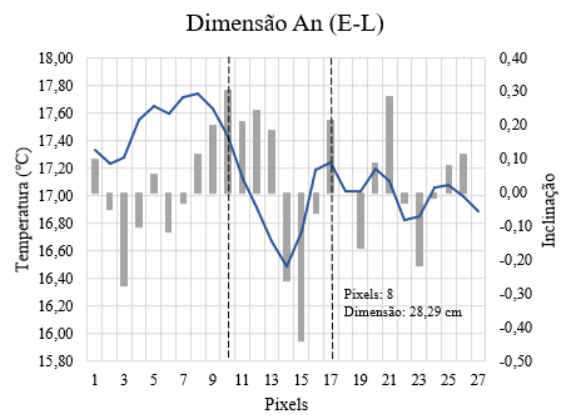
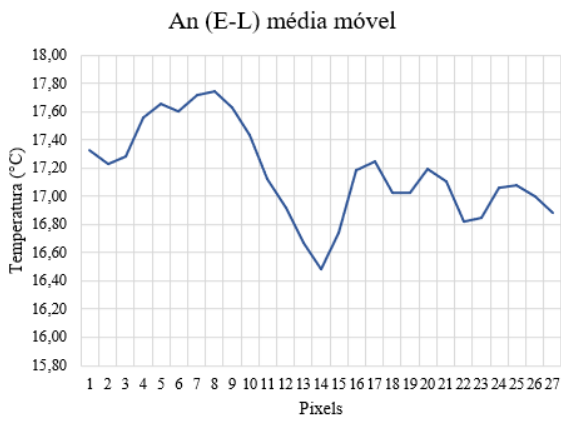
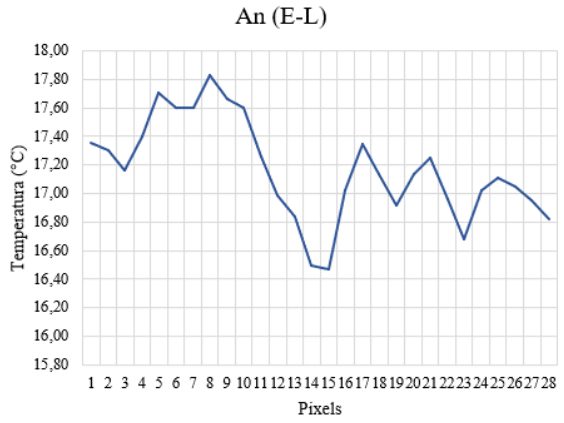
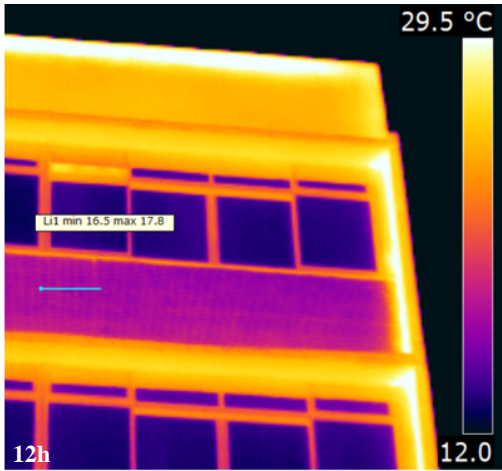
An (F-N) média móvel

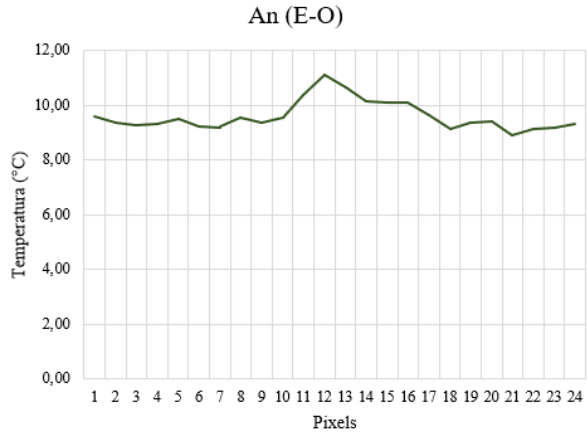
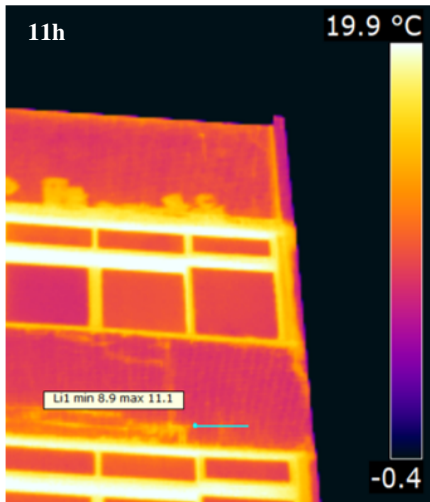


Dimensão An (F-N)

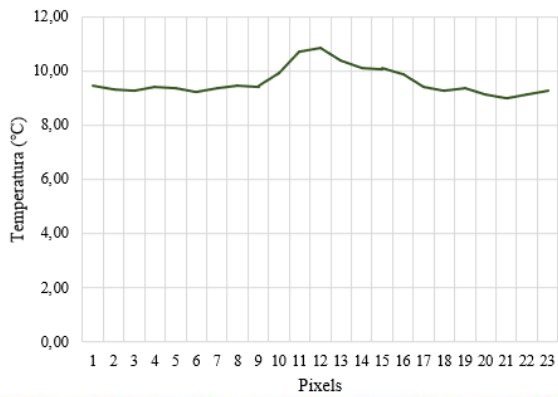




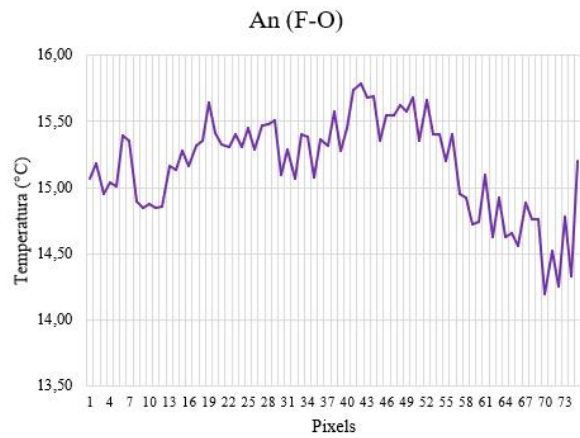
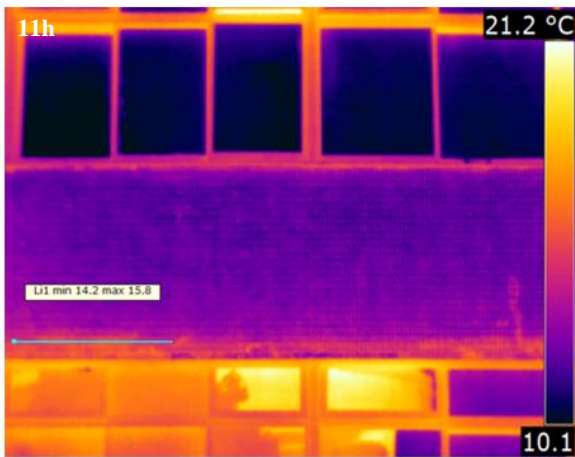
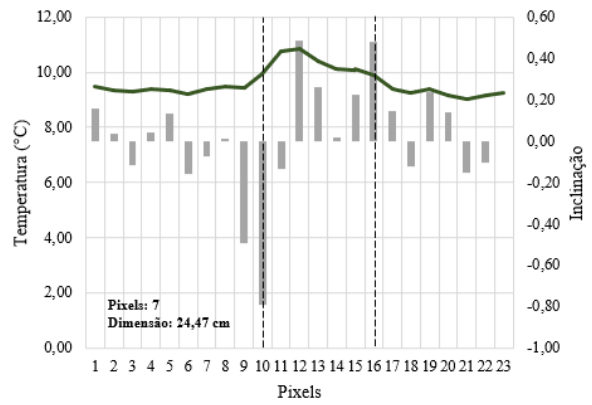




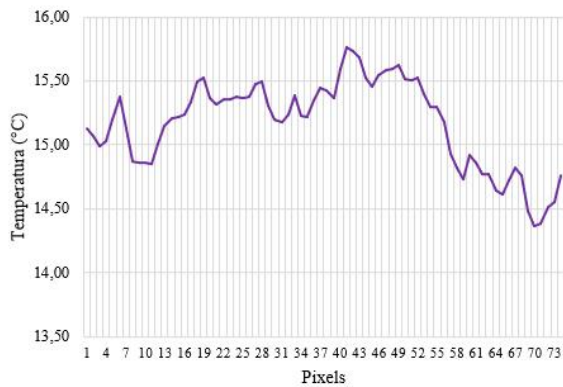
An (E-O) média móvel



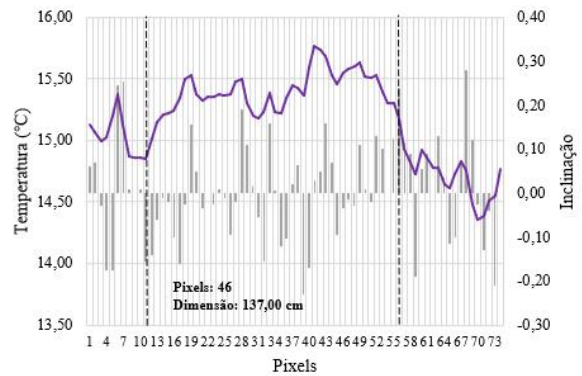
Dimensão An (E-O)



An (F-O) média móvel



Dimensão An (F-O)



Apêndice L - Capacidade de detecção das anomalias em função da TSA_{REF} E1

Orientação de fachada	Ciclo de avaliação	Horário (h)	Anomalia A			Anomalia B		
			CAP vis	Delta T (°C)	Delta Tcor (°C/°C)	CAP vis	Delta T (°C)	Delta Tcor (°C/°C)
Norte	Ciclo A	07:40	OK	<u>0,49</u>	<u>0,020</u>	OK	0,68	0,028
		08:30	OK	0,99	0,037	OK	0,73	0,028
		09:30	OK	0,58	0,020	OK	0,78	0,030
		10:30	OK	0,93	0,030	OK	<u>0,53</u>	<u>0,018</u>
	Ciclo B	16:50	OK	-2,97	-0,083	OK	-0,34	-0,010
		17:30	OK	-2,16	-0,066	OK	<u>-0,31</u>	<u>-0,010</u>
		18:20	OK	<u>-1,87</u>	<u>-0,063</u>	OK	-0,38	-0,014
		19:10	NO	-1,64	-0,059	OK	-0,47	-0,018
		20:00	NO	-0,83	-0,033	OK	-0,41	-0,017
Sul	Ciclo A	07:40	OK	1,27	0,051	OK	<u>0,25</u>	<u>0,010</u>
		08:30	OK	<u>1,07</u>	<u>0,040</u>	OK	0,65	0,025
		09:30	OK	1,26	0,048	OK	0,67	0,025
		10:30	OK	1,25	0,044	NO	0,60	0,020
	Ciclo B	16:50	NO	0,57	0,027	OK	<u>0,33</u>	<u>0,016</u>
		17:30	OK	<u>0,72</u>	<u>0,036</u>	NO	0,50	0,026
		18:20	OK	1,18	0,066	NO	0,40	0,024
		19:10	NO	0,83	0,045	NO	0,28	0,016
		20:00	NO	0,87	0,047	OK	0,62	0,036
Leste	Ciclo A	07:40	OK	<u>0,21</u>	<u>0,009</u>	NO	0,55	0,022
		08:30	NO	0,14	0,005	NO	-	-
		09:30	OK	0,61	0,019	OK	0,96	0,025
		10:30	OK	0,42	0,012	OK	<u>0,55</u>	<u>0,014</u>
	Ciclo B	16:50	NO	-0,84	-0,032	OK	-0,38	-0,014
		17:30	OK	-0,77	-0,031	OK	<u>-0,29</u>	<u>-0,011</u>
		18:20	OK	-0,71	-0,030	OK	-0,40	-0,016
		19:10	NO	-0,60	-0,025	NO	-0,48	-0,020
		20:00	OK	<u>-0,70</u>	<u>-0,030</u>	OK	-0,44	-0,018
Oeste	Ciclo A	07:40	OK	<u>0,36</u>	<u>0,014</u>	OK	<u>0,45</u>	<u>0,018</u>
		08:30	OK	0,42	0,016	NO	0,38	0,014
		09:30	OK	0,67	0,024	NO	0,35	0,012
		10:30	OK	0,60	0,019	OK	0,78	0,025
	Ciclo B	16:50	OK	-1,93	-0,069	OK	-2,68	-0,091
		17:30	OK	-1,54	-0,060	OK	<u>-1,41</u>	<u>-0,053</u>
		18:20	OK	<u>-1,50</u>	<u>-0,066</u>	NO	-1,00	-0,042
		19:10	NO	-1,33	-0,060	NO	-0,02	-0,001
		20:00	NO	-0,96	-0,044	NO	-0,20	-0,009

Apêndice M - Capacidade de detecção das anomalias em função da TSA_{REF} E2

Orientação de fachada	Ciclo de avaliação	Horário (h)	Anomalia C			Anomalia D		
			CAP _{vis}	Delta T (°C)	Delta T _{cor} (°C/°C)	CAP _{vis}	Delta T (°C)	Delta T _{cor} (°C/°C)
Norte	Ciclo A	07:00	OK	0,48	0,042	OK	1,55	0,115
		08:00	OK	0,61	0,035	OK	1,11	0,065
		09:00	OK	1,42	0,069	OK	1,63	0,077
		10:00	OK	0,70	0,027	OK	1,25	0,047
		11:00	OK	1,71	0,058	OK	1,02	0,033
	12:00	OK	1,98	0,062	OK	1,17	0,035	
	Ciclo B	16:50	OK	0,28	0,009	OK	-1,23	-0,039
		17:10	NO	0,08	0,003	OK	-1,24	-0,043
		18:30	NO	-0,01	0,000	NO	-0,91	-0,037
		19:20	NO	0,02	0,001	NO	-0,40	-0,017
20:00		NO	0,01	0,000	NO	-0,23	-0,010	
Leste	Ciclo A	07:00	NO	0,19	0,013	OK	0,68	0,051
		08:00	-	-	-	-	-	-
		09:00	OK	1,54	0,059	OK	2,19	0,086
		10:00	OK	1,40	0,049	OK	1,13	0,039
		11:00	OK	0,19	0,007	OK	1,30	0,046
	12:00	OK	0,72	0,028	OK	0,66	0,025	
	Ciclo B	16:50	OK	0,37	0,016	OK	0,43	0,018
		17:10	NO	0,33	0,015	OK	0,37	0,016
		18:30	NO	0,43	0,020	OK	0,45	0,021
		19:20	NO	0,29	0,014	NO	0,57	0,027
20:00		NO	0,71	0,036	NO	0,70	0,035	
Oeste	Ciclo A	07:00	OK	0,54	0,043	OK	0,71	0,055
		08:00	OK	0,43	0,030	OK	1,15	0,081
		09:00	OK	0,35	0,023	OK	0,66	0,043
		10:00	OK	0,26	0,015	OK	0,72	0,043
		11:00	OK	0,11	0,005	OK	0,45	0,023
	12:00	OK	0,57	0,030	OK	0,31	0,016	
	Ciclo B	16:50	OK	1,26	0,043	OK	1,14	0,040
		17:10	OK	0,88	0,035	OK	1,24	0,049
		18:30	NO	0,57	0,026	OK	1,44	0,064
		19:20	OK	0,47	0,023	OK	1,43	0,067
20:00		OK	0,39	0,020	OK	1,40	0,068	

Apêndice N - Capacidade de detecção das anomalias em função da TSA_{REF} E3

Orientação de fachada	Ciclo de avaliação	Horário (h)	Anomalia C			Anomalia D			
			CAP _{vis}	Delta T (°C)	Delta T _{cor} (°C/°C)	CAP _{vis}	Delta T (°C)	Delta T _{cor} (°C/°C)	
Norte	Ciclo A	07:00	OK	0,30	0,015	NO	0,16	0,008	
		08:00	OK	0,65	0,028	OK	0,49	0,021	
		09:00	OK	0,46	0,017	OK	0,54	0,020	
		10:00	OK	0,79	0,026	OK	0,59	0,020	
		11:00	OK	0,60	0,018	OK	0,69	0,021	
		12:00	OK	0,88	0,024	OK	0,18	0,005	
	Ciclo B	16:40	OK	-0,60	-0,014	NO	-0,05	-0,001	
		17:30	OK	-0,56	-0,014	OK	-0,14	-0,003	
		18:20	OK	-1,58	-0,045	OK	-0,13	-0,004	
		19:10	NO	-1,30	-0,039	NO	0,02	0,001	
		20:00	NO	-1,32	-0,040	NO	0,01	0,000	
Sul	Ciclo A	07:00	NO	0,70	0,069	NO	0,52	0,038	
		08:00	NO	0,61	0,055	NO	0,24	0,016	
		09:00	OK	1,30	0,104	OK	-0,18	-0,011	
		10:00	OK	0,90	0,068	OK	-0,06	-0,004	
		11:00	OK	0,68	0,050	OK	0,09	0,006	
		12:00	OK	0,69	0,046	OK	0,15	0,009	
	Ciclo B	16:40	NO	0,28	0,016	OK	0,11	0,005	
		17:30	OK	0,45	0,026	OK	0,06	0,003	
		18:20	OK	0,54	0,034	OK	0,13	0,006	
		19:10	NO	0,46	0,030	OK	0,34	0,017	
		20:00	NO	0,56	0,038	OK	0,23	0,012	
Leste	Ciclo A	07:00	-	-	-	-	-	-	
		08:00	-	-	-	-	-	-	
		09:00	OK	0,40	0,015	-	-	-	
		10:00	OK	0,45	0,016	OK	1,00	0,032	
		11:00	OK	0,47	0,018	OK	1,00	0,034	
		12:00	OK	-0,04	-0,002	OK	0,94	0,036	
	Ciclo B	16:40	NO	-0,16	-0,008	OK	0,00	0,000	
		17:30	NO	-0,04	-0,002	NO	0,02	0,001	
		18:20	OK	-0,76	-0,043	OK	-0,40	-0,020	
		19:10	-	-	-	-	-	-	
		20:00	NO	-0,63	-0,038	OK	-0,21	-0,011	
Oeste	Ciclo A	07:00	OK	0,92	0,116	OK	2,62	0,209	
		08:00	OK	0,83	0,105	OK	2,50	0,209	
		09:00	OK	1,10	0,126	OK	2,27	0,186	
		10:00	OK	0,88	0,072	OK	2,04	0,149	
		11:00	OK	0,96	0,083	OK	1,79	0,120	
		12:00	OK	0,84	0,066	OK	1,46	0,087	
	Ciclo B	16:40	OK	0,32	0,012	NO	-0,10	-0,004	
		17:30	OK	0,21	0,010	OK	0,71	0,032	
		18:20	NO	0,25	0,014	OK	1,25	0,061	
		19:10	NO	0,38	0,025	OK	1,50	0,079	

20:00	NO	0,54	0,039	OK	1,74	0,098
-------	----	------	-------	----	------	-------