

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Eleandro de Souza Feijó

**ESTUDO COMPARATIVO DE PAINÉIS REVESTIDOS COM
ARGAMASSA ATRAVÉS DE IMAGENS NO
INFRAVERMELHO TERMAL**

Porto Alegre
julho 2013

ELEANDRO DE SOUZA FEIJÓ

**ESTUDO COMPARATIVO DE PAINÉIS REVESTIDOS COM
ARGAMASSA ATRAVÉS DE IMAGENS NO
INFRAVERMELHO TERMAL**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientadora: Angela Borges Masuero

Porto Alegre
julho 2013

ELEANDRO DE SOUZA FEIJÓ

**ESTUDO COMPARATIVO DE PAINÉIS REVESTIDOS COM
ARGAMASSA ATRAVÉS DE IMAGENS NO
INFRAVERMELHO TERMAL**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Professora Orientadora e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, julho de 2013

Profa. Angela Borges Masuero
Dra. pela UFRGS
Orientadora

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Rochelle Schneider dos Santos (UFRGS)
Arquiteta pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Carina Stolz (UFRGS)
Mestre pela Universidade Federal do Rio grande do Sul

Professora Angela Borges Masuero (UFRGS)
Dra. pela Universidade Federal do Rio grande do Sul

Dedico este trabalho a meus pais, Artur e Elsa, a minha esposa Izabel, a minha filha Danielle que sempre me apoiaram e especialmente durante o período do curso de Graduação estiveram ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho foi possível graças a contribuição, a ajuda, a amizade e ao incentivo de diversas pessoas em diferentes momentos de sua execução.

Agradeço à minha família pela paciência e pelo incentivo em todas as etapas do trabalho.

Agradeço à Professora Orientadora Dra. Angela Borges Masuero, pela oportunidade de desenvolver este trabalho de conclusão e pelo incentivo em todas as etapas do projeto.

Agradeço à Professora Dra. Carin Maria Schmitt pelo auxílio em todas as fases de elaboração do trabalho.

Agradeço aos colegas da turma de 2007 pelo companheirismo e amizade.

Agradeço aos Professores e a Direção da Escola de Engenharia da UFRGS pelo apoio e incentivo em todas etapas do trabalho.

Agradeço às amigas do Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia pelo apoio durante toda a jornada: Mônica, Magdalena.

Agradeço aos Professores do Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Prof. Dr. Laurindo, Prof. Dr. Jorge Ricardo Ducati pela disponibilidade dos Laboratórios.

Quando tentamos pegar apenas uma coisa, descobrimos
que ela está presa a todo resto do Universo.

John Muir

RESUMO

O estudo da radiação infravermelha emitida por todos os corpos com temperaturas acima do zero absoluto é um fato conhecido e amplamente estudado desde o século XIX. A aplicação desse conhecimento as estruturas desenvolvidas na área da Engenharia Civil é recente. Tendo em vista que muitas das análises são realizadas visualmente e que diferenças de temperatura da ordem de centésimos de graus kelvin podem ser detectadas pela câmara infravermelha decidiu-se desenvolver e apresentar um método baseado na análise digital das imagens geradas pelo sensor infravermelho. Desse modo, esse trabalho justifica-se pela apresentação e desenvolvimento de um método que pode ser aplicado à análise da RIE por estruturas que utilizem revestimento de argamassa. O método teve como foco a análise de padrões da RIE por painéis constituídos de blocos cerâmicos que receberam uma camada de argamassa. Nesse trabalho foram utilizadas imagens fornecidas pela câmara FLIR T400 nas regiões correspondentes a radiação visível e ao infravermelho termal com o objetivo de apresentar métodos de análise de painéis de argamassa. O trabalho foi realizado em duas etapas. Na primeira foram construídos quatro painéis de blocos cerâmicos revestidos com argamassa de traços diferentes e mesma espessura de revestimento. Na segunda etapa, foram construídos dois painéis constituídos de blocos cerâmicos que receberam uma camada argamassa com o mesmo traço, porém com espessuras de revestimento diferentes e sob cada revestimento foi inserida uma manifestação patológica artificial. Durante a fase de análise das imagens foram utilizados o *software* fornecido pelo fabricante da câmara, bem como outros programas para a análise digital de imagens. O método utilizado nesse trabalho baseou-se na análise da RIE pelos painéis de argamassa em situações controladas. Na primeira fase, a coleta de informações ocorreu numa câmara com temperatura e umidade relativa controlada. Na segunda etapa, a coleta de informações ocorreu em ambiente sem o controle de temperatura e umidade relativa. Dessa forma, verificou-se que através da análise digital e do tratamento estatístico das imagens pode-se detectar pequenas variações nos padrões da RIE pelos painéis, bem como localizar e delimitar manifestações patológicas induzidas sob uma camada de revestimento de argamassa.

Palavras-chave: Manifestações Patológicas, Revestimento de Argamassa, Radiação Infravermelha Emitida por Painéis de Argamassa; Termografia Aplicada a Engenharia Civil; Análise Digital de Imagens Infravermelhas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação esquemática do delineamento da pesquisa.....	17
Figura 2 – Base e painéis de argamassa.....	18
Figura 3 – Espectro eletromagnético.....	20
Figura 4 – Espectro luminoso.....	25
Figura 5 – Imagem obtida com o sensor infravermelho da câmara termográfica.....	26
Figura 6 – Etapas do processamento de Imagens.....	29
Figura 7 – Resolução de sensores de imageamento	31
Figura 8 – Sistemas de revestimentos.....	34
Figura 9 – Principais constituintes da argamassa.....	35
Figura 10 – Propriedades da argamassa.....	36
Figura 11 – Mecanismo de aderência da argamassa ao substrato.....	38
Figura 12 – Preparação dos traços de argamassa.....	40
Figura 13 – Estrutura composta de blocos cerâmicos.....	44
Figura 14 – Painel revestido de argamassa.....	44
Figura 15 – Thermo-higrômetro TH-02 máx-mín MT-240.....	45
Figura 16 – Controle da temperatura e umidade relativa da câmara na 1ª fase.....	47
Figura 17 – Câmara infravermelha FLIR T400.....	47
Figura 18 – RIE pelos painéis na 1ª fase do projeto.....	51
Figura 19 – Painel de argamassa de traço T1 confinado na câmara climatizada.....	52
Figura 20 – Detalhe da manifestação patológica artificial.....	53
Figura 21 – Espessura do emboço – vista lateral.....	53
Figura 22 – Radiação infravermelha emitida pelo painel com emboço de 1,5 cm.....	54
Figura 23 – Radiação infravermelha emitida pelo painel com emboço de 3,0 cm.....	54
Figura 24 – Informações fornecidas pelo <i>software</i> FLIR QuickReport 1.2.....	55
Figura 25 – Gráfico da relação entre a temperatura máxima e o traço.....	58
Figura 26 – Imagem após o tratamento com o <i>software</i> FLIR QuickReport 1.2.....	59
Figura 27 – Contornos da manifestação patológica artificial IR-2121.....	59
Figura 28 – Gráfico da relação entre a temperatura média com o traço.....	61
Figura 29 – Gráfico da temperatura média dos traços T1 e T2 no decorrer do tempo.....	63
Figura 30 – Gráfico da temperatura média dos traços T1 e T3 no decorrer do tempo.....	64
Figura 31 – Gráfico da temperatura média dos traços T1 e T4 no decorrer do tempo.....	66
Figura 32 – Gráfico da temperatura média dos traços T3 e T4 no decorrer do tempo.....	67
Figura 33 – Gráfico da temperatura média dos traços T2 e T3 no decorrer do tempo.....	68

Figura 34 – Gráfico da temperatura média dos traços T2 e T4 no decorrer do tempo..... 71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação da radiação infravermelha.....	24
Tabela 2 – Traços da argamassa utilizada.....	42
Tabela 3 – Proporcionamento.....	43
Tabela 4 – Temperatura e umidade relativa da câmara climatizada na 1ª fase do projeto	45
Tabela 5 – Temperatura e umidade relativa do ambiente na 2ª fase do projeto.....	46
Tabela 6 – Aquisição de imagens na 1ª fase do projeto.....	49
Tabela 7 – Aquisição de imagens na 2ª fase do projeto.....	51
Tabela 8 – Temperaturas máximas e mínimas.....	56
Tabela 9 – Temperaturas médias.....	60
Tabela 10 – Hipóteses.....	61
Tabela 11 – ANOVA – fator único.....	62
Tabela 12 – Hipóteses adotadas na comparação das médias MT1 e MT2.....	62
Tabela 13 – Teste t para comparação de MT1 e MT2.....	63
Tabela 14 – Hipóteses adotadas na comparação das médias MT1 e MT3.....	64
Tabela 15 – Teste t para comparação de MT1 e MT3.....	65
Tabela 16 – Hipóteses adotadas na comparação das médias MT1 e MT4.....	65
Tabela 17 – Teste t para comparação de MT1 e MT4.....	66
Tabela 18 – Hipóteses adotadas na comparação das médias MT3 e MT4.....	67
Tabela 19 – Teste t para comparação de MT3 e MT4.....	68
Tabela 20 – Hipóteses adotadas na comparação das médias MT2 e MT3.....	68
Tabela 21 – Teste t para comparação de MT2 e MT3.....	69
Tabela 22 – Hipóteses adotadas na comparação das médias MT2 e MT4.....	70
Tabela 23 – Teste t para comparação de MT2 e MT4.....	71
Tabela 24 – <i>P-value</i> do teste t para comparação das temperaturas médias.....	72

LISTA DE SIGLAS

ABCP –	Associação Brasileira de Cimento Portland
EE –	Escola de Engenharia
DECIV –	Departamento de Engenharia Civil
IFOV –	<i>instantaneous field-of-view</i>
Norie –	Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação
UFRGS –	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
RIE –	Radiação Infravermelha Emitida
Ci –	Cimento
Ca –	Cal
Ar –	Areia
LAMTAC –	Laboratório de Materiais e Tecnologia do Ambiente Construído

LISTA DE SÍMBOLOS

A –	área (m ²)
c –	velocidade da luz no vácuo (m.s ⁻¹)
E –	energia (J)
F –	frequência (Hz)
h –	constante de Planck (J.s)
K –	constante de Boltzmann (J.K ⁻¹)
R _t –	Radiância espectral total (W.m ⁻²)
T –	temperatura (K)
T –	temperatura (°C)
ε –	Emissividade
λ –	Comprimento de onda (m)
Σ –	Constante de Stefan-Boltzmann (W.m ⁻² .K ⁻⁴)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 DIRETRIZES DA PESQUISA.....	15
2.1 QUESTÃO DA PESQUISA.....	15
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA.....	15
2.2.1 Objetivo principal.....	15
2.2.2 Objetivos secundários.....	15
2.3 DELIMITAÇÕES.....	16
2.4 LIMITAÇÕES.....	16
2.5 DELINEAMENTO.....	16
3 RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA	20
3.1 RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO.....	21
3.2 RADIAÇÃO INFRAVERMELHA.....	24
3.3 RADIAÇÃO VISÍVEL.....	24
3.4 SENSOR INFRAVERMELHO	26
4 PROCESSAMENTO DE IMAGENS.....	29
4.1 ETAPAS DO PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS.....	29
4.2 RESOLUÇÃO DAS IMAGENS	31
4.3 ELEMENTOS DE UMA IMAGEM DIGITAL.....	32
5 REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA	33
5.1 ELEMENTOS E SISTEMAS DE REVESTIMENTO DE ARGAMASSA.....	33
5.2 PRINCIPAIS CONSTITUINTES DA ARGAMASSA	35
5.3 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA.....	36
5.3.1 Propriedades da argamassa no estado fresco.....	37
5.3.2 Propriedades da argamassa no estado endurecido.....	38
6 ELEMENTOS DE ESTATÍSTICA.....	39
6.1 HISTOGRAMA DE UMA IMAGEM.....	39
6.2 TESTE DE HIPÓTESES.....	39
6.2.1 Análise de variância.....	40
6.2.2 Teste t.....	40
7 MATERIAIS.....	42
7.1 DEFINIÇÃO DOS TRAÇOS.....	42
7.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	42

7.3 PREPARAÇÃO DOS ALVOS.....	43
7.4 INSTRUMENTOS DE MEDIDA.....	45
7.5 CÂMARA CLIMATIZADA.....	46
7.6 CÂMARA INFRAVERMELHA.....	47
7.7 <i>SOFTWARE</i>	48
8 METODOLOGIA.....	49
8.1 ANÁLISE DAS IMAGENS.....	55
9 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73
9.1 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	74
9.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	74
REFERÊNCIAS	76
ANEXO A	77

1 INTRODUÇÃO

O estudo da radiação infravermelha emitida por todos os corpos com uma temperatura acima do zero absoluto é realizado por diversas áreas do conhecimento, tais como, a Medicina, a Engenharia e a Astronomia. No campo da Astronomia, muito se tem avançado no que se refere ao tratamento de imagens. A radiação emitida por alvos pode ser analisada e seus padrões podem ser relacionados a regiões características destes alvos. Através dessa análise, pode-se associar a determinados alvos uma assinatura espectral que o identificará em situações futuras. Na área da construção civil Barreira (2004, p. 77) afirma que:

A utilização da termografia na construção é ainda muito reduzida, apesar de poder ser utilizada como ferramenta de diagnóstico para, por exemplo, localizar fissuras e outras áreas degradadas em diversas estruturas, nomeadamente, em edifícios, diques, barragens e pontes. Nos edifícios, pode ser utilizada na manutenção e reabilitação, pois permite a identificação de defeitos e a realização de estudos de desempenho térmico de elementos construtivos ou do próprio edifício.

Enquanto que, na área do sensoriamento remoto Crosta (1992, p. 17) afirma que:

O sistema visual humano possui uma notável capacidade de reconhecer padrões. Contudo, ele dificilmente é capaz de processar o enorme volume de informação presente numa imagem. Vários tipos de degradações e distorções, inerentes aos processos de aquisição, transmissão e visualização de imagens, contribuem para limitar ainda mais essa capacidade do olho humano. O objetivo principal do processamento de imagens é o de remover essas barreiras, inerentes ao sistema visual humano, facilitando a extração de informações a partir de imagens.

Assim, considerando os trabalhos de Barreira (2004) e Crosta (1992), pretende-se ampliar o espectro de aplicações da análise de imagens no infravermelho através do desenvolvimento de um método para pré-selecionar regiões que possibilitem a identificação de padrões de radiação emitida por estruturas que receberam diferentes revestimentos de argamassa. Neste sentido, um sensor de radiação infravermelha será utilizado para caracterizar a radiação emitida com o revestimento, identificar diferentes traços de argamassa, bem como localizar e delimitar possíveis manifestações patológicas. Feijó (2001, p. 1) em sua dissertação menciona duas classes de sensores:

Os sensores podem ser classificados como ativos ou passivos. Os sensores ativos geram e enviam um sinal em direção ao alvo a ser analisado e recebem e registram o sinal de retorno após sua interação com o alvo. A relação entre o sinal enviado e o

recebido é utilizada para caracterizar o alvo. Como exemplos de sensores ativos podem ser citados os sensores de microondas ou radar. Os sensores passivos não geram nem transmitem um sinal, mas apenas detectam e registram a energia eletromagnética refletida ou emitida por um alvo. A magnitude e a forma do sinal são indicadores do estado e das condições do alvo. Câmaras e radiômetros são exemplos deste tipo de sensor.

No presente trabalho serão utilizados sensores passivos, isto é, aqueles que captam a radiação emitida pelas superfícies em estudo.

As imagens geradas a partir do sensor foram processadas através de um programa de tratamento de imagens e classificadas de acordo com o padrão observado. Através da análise da radiação emitida pelas imagens na região do espectro referente ao infravermelho médio é possível correlacionar a radiância espectral com o comprimento de onda. Os alvos foram selecionados a partir do tipo de argamassa de revestimento utilizada.

Tendo em vista a existência de diversos métodos de produção de argamassa e execução de revestimentos, a identificação de painéis de argamassa a partir de imagens no infravermelho pode contribuir para um incremento na qualidade dos revestimentos. O trabalho justifica-se também pela possibilidade de desenvolvimento de um método para a pré-seleção de áreas com possíveis manifestações patológicas. Ainda citando Barreira (2004, p. 87), “[...] as principais vantagens da termografia de infravermelhos são possibilitar o diagnóstico de defeitos em larga escala e ser uma metodologia de ensaio não-destrutiva, bastante rápida e eficaz.”.

Como resultado espera-se contribuir no desenvolvimento de um método que poderá ser utilizado para identificar padrões de radiação emitidos por revestimentos de argamassa a partir do tratamento e da análise de imagens no infravermelho.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: que método pode ser adotado para identificar padrões de radiação infravermelha emitida por revestimentos de argamassa a partir do tratamento e análise de imagens no infravermelho?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundários e são descritos a seguir.

2.2.1 Objetivo Principal

O objetivo principal do trabalho é o desenvolvimento e a apresentação de um método para a análise da radiação emitida por painéis de blocos cerâmicos revestidos com argamassa de diferentes traços através de imagens obtidas na região do infravermelho.

2.2.2 Objetivos secundários

Os objetivos secundários do trabalho são:

- a) diferenciação de argamassas, com determinados traços, através da análise de imagens no infravermelho;
- b) localização e delimitação de manifestações patológicas a partir da radiação infravermelha emitida;

- c) classificação de imagens de acordo com padrões de resposta espectral através de um programa para o processamento digital de imagens.

2.3 DELIMITAÇÕES

A delimitação do trabalho é a análise de revestimentos de argamassa aplicado sobre painéis de blocos cerâmicos cobertos por uma camada de chapisco tradicional no traço 1:3.

2.4 LIMITAÇÕES

O trabalho tem como condições de contorno regiões do espectro eletromagnético, a base constituída de blocos cerâmicos, as condições de temperatura e umidade relativa e o número de traços de argamassa selecionados para análise. A região do visível que se situa entre 0,4 μm e 0,75 μm e a região do infravermelho entre 7,5 μm e 13 μm , foram escolhidas a partir da câmara disponível para coletar as imagens. Nesta pesquisa foram utilizados quatro traços de argamassa foram escolhidos entre os de aplicação mais frequente em revestimentos e aplicados em uma única camada sobre a base.

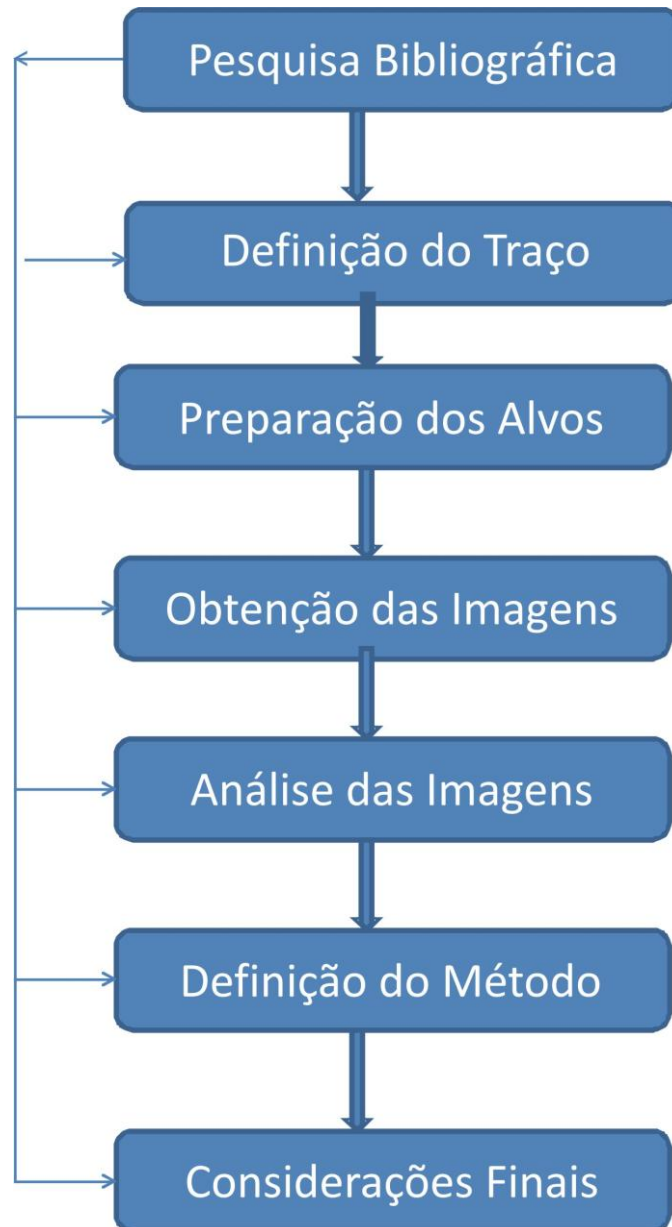
2.5 DELINEAMENTO

As etapas do trabalho são descritas a seguir e representadas na figura 1:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) definição dos traços das argamassas de revestimento;
- c) preparação dos alvos;
- d) obtenção das imagens;
- e) análise das imagens;
- f) desenvolvimento do método;
- g) considerações finais.

A pesquisa bibliográfica teve como base a análise de livros, normas, artigos e trabalhos acadêmicos que abordam os temas necessários para que este trabalho atinja os objetivos propostos. Os temas centrais foram revestimentos de argamassa, processamento digital de imagens, sensoriamento remoto no infravermelho e no visível.

Figura 1– Representação esquemática do delineamento da pesquisa

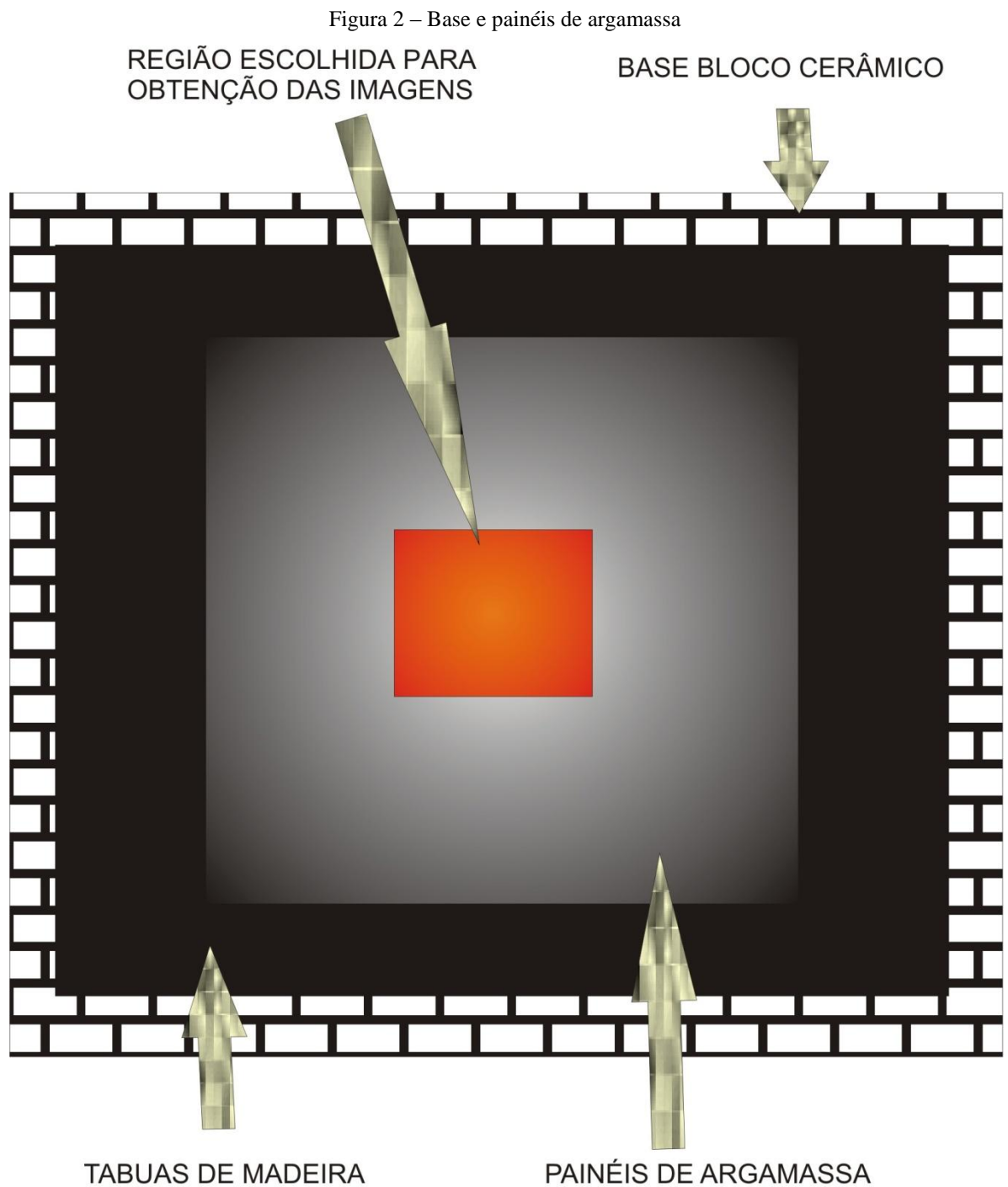


(fonte: elaborado pelo autor)

Após a revisão bibliográfica o proporcionamento foi obtido a partir dos traços de aplicação mais frequente.

A preparação dos alvos envolveu a construção de três painéis que tem como principal função servir de substrato e que, posteriormente, receberam uma camada de argamassa. Cada painel recebeu uma camada de argamassa nas duas faces. Os painéis foram construídos com blocos

cerâmicos e, após o chapisco, cada painel recebeu uma camada de argamassa de determinado traço em massa única conforme mostra a figura 2.



(fonte: elaborado pelo autor)

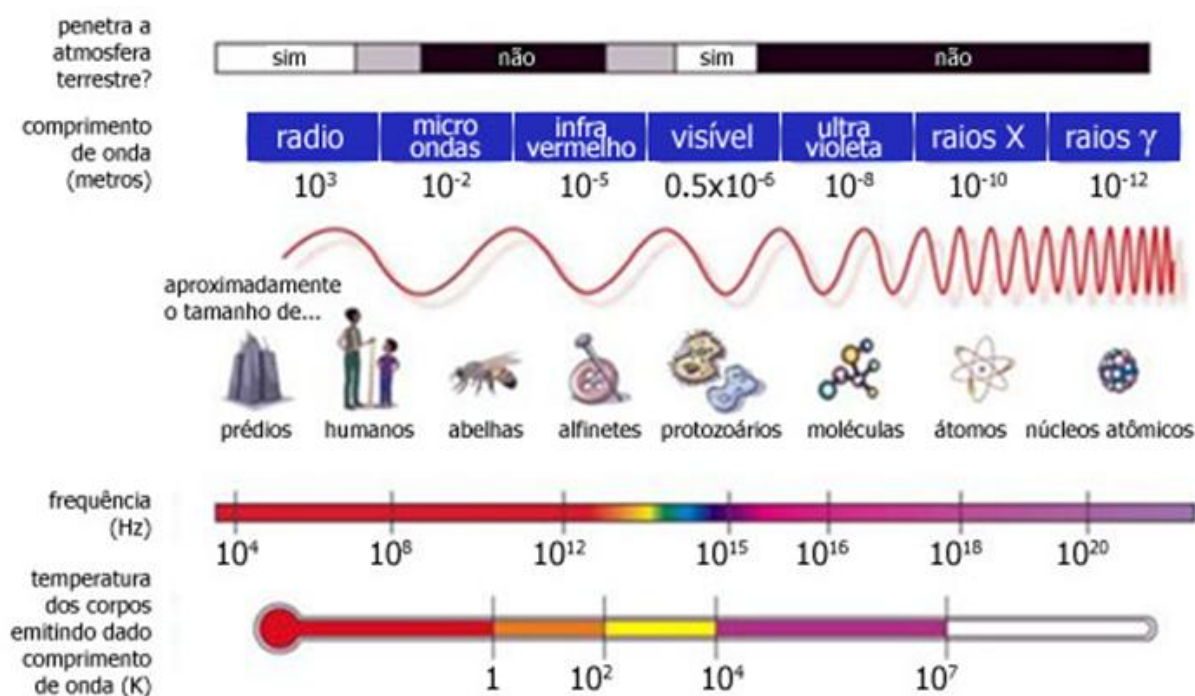
A obtenção de imagens foi feita através de uma câmara com sensores para radiação visível e infravermelha disponível no Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. As imagens foram analisadas visualmente e através software específico para processamento digital de imagens. A análise das imagens teve como foco relacionar a radiação emitida nos diversos comprimentos de onda captados pelo instrumento de medida com o respectivo revestimento de argamassa.

O método e suas etapas foram estabelecidos durante o desenvolvimento da pesquisa. Após o desenvolvimento da pesquisa foram feitas as considerações finais.

3 RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA

O espectro eletromagnético é composto de uma ampla faixa de radiações que abrangem desde comprimentos de onda mais longos e frequências mais baixas como as ondas de rádio até a radiação gama que possui comprimento de onda mais curto e frequências mais altas, como mostra a figura 3.

Figura 3 – Espectro Eletromagnético



(fonte: BRITO, 2013)

A primeira linha da figura 3 mostra os comprimentos de onda que penetram na atmosfera terrestre. A segunda, especifica os tipos de radiação, ondas de rádio, microondas, infravermelho, visível, ultravioleta, raios X e raios gama. Na terceira linha, é apresentada uma escala aproximada que compara o comprimento de onda com algumas estruturas conhecidas. A quarta linha apresenta a frequência associada a cada tipo de radiação emitida. E, na última linha, é apresentada a temperatura que pode ser associada a cada tipo de radiação e, conseqüentemente, a sua frequência e comprimento de onda.

Neste capítulo serão apresentados os princípios que servirão de base para o desenvolvimento do presente trabalho. Esses princípios englobam as noções de radiação do corpo negro, infravermelha e visível.

3.1 RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO

Um corpo negro pode ser definido como uma porção do espaço, com fronteiras perfeitamente definidas, que absorve toda a energia sobre ela incidente. De outro modo, Barreira (2004, p. 37) explica que “A emissão térmica dos sólidos está relacionada com a noção de corpo negro, definido como um objeto que absorve toda a radiação que sobre ele incida, para qualquer comprimento de onda.”.

A explicação matemática e estatística da emissão de radiação por um corpo negro pode ser dada levando em conta diversas expressões desenvolvidas ao longo do último século. Entre estas se destacam a Lei de Planck (fórmulas 1 e 2), a Lei de Wien (fórmulas 3 e 4) e a Lei de Stefan-Boltzmann (fórmula 5).

A Lei de Planck considera que a energia é emitida de forma quantificada e considera que um *quantum* corresponde a energia dada pela fórmula 1:

$$E = h.f \quad \text{(fórmula 1)}$$

Onde:

$h=6,626176,10^{-34}$	[J.s]	constante de Planck
F	[Hz]	frequência
E	[J]	energia

A Lei de Planck que permite determinar o poder emissivo ou a radiância espectral de um corpo negro é dada pela fórmula 2:

$$\frac{dR(\lambda, T)}{d\lambda} = \frac{2 \cdot \pi \cdot h \cdot c^2 \cdot \lambda^{-5}}{\exp\left(\frac{h \cdot c}{\lambda \cdot k \cdot T}\right) - 1} \quad (\text{fórmula 2})$$

Onde:

$\frac{dR(\lambda, T)}{d\lambda}$	[W.m ⁻³]	radiância espectral por unidade de superfície do corpo negro e por comprimento de onda
h=6,626176.10 ⁻³⁴	[J.s]	constante de Planck
k=1,380662.10 ⁻²³	[J.K ⁻¹]	constante de Boltzmann
c=2,998.10 ⁸	[m.s ⁻¹]	velocidade da luz
T	[K]	temperatura absoluta do corpo negro

A Lei do deslocamento de Wien, que estabelece que o comprimento de onda máximo é inversamente proporcional a temperatura absoluta, é dada pela fórmula 3:

$$\lambda_{\text{máx}} = \frac{2898}{T} \quad (\text{fórmula 3})$$

Onde:

T	[K]	temperatura absoluta do corpo negro
λ	[μm]	comprimento de onda

Batista e Dias (2005, p. 15) exemplificam de forma simples essa Lei colocando que:

Um outro aspecto relativo à emissão da radiação em função da temperatura é que quanto maior a temperatura, o pico de emissão máxima se desloca para comprimentos de onda menores, ou seja o comprimento de onda correspondente à emissão máxima será menor. Esse fato é conhecido como lei de deslocamento de Wien. Dessa forma o sol emite o máximo de radiação em 0,5 μm , enquanto a Terra, a uma temperatura bem menor, emite o máximo em 10 μm .

Outra expressão estabelecida por Wien, apresentada pela fórmula 4, é a relação entre a radiância espectral e o comprimento de onda máximo é diretamente proporcional a temperatura absoluta elevada à quinta potência:

$$\frac{dR(\lambda, T)}{d\lambda} = 1,286 \cdot 10^{-5} \cdot T^5 \quad (\text{fórmula 4})$$

Onde:

T	[K]	temperatura absoluta do corpo negro
$\frac{dR(\lambda, T)}{d\lambda}$	[W.m ⁻³]	radiância espectral ou poder emissivo por unidade de superfície do corpo negro e por comprimento de onda

Considerando que a emissão de um corpo negro é isotrópica, a radiância espectral total pode ser determinada pela Lei de Stefan-Boltzmann. Nesse caso, a radiância total, dada pela fórmula 5, é diretamente proporcional a quarta potência da temperatura absoluta:

$$R_t = \sigma \cdot T^4 \quad (\text{fórmula 5})$$

Onde:

R _t	[W.m ⁻²]	radiância espectral total do corpo negro
$\sigma = \frac{2 \cdot \pi^5 \cdot k^4}{15 \cdot c^2 \cdot h^3} = 5,67 \cdot 10^{-8}$	[W.m ⁻² .K ⁻⁴]	constante de Stefan-Boltzmann
T	[K]	temperatura absoluta do corpo negro

3.2 RADIAÇÃO INFRAVERMELHA

A região do espectro eletromagnético que refere-se a radiação infravermelha estende-se de uma faixa de frequências que variam de $4,00 \cdot 10^{14}$ Hz até $3,00 \cdot 10^{11}$ Hz e pode ser dividido em quatro regiões, o infravermelho próximo, médio, distante e longínquo, como mostra a tabela 1.

Tabela 1 – Classificação da radiação infravermelha

Infravermelho	Frequência (Hz)		Comprimento de onda (μm)	
	Próximo	4×10^{14}	1×10^{14}	0,75
Médio	1×10^{14}	5×10^{13}	3	6
Distante	5×10^{13}	2×10^{13}	6	15
Longinquo	2×10^{13}	3×10^{11}	15	1000

(fonte: elaborado pelo autor)

Batista e Dias (2005, p. 13-14) propõem outra divisão:

A região do infravermelho pode ser dividida em infravermelho próximo, médio e termal. O infravermelho está fora do alcance da nossa observação visual quando observado diretamente com nossos olhos. Entretanto, ele pode ser medido por diversos sensores. O infravermelho próximo inicia exatamente após a porção do espectro eletromagnético referente ao vermelho. O infravermelho médio tem comprimentos de onda maiores do que o infravermelho próximo, mas pode ser ainda considerado como pertencente à porção óptica do espectro eletromagnético. O infravermelho termal tem os maiores comprimentos de onda da região do infravermelho e não faz parte mais da porção óptica e sim daquilo que chamamos de calor. Tanto a porção óptica, quanto a do calor são exploradas pelas técnicas de sensoriamento remoto.

3.3 RADIAÇÃO VISÍVEL

Outra região de interesse nesse estudo refere-se ao espectro óptico. O espectro óptico ou a região visível do espectro eletromagnético situa-se entre os comprimentos de onda que variam entre $0,39 \mu\text{m}$ e $0,75 \mu\text{m}$.

A faixa de comprimento de onda do espectro eletromagnético, mostrada na figura 4, pode ser associada a cor do objeto como Batista e Dias (2005, p. 13-14) explicam:

As cores que vemos num objeto são dependentes dos comprimentos de onda que são refletidos por ele. Por exemplo, quando toda ou a maior parte da radiação referente à região do visível que atinge um objeto é refletida de volta, sua aparência será de cor branca. É por isso vemos areias claras em imagens ou fotografias aéreas.

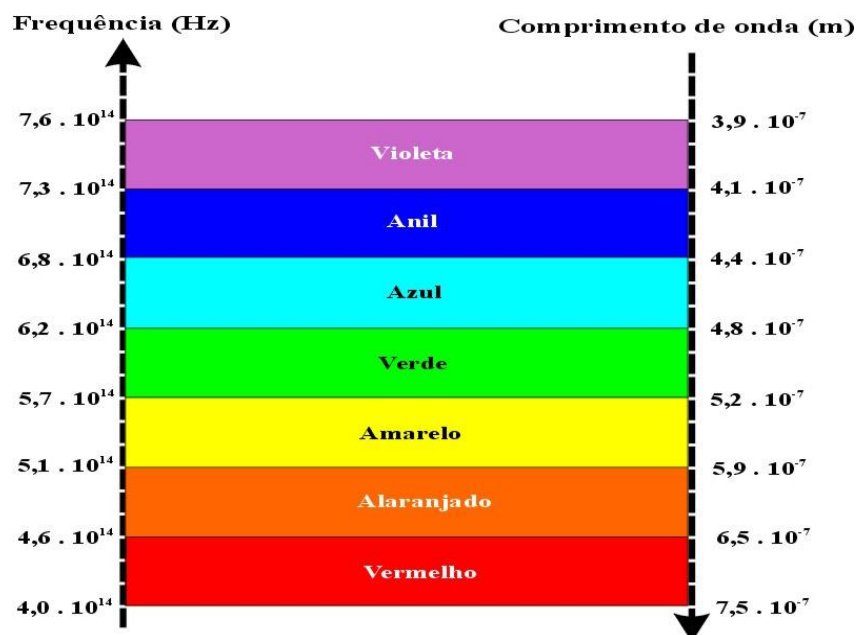
A equação fundamental da ondulatória, dada pela fórmula 6, relaciona a velocidade V com a frequência F e o comprimento de onda λ :

$$V = \lambda.F \quad (\text{fórmula 6})$$

Onde:

V	$[\text{m.s}^{-1}]$	velocidade
F	$[\text{Hz}]$	frequência
λ	$[\text{m}]$	comprimento de onda

Figura 4 – Espectro Luminoso



(fonte: PAULA, 2011)

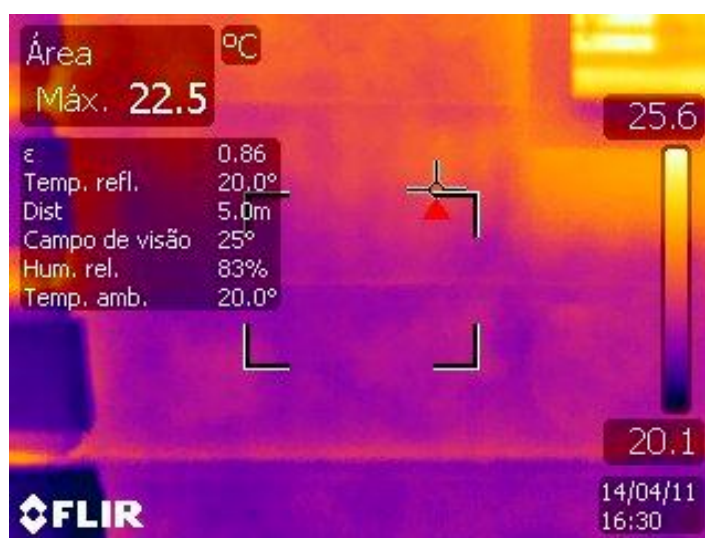
3.4 SENSOR INFRAVERMELHO

O sensor utilizado para a obtenção das imagens faz parte de uma câmara capaz de fornecer imagens na região do visível e do infravermelho. A câmara tem resolução espectral no infravermelho que se estende de 7,5 μm até 13 μm . A sensibilidade térmica envolve a identificação de variações de temperatura de 0,05 $^{\circ}\text{C}$, ou seja, 50 mK. Feijó (2001, p. 4-5) relaciona a resolução espacial com o campo instantâneo de visada da seguinte forma:

A resolução espacial está ligada à capacidade do sensor detectar um alvo. A resolução espacial mede a menor separação angular ou linear entre dois objetos, isto é, quanto maior a resolução espacial maior é a capacidade do sensor em detectar alvos menores. A resolução espacial pode ser quantificada através do IFOV (*instantaneous field-of-view*), ou em outras palavras pelo seu campo instantâneo de visada, que é o ângulo formado pela projeção geométrica de um único elemento detector sobre a superfície do alvo.

No anexo A são apresentadas as características técnicas da câmara de imageamento FLIR T400. O IFOV da câmara é 1,36 mrad e o seu campo de visada é $25^{\circ} \times 19^{\circ}$ para uma distância mínima de 0,4 m. A figura 5 mostra uma imagem obtida com o sensor infravermelho da câmara termográfica que será utilizada neste trabalho. Destacam-se a faixa de temperaturas que varia de 20,1 até 25,6 $^{\circ}\text{C}$, a temperatura em que foi feita a imagem, a emissividade e a distância em que a imagem foi obtida. A variação de 5,5 $^{\circ}\text{C}$ na temperatura é compatível com a resolução radiométrica da câmara.

Figura 5 – Imagem obtida com a câmara termográfica



(fonte: imagem gerada pela câmara FLIR T 400)

3.4.1 Parâmetros da câmara infravermelha

Para o correto funcionamento da câmara alguns parâmetros devem ser introduzidos inicialmente. Os parâmetros que devem ser fornecidos são:

- a) emissividade
- b) temperatura aparente refletida
- c) distância entre o objeto e a câmara
- d) umidade relativa
- e) temperatura da atmosfera

O Manual do utilizador da FLIR Systems (2009, p. 239) da câmara termográfica, afirma que:

O principal parâmetro do objeto a definir corretamente é a emissividade que, sintetizando, consiste na medição da gama de radiação emitida pelo objeto, comparativamente à que é emitida por um corpo negro perfeito com a mesma temperatura.

Já sobre a temperatura aparente refletida o Manual do utilizador da FLIR Systems (2009, p. 243), coloca que:

Este parâmetro é utilizado para compensar a radiação refletida no objeto. Se a emissividade for baixa e a temperatura do objeto for relativamente diferente da refletida, será importante definir e compensar corretamente a temperatura aparente refletida.

A respeito da distância entre o objeto e a câmara o Manual do utilizador da FLIR Systems (2009, p. 243), faz as seguintes colocações:

A distância consiste na distância entre o objeto e a lente frontal da câmara. Este parâmetro é utilizado para compensar os dois fatos seguintes:

- a) que a radiação do alvo seja absorvida pela atmosfera entre o objeto e a câmara;
- b) que a radiação da própria atmosfera seja detectada pela câmara.

Quanto ao parâmetro que se refere a umidade relativa, o Manual do utilizador da FLIR Systems (2009, p. 243), menciona que:

A câmara também pode compensar o fato de a transmitância depender também da umidade relativa da atmosfera. Para o fazer, defina a umidade relativa para o valor correto. Para distâncias curtas e umidade normal, a umidade relativa pode, normalmente, ser deixada num valor predefinido de 50%.

Como afirma o Manual do utilizador da FLIR Systems (2009, p. 243), dependendo do tipo de câmara utilizada, outros parâmetros podem ser compensados, tais como os descritos a seguir:

Temperatura atmosférica – ou seja a temperatura da atmosfera entre a câmara e o alvo

Temperatura óptica externa – ou seja a temperatura de quaisquer lentes externas ou janelas utilizadas em frente a câmara

Transmissão óptica externa – ou seja a transmissão de quaisquer lentes externas ou janelas utilizadas em frente a câmara

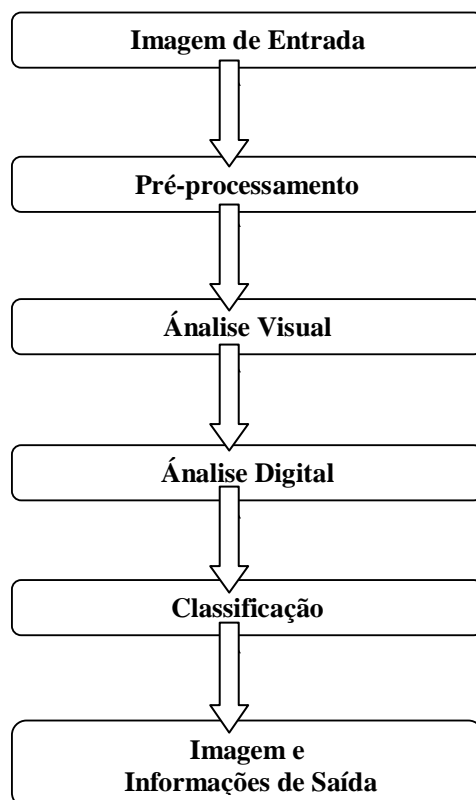
4 PROCESSAMENTO DE IMAGENS

O processamento digital de imagens refere-se ao processo que se estende desde o imageamento até o momento em que são obtidas as informações relevantes da cena. Neste capítulo serão discutidas as etapas do processamento digital de imagens, a resolução das imagens e os elementos de uma imagem digital.

4.1 ETAPAS DO PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

O processamento digital de imagens envolve várias etapas. Essas etapas podem ser vistas na figura 6.

Figura 6 – Etapas do Processamento de Imagens



(fonte: elaborado pelo autor)

Observando a figura 6, verifica-se que a entrada e saída do processo são imagens. A estas imagens podem estar associadas diversas informações, tais como, valores de temperatura, média das temperaturas de uma determinada região da imagem e outras informações relevantes ao processo de análise.

O pré-processamento refere-se a etapa em que a imagem de entrada é preparada para o tratamento digital. Pode-se complementar essa afirmação com a definição dada por Batista e Dias (2005, p. 42) que indica que “A fotointerpretação pode ser facilitada, se as imagens a serem submetidas à análise visual forem previamente processadas de modo a realçar aspectos relevantes da cena. É o que chamamos de pré-processamento da imagem.”.

O tratamento digital engloba as etapas de análise visual, análise digital e classificação. A análise ou inspeção visual permite ao analista identificar elementos relevantes da cena observada. A análise digital, por sua vez, permite ao analista a identificação de pontos ou regiões da imagem que não são normalmente identificadas através da análise visual. As análises visual e digital permitem a escolha e a utilização de classificadores digitais de imagens o que é bem exposto por Batista e Dias (2005, p. 42), que afirmam que:

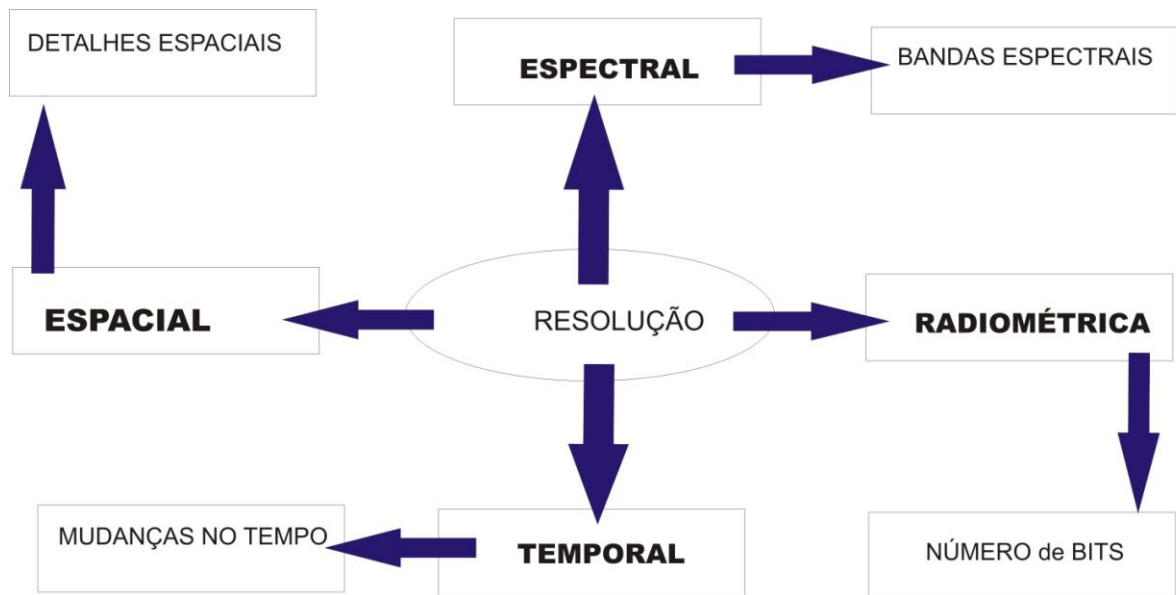
Existem diversos algoritmos para classificação de imagens. Uma distinção importante é se o classificador analisa *pixels* individuais da imagem nas diversas bandas ou analisa regiões. Classificadores por regiões são mais recentes e mais promissores, pois imitam de certa forma, a análise humana. Outra distinção importante é se o classificador é supervisionado ou não supervisionado. No primeiro caso o analista tem conhecimento prévio da área e instrui o computador através de amostras de treinamento como cada classe se comporta espectralmente e o classificador classifica o restante da imagem com base no que ele ‘aprendeu’ com o analista. No caso do não-supervisionado, o computador separa a imagem em classes espectrais distintas, por conta própria, através de um algoritmo de agrupamento, e, posteriormente, o analista decide a qual classe informacional pertence cada classe espectral que o computador identificou. O analista pode controlar o número de classes que deseja e qual a regra e número de iterações que ele deseja do classificador. Existem ainda, regras de decisão usadas em diversos classificadores que podem ser probabilísticas ou determinísticas. Ou seja, você instrui o computador e solicita a ele que classifique os *pixels* de uma imagem que sejam exatamente iguais às amostras de treinamento (determinístico) ou que ele classifique os *pixels* que sejam mais prováveis de pertencerem a uma determinada classe de treinamento, mas não necessariamente iguais às áreas de treinamento.

4.2 RESOLUÇÃO DAS IMAGENS

Um sistema de imageamento pode ser caracterizado por quatro tipos de resolução de imagens, conforme mostrados na figura 7, ou seja a resolução:

- a) espacial;
- b) espectral;
- c) radiométrica;
- d) temporal.

Figura 7 – Resolução de Sensores de imageamento



(fonte: elaborado pelo autor)

A resolução espacial pode ser associada a menor área, defeito ou detalhe que pode ser observada em uma imagem. Por sua vez, Batista e Dias (2005, p. 26), explicam que a resolução espectral “[...] descreve a habilidade de um sensor definir intervalos de comprimento de onda estreitos. Quanto melhor a resolução espectral, mais estreita será o intervalo de comprimento de onda para um canal particular ou faixa.”.

Enquanto que (BATISTA; DIAS, 2005, p. 28):

A resolução radiométrica de um sistema de imageamento descreve sua habilidade em separar diferenças muito pequenas de energia. Quanto melhor a resolução radiométrica de um sensor, mais sensível a pequenas diferenças de energia refletida ou emitida ele será. A resolução radiométrica final do sensor após geração da imagem corresponde ao número de *bits* usados para codificar números em formato binário.

Já a resolução temporal de um sensor (BATISTA; DIAS, 2005, p. 29):

[...] é igual ao período entre a primeira e a segunda tomada de imagem da mesma área com o mesmo ângulo.[...]. Características espectrais de feições podem mudar com o passar do tempo e estas mudanças podem ser detectadas obtendo-se e comparando-se imagens multi-temporais.

4.3 ELEMENTOS DE UMA IMAGEM DIGITAL

Uma imagem pode ser vista como uma matriz composta de linhas e colunas. Cada ponto da imagem pode ser localizado por duas coordenadas e uma informação $p(x, y, i)$, por exemplo a intensidade da radiação refletida ou emitida por uma superfície. Esses pontos da imagem associados a informações espaciais e a intensidade da radiação são explicados por Batista e Dias (2005, p. 25-26) da seguinte forma:

Pixels de imagem normalmente são quadrados e representam uma certa área em uma imagem. A palavra *pixel* é derivada do termo em inglês “*picture element*” (elemento de foto). Um exemplo comum de *pixels* pequenos pode ser observado em um monitor de computador ou na tela de televisão. As imagens nestas telas não são ‘sólidas’, mas sim compostas por milhares de pontos muito pequenos chamados *pixels*, que vistos à distância nos dão a impressão de formarem uma imagem sólida.

A informação normalmente associada ao *pixel* é determinada pelo número de *bits*. Um *bit* é um estado da informação associado a zero ou um. O número de *bits* é dado por 2^n sendo n o número de *bits*. Se oito *bits* são associados a um *pixel* estão disponíveis 256 níveis de cinza para a imagem.

5 REVESTIMENTO DE ARGAMASSA

Nesse capítulo procura-se abordar os principais conceitos e métodos associados ao revestimento de superfícies com argamassa. O Manual de Revestimentos de Argamassa da Associação Brasileira de Cimento Portland (2011, p. 3CON) refere-se as principais funções dos revestimentos de argamassa e menciona que:

O revestimento de argamassa pode ser entendido como a proteção de uma superfície porosa com uma ou mais camadas superpostas, com espessura normalmente uniforme, resultando em uma superfície apta a receber de maneira adequada uma decoração final. As principais funções de um revestimento de argamassa são:

- a) proteger a base, usualmente de alvenaria e a estrutura da ação direta dos agentes agressivos contribuindo para o isolamento termoacústico e a estanqueidade à água e aos gases;
- b) permitir que o acabamento final resulte numa base regular, adequada ao recebimento de outros revestimentos, de acordo com o projeto arquitetônico, por meio da regularização dos elementos de vedação.

5.1 ELEMENTOS E SISTEMAS DE REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA

A qualidade da base é definida no Manual da Associação Brasileira de Cimento Portland (2011, p. 9CON) por parâmetros, tais como, “O diâmetro, a natureza e a distribuição dos tamanhos dos poros determinam a rugosidade superficial e a capacidade de absorção da base, podendo ampliar ou não a extensão de aderência e a ancoragem do revestimento.”.

O chapisco, o emboço, o reboco ou massa única (emboço paulista), representados esquematicamente na figura 8, são definidos pelo Manual da Associação Brasileira de Cimento Portland (2011, p. 4CON), respectivamente como:

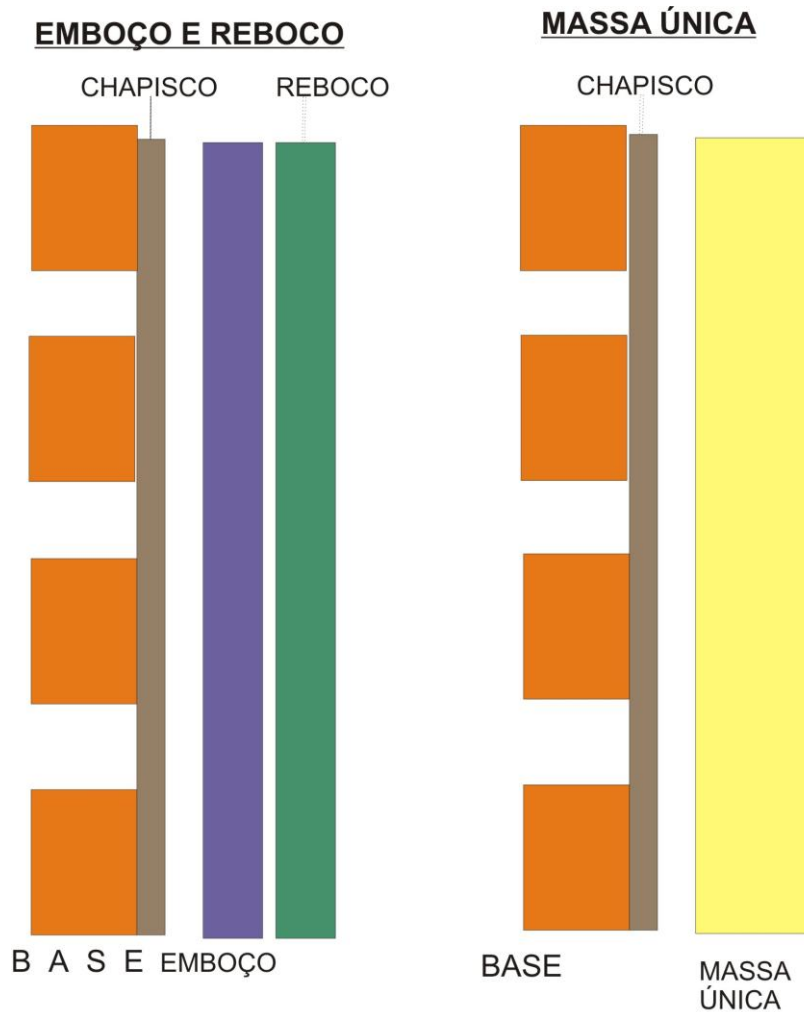
Chapisco é a camada de preparo da base, constituída de mistura de cimento, areia e aditivos, aplicada de forma contínua ou descontínua, com a finalidade a superfície quanto à absorção e melhorar a aderência do revestimento.

Emboço é a camada de revestimento executada para cobrir e regularizar a superfície da base com ou sem chapisco, propiciando uma superfície que permita receber outra camada de reboco ou de revestimento decorativo, ou que se constitua no acabamento final.

Reboco é a camada de revestimento utilizada para o cobrimento do emboço, propiciando uma superfície que permita receber o revestimento decorativo ou que se constitua no acabamento final.

Massa única é o revestimento executado numa camada única, cumprindo as funções do emboço e do reboco.

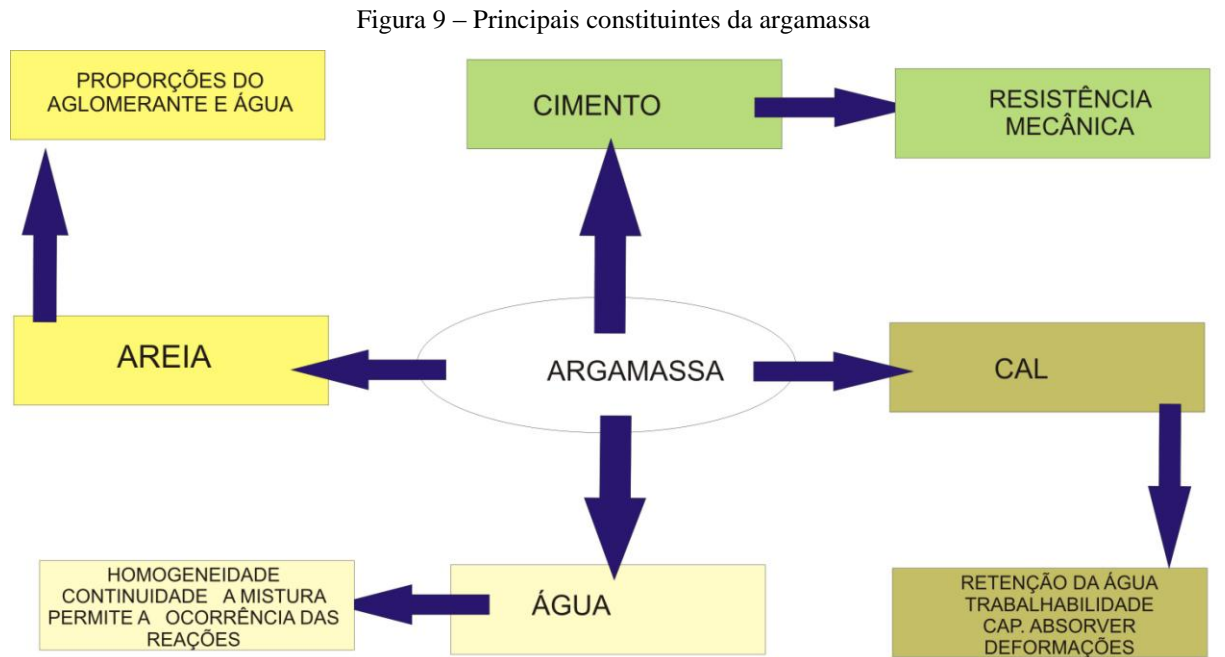
Figura 8 – Sistemas de revestimento de argamassa



(fonte: elaborado pelo autor)

5.2 PRINCIPAIS CONSTITUINTES DA ARGAMASSA

A argamassa é constituída de diversos componentes, cimento, cal, areia, água, aditivos e adições. Cada um desses elementos contribui para melhorar as propriedades do composto resultante, conforme figura 9.



(fonte: elaborado pelo autor)

Conforme o Manual da Associação Brasileira de Cimento Portland (2011, p. 5CON):

O cimento Portland possui propriedade aglomerante desenvolvida pela reação de seus constituintes com a água, sendo assim denominado aglomerante hidráulico. A contribuição do cimento nas propriedades das argamassas está voltada sobretudo para a resistência mecânica.

Por outro lado, “Numa argamassa onde há apenas a presença de cal, sua função principal é funcionar como aglomerante da mistura. Neste tipo de argamassa, destacam-se as propriedades de trabalhabilidade e a capacidade de absorver deformações.” (Associação Brasileira de Cimento Portland, 2011, p. 5CON).

A importância da quantidade de água e do agregado miúdo é abordada pelo Manual da Associação Brasileira de Cimento Portland (2011, p. 6CON) da seguinte forma:

A água confere continuidade à mistura, permitindo a ocorrência das reações entre os diversos componentes, sobretudo as do cimento. A água, embora seja o recurso diretamente utilizado pelo pedreiro para regular a consistência da mistura, fazendo a sua adição até a obtenção da trabalhabilidade desejada, deve ter o seu teor atendendo ao traço pré-estabelecido, seja para argamassa dosada em obra ou na indústria.

Enquanto que, “O agregado miúdo ou areia é um constituinte das argamassas de origem mineral, de forma particulada, com diâmetros entre 0,06 e 2,0 mm. A granulometria do agregado tem influência nas proporções de aglomerantes e água da mistura.” (Associação Brasileira de Cimento Portland, 2011, p. 6CON).

5.3 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA

O estudo das propriedades da argamassa pode ser dividido em duas partes que caracterizam o estado em que se encontra o revestimento. As propriedades do estado fresco e do endurecido do revestimento de argamassa são apresentadas na figura 10.

Figura 10 – Propriedades da argamassa

ESTADO FRESCO	ESTADO EN DURECIDO
<input type="checkbox"/> Massa específica e teor de ar	<input type="checkbox"/> Aderência
<input type="checkbox"/> Trabalhabilidade	<input type="checkbox"/> Capacidade de absorver deformações
<input type="checkbox"/> Retenção de água	<input type="checkbox"/> Resistência mecânica
<input type="checkbox"/> Adesão	<input type="checkbox"/> Resistência ao desgaste
<input type="checkbox"/> Retração a secagem	<input type="checkbox"/> durabilidade
<input type="checkbox"/> Reologia	

(fonte: baseado em BAIA; SABBATINI, 2008, p. 15)

Nos itens a seguir, são detalhadas as propriedades da argamassa nos estados fresco e endurecido.

5.3.1 Propriedades da argamassa no estado fresco

A massa específica, a trabalhabilidade, a capacidade de retenção água, a retração na secagem são algumas das propriedades da argamassa no estado fresco. Assim, a massa específica é uma grandeza física que relaciona a massa com o volume. Baía e Sabbatini (2008, p. 15) diferenciam massa específica absoluta da relativa, bem como, relacionam a massa específica e o teor de ar presente na argamassa com a trabalhabilidade da seguinte forma:

Na determinação da massa específica absoluta, não são considerados os vazios existentes no volume de argamassa. Já na relativa, também chamada massa unitária, consideram-se os vazios. A massa específica é imprescindível na dosagem das argamassas, para a conversão do traço em massa para traço em volume, que são comumente empregados na produção das argamassas em obra. O teor de ar é a quantidade de ar existente em um certo volume de argamassa. [...] Uma argamassa com menor massa específica e maior teor de ar, apresenta melhor trabalhabilidade.

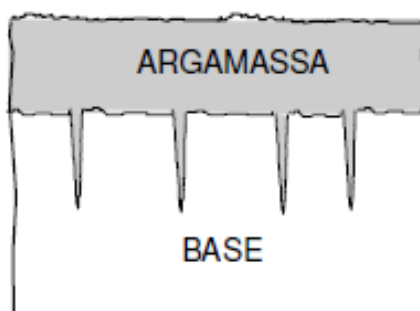
Além da massa específica, outra propriedade importante é a trabalhabilidade, conforme o Manual da Associação Brasileira de Cimento Portland (2011, p. 8CON), “Tendo trabalhabilidade adequada, a argamassa poderá apresentar contato mais extenso com a base através de um melhor espalhamento.”.

Segundo Baía e Sabbatini (2008, p. 17-18), a retenção de água,

[...] representa a capacidade da argamassa reter a água de amassamento contra a sucção da base ou contra a evaporação. A retenção permite que as reações de endurecimento da argamassa se tornem mais gradativas, promovendo a adequada hidratação do cimento e conseqüente ganho de resistência.

Da mesma forma, mencionam a aderência inicial, representada na figura 11, como, “Propriedade relacionada ao fenômeno mecânico que ocorre em superfícies porosas, pela ancoragem da argamassa na base, através da entrada da pasta nos poros, reentrâncias e saliências, seguido do endurecimento progressivo da pasta [...]”. Já a retração na secagem, “Ocorre em função da evaporação da água de amassamento da argamassa e, também, pelas reações de hidratação e carbonatação dos aglomerantes. A retração pode acabar causando a formação de fissuras no revestimento.” (BAÍA; SABBATINI, 2008, p. 19).

Figura 11 – Mecanismo de aderência da argamassa ao substrato



(fonte: BAÍA; SABBATINI, 2008, p. 18)

Já a retração na secagem, “Ocorre em função da evaporação da água de amassamento da argamassa e, também, pelas reações de hidratação e carbonatação dos aglomerantes. A retração pode acabar causando a formação de fissuras no revestimento.” (BAÍA; SABBATINI, 2008, p. 19).

5.3.2 Propriedades da argamassa no estado endurecido

Entre as diversas propriedades da argamassa no estado endurecido destacam-se: a aderência, a capacidade de absorver deformações, a resistência mecânica e a estanqueidade. O Manual da Associação Brasileira de Cimento Portland (2011, p. 8CON) conceitua a aderência como, “[...] a propriedade que possibilita à camada de revestimento resistir às tensões normais e tangenciais atuantes na interface com a base.”.

Já, a capacidade de absorver deformações, abordada por Baía e Sabbatini (2008, p. 23), refere-se “[...] a propriedade de suportar tensões sem romper, sem apresentar fissuras e sem perder a aderência.”. Enquanto que, a resistência mecânica é apresentada pelo Manual da Associação Brasileira de Cimento Portland (2011, p. 10CON) como “[...] a capacidade dos revestimentos de suportar esforços das mais diversas naturezas, que resultam, em tensões internas de tração, compressão e cisalhamento.”. E, ainda, o Manual da Associação Brasileira de Cimento Portland (2011, p. 12CON) define a estanqueidade como, “[...] uma propriedade dos revestimentos relacionada com a absorção capilar de sua estrutura porosa e eventualmente fissurada da camada de argamassa endurecida. Sua importância está no nível de proteção que o revestimento oferece à base contra as intempéries.”.

6 ELEMENTOS DE ESTATÍSTICA

Nesse trabalho foram utilizados métodos estatísticos para a verificação da consistência dos dados de temperaturas médias utilizados para a comparação dos traços e obtidos através das imagens fornecidas pela câmara infravermelha. Os métodos aplicados se referem a análise dos histogramas das imagem, a estatística descritiva de cada imagem, bem como, a análise de variância ou ANOVA e ao teste t de *student*.

6.1 HISTOGRAMA DE UMA IMAGEM

O histograma de uma imagem pode fornecer informações sobre níveis de cinza ou do inglês *digital number*, abreviado por DN, como afirma Crosta (1992, p.31):

Em processamento de imagens, trabalha-se sempre com os tons de cinza (DNs) atribuídos aos pixels de uma imagem. O histograma é uma das formas mais comuns de se representar a distribuição dos DN's de uma imagem, e possivelmente a mais útil em processamento digital de imagens. Ele fornece a informação sobre quantos pixels na imagem possuem cada valor possível de DN (que, no caso das imagens de 8 *bits*, variam de 0 a 255) ou, de forma equivalente, qual a proporção da imagem que corresponde a cada valor de DN. Os histogramas são também conhecidos como distribuição de intensidades e função de densidade de probabilidade (PDF). Esse último termo advém do fato de que, estatisticamente, o histograma representa, neste caso, a probabilidade de se achar um DN de um dado valor dentro de uma imagem.

Essas informações, por sua vez, podem ser associadas a temperatura, a radiação emitida por uma superfície e a outras grandezas físicas de interesse do pesquisador.

6.2. TESTES DE HIPÓTESES

Os testes de hipóteses são regras que dão suporte a decisão do pesquisador. Esses testes permitem aceitar ou rejeitar uma hipótese, que nesse caso se referem a valores temperatura média associadas a RIE por um painel revestido com argamassa. Na visão de Guimarães (2008, p. 127):

Os testes estatísticos são regras de decisões, vinculadas a um fenômeno da população, que nos possibilitam avaliar, com o auxílio de uma amostra, se

determinadas hipóteses (suposições, conjecturas, algo qualquer que um pesquisador esteja estabelecendo) podem ser rejeitadas, ou não.

6.2.1 Análise de variância

Uma ferramenta estatística utilizada para verificar a hipótese de igualdade ou diferença entre as médias de determinadas amostras denomina-se análise de variância. Em Guimarães (2008, p. 156) a análise de variância ou ANOVA é apresentada da seguinte forma:

Uma análise de variância permite que vários grupos sejam comparados a um só tempo, utilizando variáveis contínuas. O teste é paramétrico (a variável de interesse deve ter distribuição normal) e os grupos tem que ser independentes.

As hipóteses testadas são as seguintes:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k \quad \text{vs} \quad H_1 : \text{pelo menos um par } \mu_i \neq \mu_j, \text{ para } i \neq j$$

Os elementos que compõem o cálculo da Anova são sumarizados na tabela abaixo:

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrados médios	F
Entre grupos	SQA	k - 1	$QMA = \frac{SQA}{k-1}$	$\frac{QMA}{QME}$
Erro amostral	SQE	N - k	$QME = \frac{SQE}{N-k}$	
Total	SQT	N - 1		

T_k = é a soma dos valores de um certo tratamento k;

N_k = é o número de observações no tratamento k;

T_2 = é a soma de todos os valores amostrados elevada ao quadrado;

N = é o numero total de observações;

X = é cada observação amostrada.

O valor calculado de F e comparado com o valor crítico, definido pelo nível de significância e pelos graus de liberdade k - 1 e N - k. Caso $F_{cal} > F_{crit}$, devemos rejeitar a hipótese nula.

6.2.2 Teste t

O teste t de student refere-se a um teste estatístico que pode ser utilizado para a análise de pequenas amostras, isto é, que possuem menos de trinta dados e distribuição aproximadamente normal. A distribuição t é simétrica, tem média zero e a dispersão é

determinada por graus de liberdade. Em Guimarães (2008, p. 145) o teste t é descrito da seguinte forma:

A média de uma população é uma de suas características mais importantes. E muito comum desejarmos tomar decisões a seu respeito, por exemplo, quando são comparadas duas amostras ou dois tratamentos. Considere as seguintes hipóteses:

$H_0: \mu_1 = \mu_2$ versus $H_1: \mu_1 < \mu_2$

ou

$H_0: \mu_1 = \mu_2$ versus $H_1: \mu_1 > \mu_2$

ou ainda

$H_0: \mu_1 = \mu_2$ versus $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$

As duas primeiras situações definem os chamados testes unilaterais, por que a região de rejeição esta somente em uma das caudas da distribuição. A última situação define os testes bilaterais, no qual a região de rejeição se distribui igualmente em ambas as caudas da distribuição. Assim, se estivermos interessados em mostrar que um parâmetro é significativamente superior ou inferior a um determinado valor, teremos que realizar um teste unilateral e teremos uma única região de rejeição, do tamanho do nível de significância fixado. Mas se, no entanto, estivermos interessados em mostrar que um determinado parâmetro é diferente de um determinado valor (sem especificar se inferior ou superior) teremos que realizar um teste bilateral e a região de rejeição será dividida em duas partes iguais, nas extremidades da curva do teste, em que cada região de rejeição terá metade do nível de significância.

7 MATERIAIS

O trabalho foi desenvolvido em duas fases. Na primeira fase, foram construídos quatro painéis, sendo que cada um recebeu uma camada argamassa de mesma espessura com determinado traço conforme tabela 2. Na segunda fase, foram construídos dois painéis que receberam camadas de argamassa de espessuras diferentes com mesmo traço.

7.1 DEFINIÇÃO DOS TRAÇOS

Neste trabalho foi utilizada uma relação aglomerante/areia seca e quatro proporcionamentos de argamassa. A tabela 2 mostra a composição dos traços utilizados.

Tabela 2 – Traços da argamassa utilizada

Argamassa	Traço Ci : Ca : Ar	Relação aglomerante/agregado
T1	1,0 : 0,5 : 4,5	1 : 3
T2	1,0 : 1,0 : 6,0	1 : 3
T3	1,0 : 2,0 : 9,0	1 : 3
T4	1,0 : 3,0 : 12,0	1 : 3

(fonte: elaborado pelo autor)

7.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

As argamassas de revestimento foram produzidas no LAMTAC/Norie/UFRGS utilizando cimento, cal e areia natural. A figura 12 mostra os materiais utilizados na preparação do traço 1,0 : 0,5 : 4,5.

Figura 12 – Preparação dos traços de argamassa



(fonte: foto do autor)

Na confecção dos painéis foram utilizados blocos cerâmicos conforme mostram as figuras 13 e 21, areia natural, cimento Portland CII Z 32, acondicionado em sacos de 50 kg e cal hidratada em pó CH – I, acondicionada em sacos de 20 kg conforme mostra a figura 12. A tabela 3 mostra o proporcionamento, a quantidade de água e a relação água cimento associada a cada um dos traços em estudo.

Tabela 3 – Proporcionamento

TRAÇO	traço em volume			água	massa unitária (g/cm ³)			a/c	traço em massa		
	Ci	Ca	Ar		muc	muk	mua		Ci	Ca	Ar
T1	1	0,5	4,5	14,08	1,197	0,689	1,492	1,08	1	0,29	5,61
T2	1	1	6	15,12	1,197	0,689	1,492	1,51	1	0,58	7,48
T3	1	2	9	15,20	1,197	0,689	1,492	2,17	1	1,15	11,22
T4	1	3	12	15,00	1,197	0,689	1,492	3,00	1	1,73	14,96

(fonte: elaborado pelo autor)

7.3 PREPARAÇÃO DOS ALVOS

A preparação dos alvos envolveu a construção de estruturas que tem como principal função servir de painel que receberam chapisco e posteriormente uma camada única de argamassa.

Figura 13 – Estrutura composta de blocos cerâmicos



(fonte: foto do autor)

Os painéis foram construídos com blocos cerâmicos nas dimensões 14 cm x 19 cm x 29 cm e junta de assentamento de 1 cm que após o chapisco recebeu uma camada de argamassa de traço 1:3 em massa única conforme mostra a figura 14. Cada painel tem 1 m² de área, circundado por uma moldura de madeira pintada com tinta preta fosca.

Figura 14 – Painel revestido de argamassa



(fonte: foto do autor)

7.4 INSTRUMENTOS DE MEDIDA

O instrumento de medida utilizado para obter os dados de temperatura e umidade relativa do ar que constam nas tabelas 3 e 4 denomina-se termo-higrômetro MT – 240 e, é mostrado na figura 15.

Figura 15 – termo-higrômetro TH-02 máx-mín MT – 240



(fonte: foto do autor)

Na primeira fase, as estruturas foram mantidas em uma câmara climatizada com temperatura e umidade relativa controladas conforme indica a tabela 4. Enquanto que, na segunda fase, as estruturas foram mantidas em temperatura e umidade relativa de acordo com o ambiente conforme indica a tabela 5.

Tabela 4 – Temperatura e umidade relativa da câmara climatizada 1ª fase do projeto

Data	T (°C)	UR(%)
19/jan/2012	15,5	50
20/jan/2012	14,9	54
25/jan/2012	15,5	55
26/jan/2012	15,4	55
01/fev/2012	15,2	53

continua

continuação

Data	T (°C)	UR(%)
08/fev/2012	14,7	52
09/fev/2012	14,9	53
15/fev/2012	14,7	52
16/fev/2012	15,2	52
23/fev/2012	15,1	52
02/mar/2012	14,9	52
09/mar/2012	14,7	52
Média	15,1	52,7
Desvio P	0,3	1,4

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 5 – Temperatura e umidade relativa do ambiente na 2ª fase do projeto

Data	T (°C)	UR(%)
19/set/2013	22,2	75
23/out/2013	23	73

(fonte: elaborado pelo autor)

7.5 CÂMARA CLIMATIZADA

A câmara climatizada utilizada nesse projeto situa-se no LAMTAC/Norie/UFRGS e pode ter sua temperatura e umidade relativa controladas e monitoradas ao longo do tempo como mostra a figura 16.

Figura 16 – Controle da temperatura e umidade relativa da câmara na 1ª fase



(fonte: foto do autor)

7.6 CÂMARA INFRAVERMELHA

A câmara mostrada na figura 17 foi utilizada para a obtenção das imagens. Essa câmara, denominada FLIRT400, obtém imagens nas regiões do espectro eletromagnético correspondente as regiões do visível e do infravermelho termal.

Figura 17 – Câmara infravermelha FLIRT400



(fonte: foto do autor)

7.7 SOFTWARE

Durante a execução dessa pesquisa foram utilizados diversos tipos de software, entre eles podem ser destacados o software do fabricante FLIR QuickReport 1.2, o IDRISI que é um software de processamento de imagens, o programa de edição de imagens Corel PHOTO-PAINT 12 e o programa de desenho e *design* gráfico CorelDraw 12.

8 METODOLOGIA

O projeto iniciou com a confecção de duas estruturas que serviram de base para receber um revestimento constituído de uma camada de argamassa. Cada painel recebeu argamassa com determinado traço conforme tabela 2, mostrada anteriormente. Nessa fase do projeto obteve-se imagens dos painéis de sete em sete dias por um período de 28 dias. Na primeira fase da pesquisa foi formado um banco de dados com 273 imagens conforme tabela 6.

Tabela 6 – Aquisição de imagens 1ª fase do projeto

1ª FASE		
Traço	Data	Nº de imagens
T1	19/jan/2012	8
T2	19/jan/2012	6
T3	20/jan/2012	8
T4	20/jan/2012	8
T1	25/jan/2012	9
T2	25/jan/2012	8
T3	26/jan/2012	10
T4	26/jan/2012	10
T1	01/fev/2012	8
T2	01/fev/2012	8
T3	01/fev/2012	8
T4	01/fev/2012	10
T1	08/fev/2012	10
T2	08/fev/2012	10
T3	09/fev/2012	12

continua

continuação

1ª FASE		
Traço	Data	Nº de imagens
T4	09/fev/2012	11
T1	15/fev/2012	11
T2	15/fev/2012	12
T3	16/fev/2012	11
T4	16/fev/2012	11
T1	23/fev/2012	7
T2	23/fev/2012	7
T3	23/fev/2012	7
T4	23/fev/2012	7
T1	02/mar/2012	7
T2	02/mar/2012	7
T3	02/mar/2012	7
T4	02/mar/2012	7
T1	09/mar/2012	7
T2	09/mar/2012	7
T3	09/mar/2012	7
T4	09/mar/2012	7
Nº imagens		273

(fonte: elaborado pelo autor)

Na segunda fase foram obtidas mais 43 imagens totalizando 316 imagens conforme mostra a tabela 7.

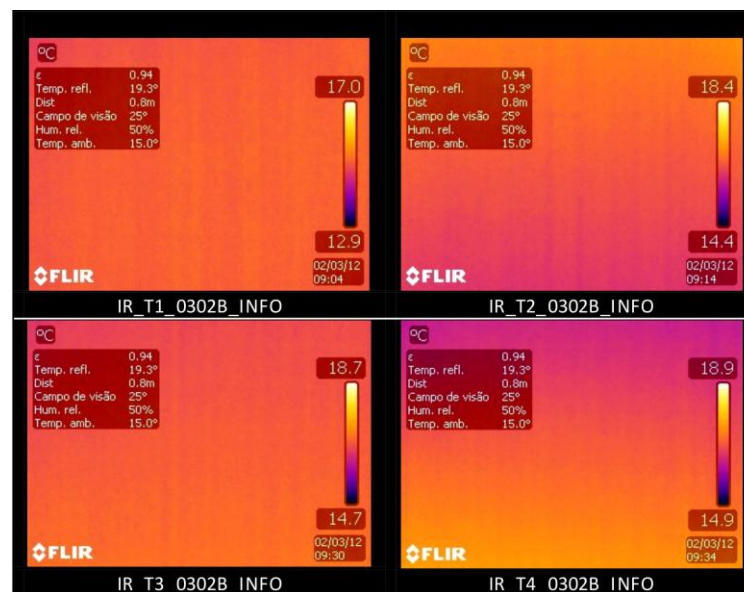
Tabela 7 – Aquisição de imagens 2ª fase do projeto

2ª FASE		
Traço	Data	Nº de imagens
T1	19/set/2012	9
T3	23/out/2012	34
Nº imagens		43
Nº Total de imagens		316

(fonte: elaborado pelo autor)

As imagens obtidas na primeira fase do projeto, conforme mostra a figura 18, referem-se aos painéis que se encontravam confinados na câmara climatizada com temperatura e umidade relativa controladas, conforme indica a tabela 3. Esses painéis referem-se aos traços T1, T2, T3 e T4 produzidos no LAMTAC/Norie/UFRGS. Uma análise visual simples não permite identificar diferenças significativas entre estas quatro imagens.

Figura 18 – RIE pelos painéis na 1ª fase do projeto



(fonte: foto do autor)

Já na segunda fase as imagens foram também obtidas no LAMTAC/Norie/UFRGS na temperatura e umidade relativa de acordo com o ambiente. Dois traços foram escolhidos um deles o traço T1 foi produzido na primeira fase do projeto e o segundo o traço T3 mostrados nas figuras 19 e 20.

Figura 19 – Painel de argamassa de traço T1 confinado na câmara climatizada



(fonte: foto do autor)

O painel com o traço T3 refere-se a uma nova estrutura que foi criada da mesma forma que os primeiros painéis, porém esse recebeu uma manifestação patológica criada artificialmente. Essa manifestação patológica artificial foi provocada a partir da inserção de plástico bolha nas dimensões de 10 cm x 10 cm sobre a estrutura, logo após o painel receber uma camada de chapisco, conforme mostra a figura 20. O principal objetivo desse procedimento foi o de verificar a possibilidade de se localizar e delimitar as fronteiras da manifestação patológica em diversas profundidades a partir de padrões de radiação emitida pelos diversos componentes que fazem parte do painel construído.

Figura 20 – Detalhe da manifestação patológica artificial



(fonte: foto do autor)

A manifestação patológica artificial foi coberta de um lado da parede com um revestimento de 1,5 cm de argamassa no traço T3 e na outra face da parede recebeu uma camada de 3 cm de argamassa no mesmo traço conforme mostra a figura 21.

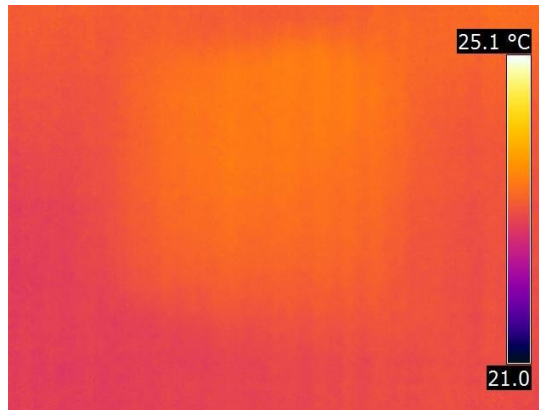
Figura 21 – Espessura do emboço - vista lateral



(fonte: foto do autor)

Uma semana após o revestimento ser executado foram obtidas as imagens que podem ser observadas nas figuras 22 e 23 com o auxílio da câmara FLIR T400. A figura 22 mostra a imagem que permite observar os padrões de RIE pelo painel revestido de argamassa com uma espessura de 1,5 cm sobre a manifestação patológica artificial.

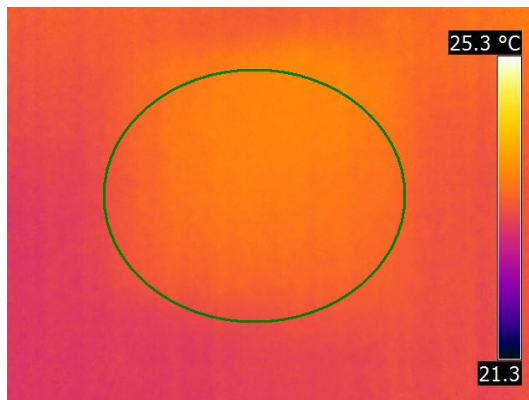
Figura 22 – Radiação infravermelha emitida pelo painel com emboço de 1,5 cm



(fonte: foto do autor)

Enquanto que, a figura 23 mostra a imagem que permite observar os padrões de RIE pelo painel revestido de argamassa com uma espessura de 3,0 cm sobre a manifestação patológica artificial. Estas duas imagens obtidas através da câmara de imageamento FLIR T400 não passaram por processamento digital, mas uma simples análise visual permite destacar uma diferença de contraste na parte central da imagem.

Figura 23 – Radiação infravermelha emitida pelo painel com emboço de 3,0 cm



(fonte: foto do autor)

Essas imagens após serem obtidas através da câmara não receberam nenhum tratamento digital. A figura 22 refere-se a imagem IR-2121, enquanto que a figura 23 refere-se a imagem IR – 2300 do banco de dados. Verifica-se que o contraste nessas imagens não é suficiente para permitir uma identificação visual positiva dos contornos da manifestação patológica artificial inserida nesses painéis.

8.1 ANÁLISE DAS IMAGENS

Na primeira fase do projeto, foi utilizada uma planilha eletrônica para a análise dos dados de temperatura máxima obtidos através das imagens. Esses dados foram retirados das informações fornecidas pela análise da imagem através do software fornecido pelo fabricante da câmara, conforme mostra a figura 24.

Figura 24 – Informações fornecidas pelo software FLIR QuickReport 1.2

IR_T1_1901B_info.jpg
 Tamanho: 173 KB
 Criado: 19/01/2012 15:01:08
 Câmara: FLIR T400 Western
 Lente: FOL18

Descrição da imagem

Comentários de texto | Parâmetros do objecto

Emissividade: 0,94 ▶
 Temperatura reflectida: 19,3 °C
 Temperatura atmosférica: 15,0 °C
 Humidade relativa: 50,0 %
 Distância: 0,8 m

Aplicar

Medição

Etiqueta	Mín.	Máx.	Média
Imagem	13,7 °C	14,8 °C	

(fonte: imagem gerada pela câmara FLIR T 400)

A tabela 8 mostra os dados que se referem a temperatura máxima e mínimas resultante da RIE acompanhados por informações que se referem ao nome da imagem, a data de obtenção e o respectivo traço utilizado para confeccionar a argamassa utilizada para revestir os painéis.

Tabela 8 – Temperaturas máximas e mínimas

Imagem	Data	Traço	Tmín(°C)	Tmáx(°C)
IR_T1_1901B	19/jan/2012	T1	13,8	14,9
IR_T2_1901B	19/jan/2012	T2	14,4	15,4
IR_T3_2001B	20/jan/2012	T3	14	14,8
IR_T4_2001B	20/jan/2012	T4	14,9	15,7
IR_T1_2501B	25/jan/2012	T1	14,6	15,6
IR_T2_2501B	25/jan/2012	T2	15,4	16,4
IR_T3_2601B	26/jan/2012	T3	15,3	16,5
IR_T4_2601B	26/jan/2012	T4	16,9	17,5
IR_T1_0102B	1/fev/2012	T1	14,6	15,5
IR_T2_0102B	1/fev/2012	T2	15,6	16,8
IR_T3_0102B	1/fev/2012	T3	14,6	17,4
IR_T4_0102B	1/fev/2012	T4	16,7	17,4
IR_T1_0802B	8/fev/2012	T1	15,1	16,1
IR_T2_0802B	8/fev/2012	T2	16,5	17,3
IR_T3_0902B	9/fev/2012	T3	16	16,8
IR_T4_0902B	9/fev/2012	T4	15,3	18,8
IR_T1_1502B	15/fev/2012	T1	14,9	15,8
IR_T2_1502B	15/fev/2012	T2	16,1	17,4
IR_T3_1602B	16/fev/2012	T3	16,2	17,1
IR_T4_1602B	16/fev/2012	T4	17,5	18,2

continua

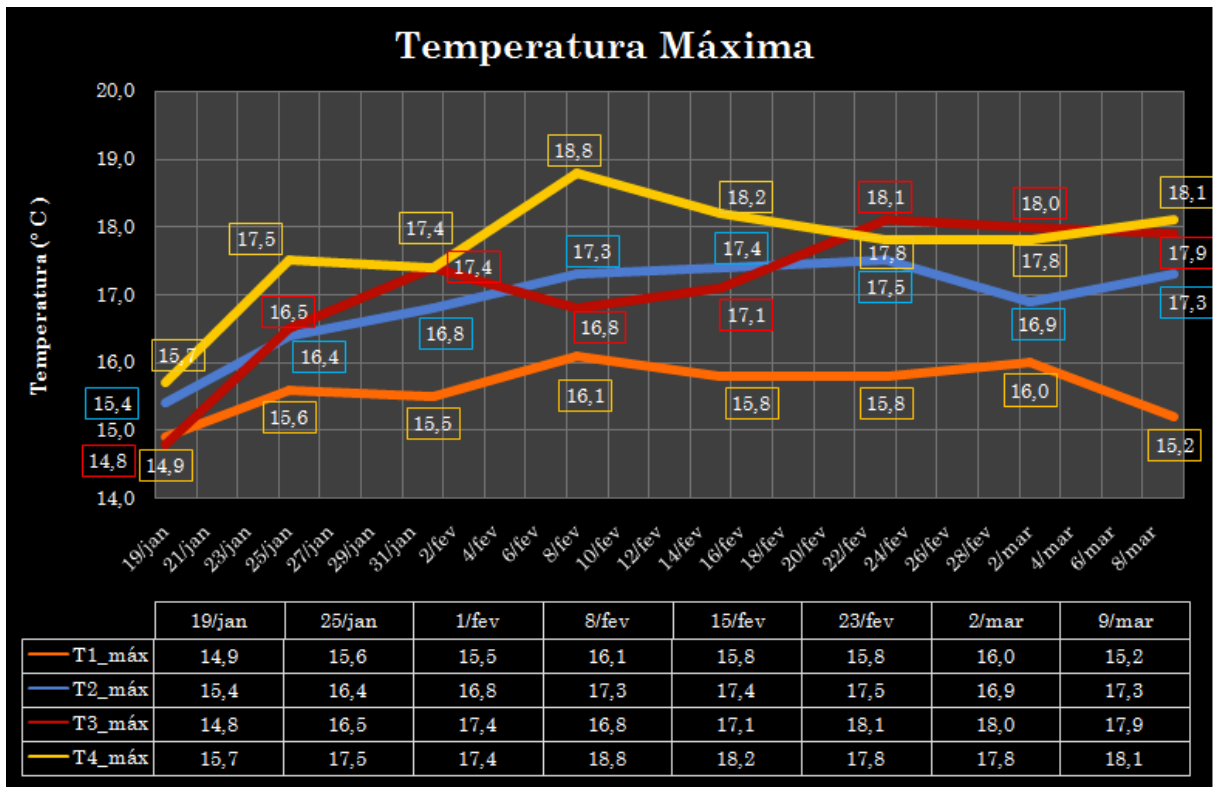
continuação

Imagem	Data	Traço	Tmín(°C)	Tmáx(°C)
IR_T1_2302B	23/fev/2012	T1	14,9	15,8
IR_T2_2302B	23/fev/2012	T2	16,8	17,5
IR_T3_2302B	23/fev/2012	T3	15,9	18,1
IR_T4_2302B	23/fev/2012	T4	16,9	17,8
IR_T1_0203B	2/mar/2012	T1	15,1	16
IR_T2_0203B	2/mar/2012	T2	15,7	16,9
IR_T3_0203B	2/mar/2012	T3	14,3	18
IR_T4_0203B	2/mar/2012	T4	16,1	17,8
IR_T1_0903B	9/mar/2012	T1	16,6	15,2
IR_T2_0903B	9/mar/2012	T2	14,6	17,3
IR_T3_0903B	9/mar/2012	T3	15,7	17,9
IR_T4_0903B	9/mar/2012	T4	16,8	18,1

(fonte: elaborado pelo autor)

O gráfico apresentado na figura 25 mostra oito medidas feitas de sete em sete dias por cerca de cinquenta dias. Nele a temperatura máxima emitida pelos painéis e captada pelo sensor infravermelho da câmara é relacionada graficamente com o respectivo traço no decorrer do tempo. Observa-se que as linhas correspondentes aos traços T1, T2 e T4 seguem um padrão que permite a sua diferenciação o que não ocorre com o traço T3.

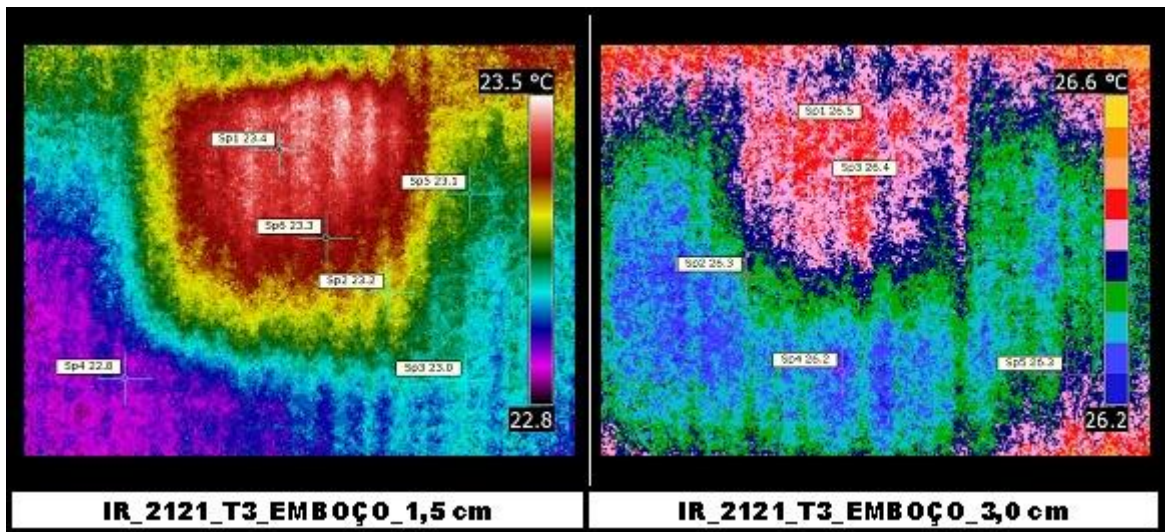
Figura 25 – Gráfico da relação entre a temperatura máxima com o traço



(fonte: elaborado pelo autor)

Na segunda fase do projeto, as imagens foram analisadas através do programa de processamento digital de imagens do fabricante da câmara FLIR QuickReport 1.2 e do programa de edição de imagens Corel PHOTO-PAINT 12. Após o pré-processamento da imagem com o programa FLIR QuickReport 1.2 obteve-se a imagem apresentada na figura 26. As imagens da figura 26 referem-se ao painel que recebeu o traço T3, em duas camadas de argamassa, com espessuras de 1,5 cm em uma das faces e 3,0 cm na outra face, bem como, mostram a manifestação patológica artificial em destaque no centro da imagem em sua parte superior. Esse resultado foi obtido através do software fornecido pelo fabricante, a ferramenta utiliza a técnica de manipulação de histogramas denominada *stretching*, ou traduzindo, espalhamento de contraste que visa uniformizar a distribuição de um histograma de forma que elas preencham toda faixa do espectro. Visto que a imagem obtida inicialmente tem baixo contraste essa é a operação inicial a ser utilizada.

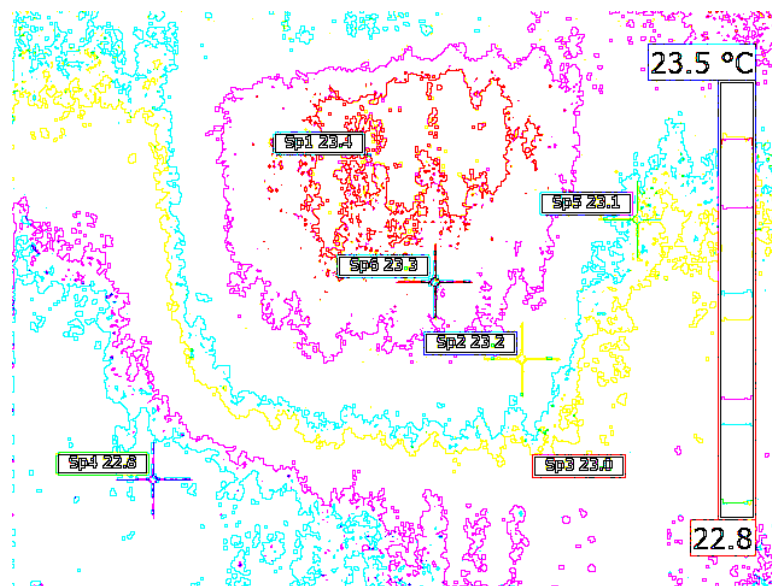
Figura 26 – Imagem após tratamento com o software FLIR QuickReport 1.2



(fonte: foto do autor)

A figura 27 mostra os contornos da manifestação patológica obtidos através do software Corel PHOTO-PAINT 12, no menu efeitos, na opção rastrear contorno, que permite realçar as bordas dos elementos da imagem. O rastreamento do contorno auxilia a especificar quais *pixels* da borda são destacados.

Figura 27 – Contornos da Manifestação patológica artificial IR_2121



(fonte: foto do autor)

8.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS IMAGENS

A tabela 9 mostra os dados referentes as temperaturas médias, que correspondem a contribuição de todos os *pixels* de determinada imagem obtida em um data específica, para cada traço de argamassa. Essas imagens fazem parte do banco de dados de imagens no infravermelho formado para este estudo e tem a seguinte denominação IR_TX_DATA_B, sendo que TX é o traço, DATA.indica a data de obtenção da imagem e B é a ordem de tomada das imagens que, nesse caso, é a segunda imagem daquela série.

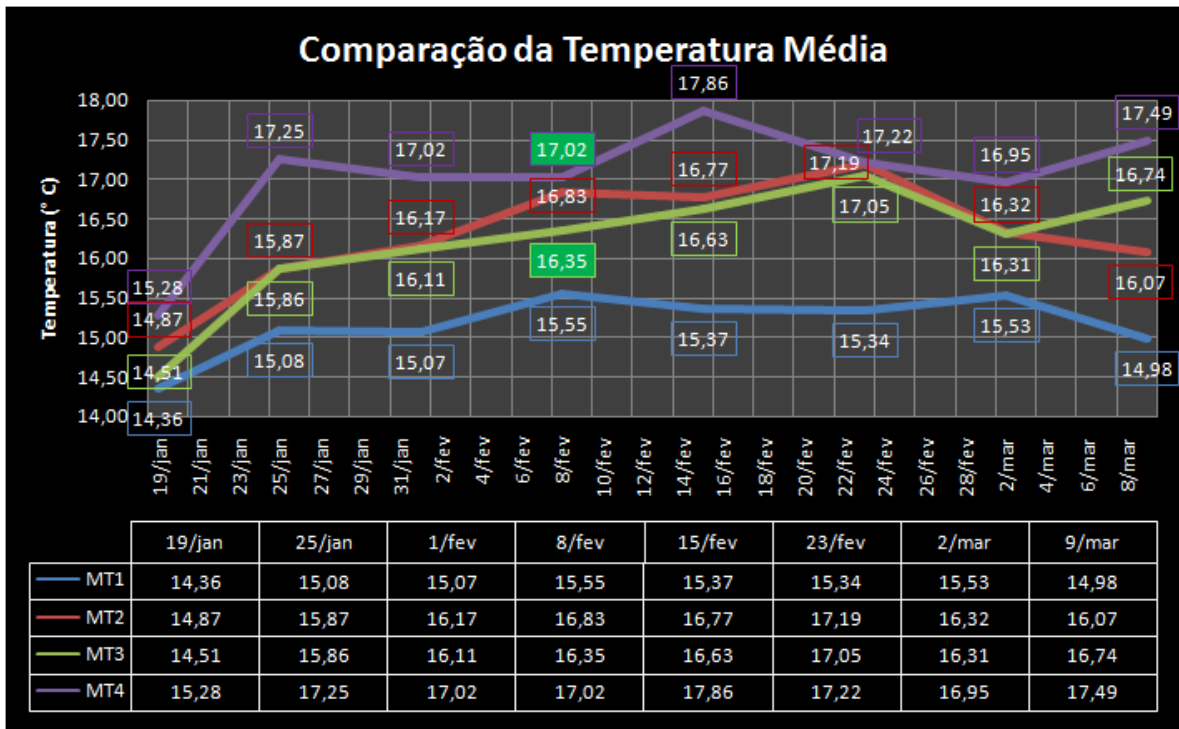
Tabela 9 – Temperaturas médias

Data	MT1	MT2	MT3	MT4
19/jan	14,36	14,87	14,51	15,28
25/jan	15,08	15,87	15,86	17,25
1/fev	15,07	16,17	16,11	17,02
8/fev	15,55	16,83	16,35	17,02
15/fev	15,37	16,77	16,63	17,86
23/fev	15,34	17,19	17,05	17,22
2/mar	15,53	16,32	16,31	16,95
9/mar	14,98	16,07	16,74	17,49

(fonte: elaborado pelo autor)

O gráfico da figura 28 informa a temperatura média associada a cada uma das imagens analisadas. Nesse gráfico tem-se no eixo vertical as temperaturas médias e no horizontal as datas de obtenção das imagens. O traçado mostra a tendência de cada traço de revestimento. Os gráficos apresentados da figura 29 até a figura 34 estabelecem a relação entre os traços estudados dois a dois. Nesse caso o traço T1 é comparado com os traços T2, T3 e T4, o traço T2 é comparado com os traços T3 e T4 e o traço T3 é comparado com o traço T4.

Figura 28 – Gráfico da relação entre a temperatura média com o traço



(fonte: elaborado pelo autor)

As hipóteses adotadas doravante denominadas como hipótese nula H_0 e hipótese alternativa H_a para a análise de variância- ANOVA são informadas na tabela 10.

Tabela 10 – Hipóteses

H_0 =	MT1=MT2=MT3=MT4
H_a =	MT1≠MT2≠MT3≠MT4

(fonte: elaborado pelo autor)

As informações fornecidas na tabela 11 permitem assumir que a hipótese nula foi rejeitada e, que pelo menos um dos traços apresenta temperaturas que o diferem dos demais traços. Um valor-P muito pequeno indica que há diferença entre as amostras referentes as temperaturas médias associadas aos traços em estudo.

Tabela 11: ANOVA: fator único

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
MT1	8	121,27	15,16	0,150
MT2	8	130,10	16,26	0,512
MT3	8	129,55	16,19	0,602
MT4	8	136,09	17,01	0,580

ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	13,90	3	4,635	10,05266	0,000116	2,946685
Dentro dos grupos	12,91	28	0,461			
Total	26,81	31				

(fonte: elaborado pelo autor)

Da mesma forma, foi aplicado o teste t com a finalidade de comparar as temperaturas médias entre dois traços quaisquer. A tabela 12 apresenta o tipo de teste, o nível de significância α , bem como, as hipóteses adotadas para a comparação dos traços T1 e T2.

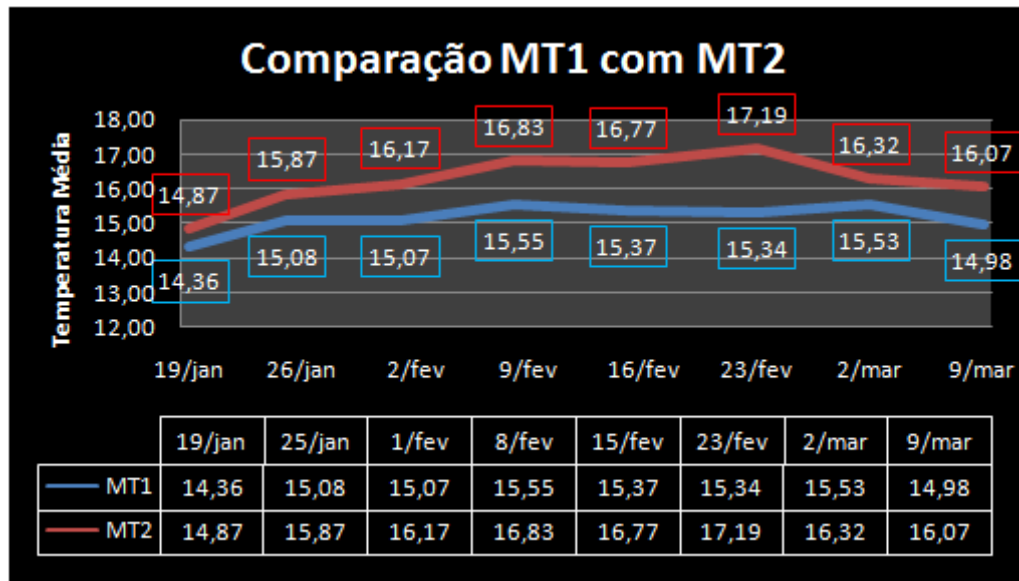
Tabela 12 – Hipóteses adotadas na comparação das médias MT1 e MT2

teste t	bilateral
α	0,05
H ₀	MT1 = MT2
H _a	MT1 \neq MT2

(fonte: elaborado pelo autor)

O gráfico da figura 29 apresenta as medidas da temperatura média associadas aos traços T1 e T2 no decorrer do tempo. Observa-se visualmente através das linhas de tendência a diferença entre as temperaturas.

Figura 29 – Gráfico da temperatura média dos traços T1 e T2 no decorrer do tempo



(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 13 – Teste t para comparação de MT1 e MT2

Teste-t: duas amostras presumindo variâncias diferentes		
	<i>MT1</i>	<i>MT2</i>
Média	15,159	16,26223
Variância	0,149983	0,511986
Observações	8	8
Hipótese da diferença de média	0	
Gl	11	
Stat t	-3,83524	
P(T<=t) uni-caudal	0,001385	
t crítico uni-caudal	1,795885	
P(T<=t) bi-caudal	0,002769	
t crítico bi-caudal	2,200985	

(fonte: elaborado pelo autor)

Na análise das informações que constam na tabela 13 é possível assumir que a hipótese nula foi rejeitada e que as médias das temperaturas associadas ao traço T1 difere das médias das temperaturas do traço T2. Um valor de P muito pequeno indica que há diferença entre as temperaturas médias associadas a cada um dos traços. A tabela 14 apresenta o tipo de teste, o nível de significância α , bem como, as hipóteses adotadas para a comparação dos traços T1 e T3.

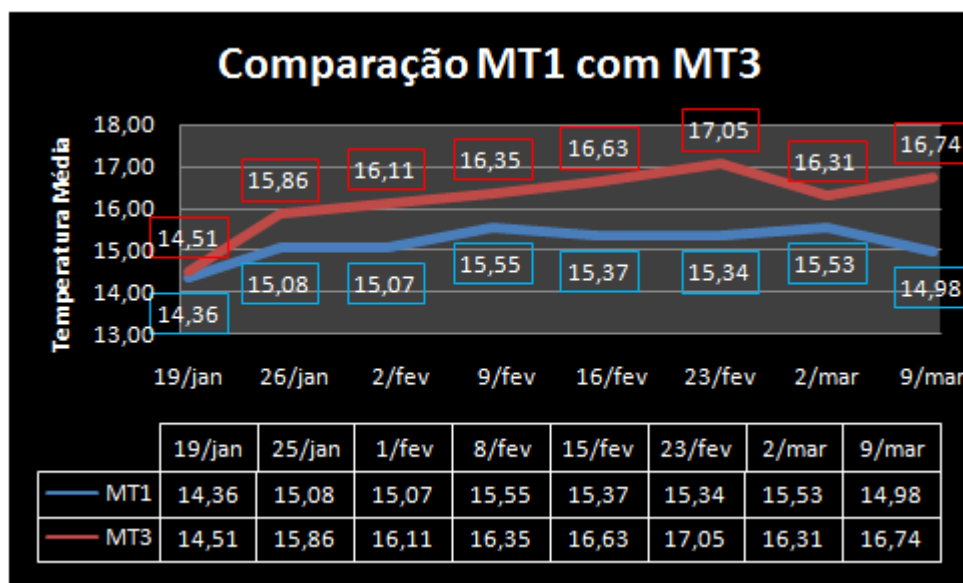
Tabela 14 – Hipóteses adotadas na comparação das médias MT1 e MT3

teste t	bilateral
α	0,05
Ho	MT1 = MT3
Ha	MT1 \neq MT3

(fonte: elaborado pelo autor)

O gráfico da figura 30 apresenta as medidas da temperatura média associadas aos traços T1 e T3 no decorrer do tempo. Observa-se visualmente através das linhas de tendência a diferença entre as temperaturas.

Figura 30 – Gráfico da temperatura média dos traços T1 e T3 no decorrer do tempo



(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 15 – Teste t para comparação de MT1 e MT3

Teste-t: duas amostras presumindo variâncias diferentes		
	<i>MT1</i>	<i>MT3</i>
Média	15,159	16,19426
Variância	0,149983	0,602433
Observações	8	8
Hipótese da diferença de média	0	
gl	10	
Stat t	-3,37571	
P(T<=t) uni-caudal	0,003527	
t crítico uni-caudal	1,812461	
P(T<=t) bi-caudal	0,007053	
t crítico bi-caudal	2,228139	

(fonte: elaborado pelo autor)

A tabela 16 apresenta o tipo de teste, o nível de significância α , bem como, as hipóteses adotadas para a comparação dos traços T1 e T4.

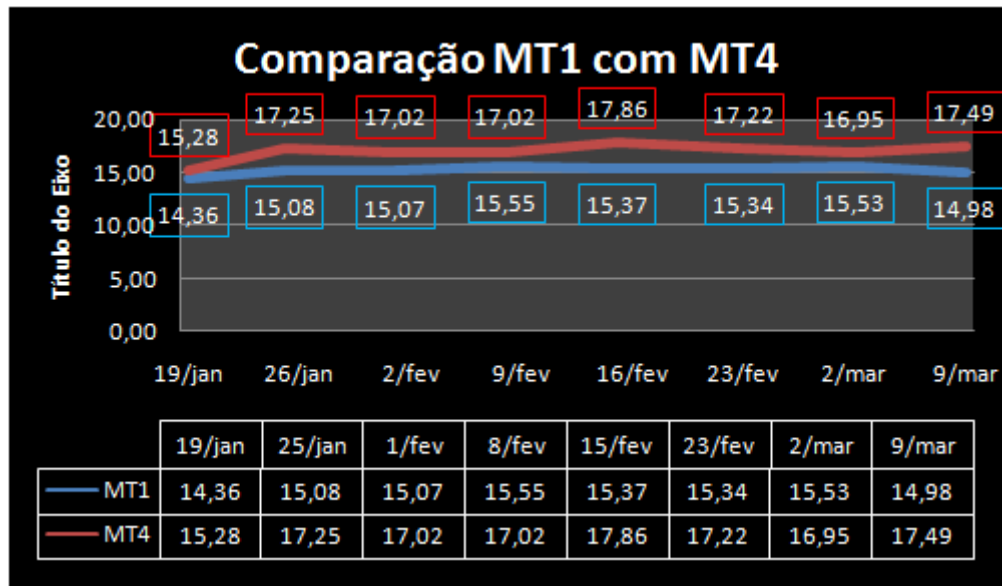
Tabela 16 – Hipóteses adotadas na comparação das médias MT1 e MT4

teste t	bilateral
α	0,05
Ho	MT1 = MT4
Ha	MT1 \neq MT4

(fonte: elaborado pelo autor)

O gráfico da figura 31 apresenta as medidas da temperatura média associadas aos traços T1 e T4 no decorrer do tempo. Observa-se visualmente através das linhas de tendência a diferença entre as temperaturas.

Figura 31 – Gráfico da temperatura média dos traços T1 e T4 no decorrer do tempo



(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 17 – Teste t para comparação de MT1 e MT4

Teste-t: duas amostras presumindo variâncias diferentes		
	MT1	MT4
Média	15,159	17,01126
Variância	0,149983	0,579986
Observações	8	8
Hipótese da diferença de média	0	
gl	10	
Stat t	-6,13189	
P(T<=t) uni-caudal	5,55E-05	
t crítico uni-caudal	1,812461	
P(T<=t) bi-caudal	0,000111	
t crítico bi-caudal	2,228139	

(fonte: elaborado pelo autor)

A tabela 18 apresenta o tipo de teste, o nível de significância α , bem como, as hipóteses adotadas para a comparação dos traços T3 e T4.

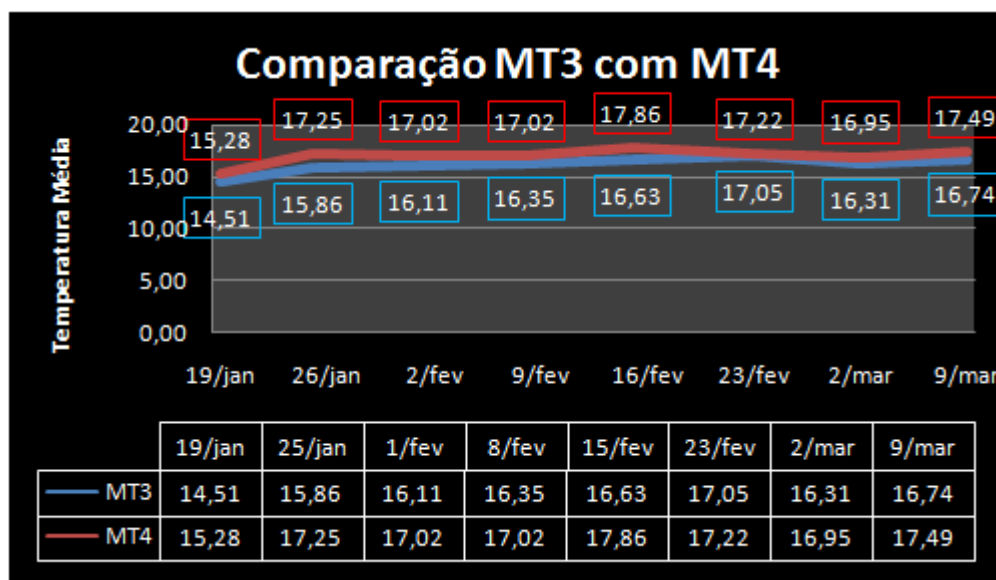
Tabela 18 – Hipóteses adotadas na comparação das médias MT3 e MT4

teste t	bilateral
α	0,05
Ho	MT3 = MT4
Ha	MT3 \neq MT4

(fonte: elaborado pelo autor)

O gráfico da figura 32 apresenta as medidas da temperatura média associadas aos traços T3 e T4 no decorrer do tempo. Observa-se visualmente através das linhas de tendência a diferença entre as temperaturas.

Figura 32 – Gráfico da temperatura média dos traços T3 e T4 no decorrer do tempo



(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 19 – Teste t para comparação de MT3 e MT4

Teste-t: duas amostras presumindo variâncias diferentes		
	MT3	MT4
Média	16,19426	17,01126
Variância	0,602433	0,579986
Observações	8	8
Hipótese da diferença de média	0	
gl	14	
Stat t	-2,1251	
P(T<=t) uni-caudal	0,025932	
t crítico uni-caudal	1,76131	
P(T<=t) bi-caudal	0,051864	
t crítico bi-caudal	2,144787	

(fonte: elaborado pelo autor)

Considerando que $|t_{\text{calculado}}| \leq |t_{\text{crítico}}|$, o teste t permite rejeitar a hipótese de igualdade das temperaturas médias, para as comparações apresentadas nas tabelas 12, 14, 16 e 18, e aceita-se a hipótese alternativa de que as temperaturas médias são diferentes quando se considera um intervalo de confiança de 95%. A tabela 20 apresenta o tipo de teste, o nível de significância α , bem como, as hipóteses adotadas para a comparação dos traços T2 e T3.

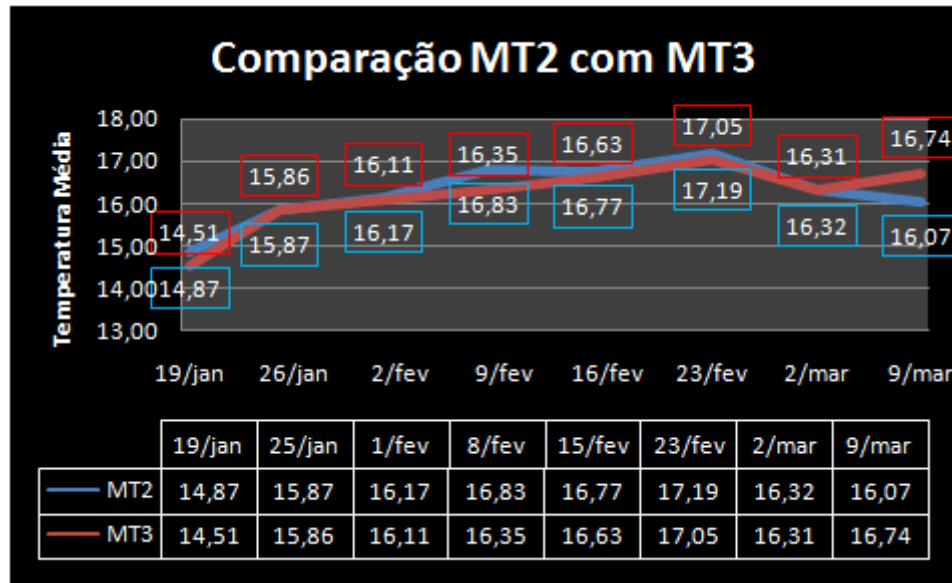
Tabela 20 – Hipóteses adotadas na comparação das médias MT2 e MT3

teste t	bilateral
α	0,05
H ₀	MT2 = MT3
H _a	MT2 \neq MT3

(fonte: elaborado pelo autor)

O gráfico da figura 33 apresenta as medidas da temperatura média associadas aos traços T2 e T3 no decorrer do tempo. Observa-se visualmente através das linhas de tendência a diferença entre as temperaturas.

Figura 33 – Gráfico da temperatura média dos traços T2 e T3 no decorrer do tempo



(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 21 – Teste t para comparação de MT2 e MT3

Teste-t: duas amostras presumindo variâncias diferentes		
	MT2	MT3
Média	16,26223	16,19426
Variância	0,511986	0,602433
Observações	8	8
Hipótese da diferença de média	0	
gl	14	
Stat t	0,182114	

continua

continuação

Teste-t: duas amostras presumindo variâncias diferentes		
P(T<=t) uni-caudal	0,429052	
t crítico uni-caudal	1,76131	
P(T<=t) bi-caudal	0,858104	
t crítico bi-caudal	2,144787	

(fonte: elaborado pelo autor)

A tabela 22 apresenta o tipo de teste, o nível de significância α , bem como, as hipóteses adotadas para a comparação dos traços T2 e T4.

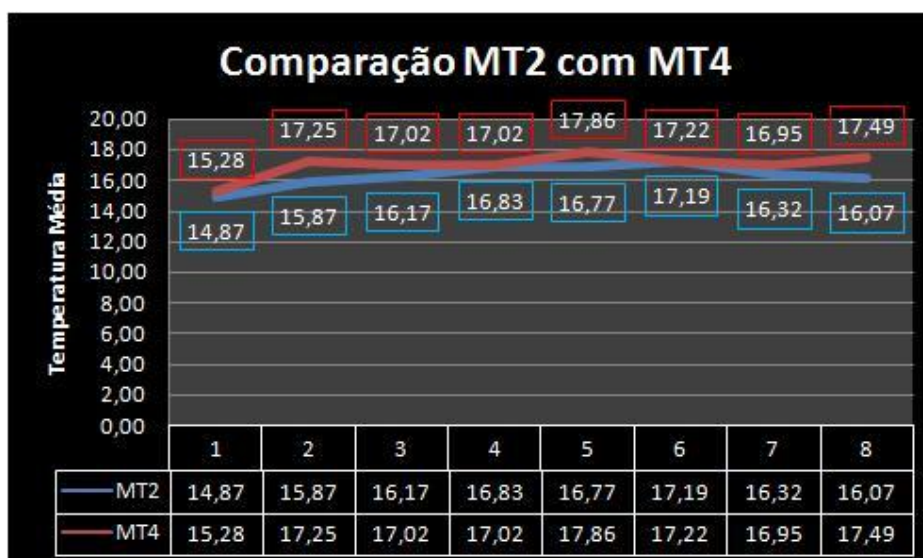
Tabela 22 – Hipóteses adotadas na comparação das médias MT2 e MT4

teste t	bilateral
α	0,05
Ho	MT2 = MT4
Ha	MT2 \neq MT4

(fonte: elaborado pelo autor)

O gráfico da figura 34 apresenta as medidas da temperatura média associadas aos traços T2 e T4 no decorrer do tempo. Observa-se visualmente através das linhas de tendência a diferença entre as temperaturas.

Figura 34 – Gráfico da temperatura média dos traços T2 e T4 no decorrer do tempo



(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 23– Teste t para comparação de MT2 e MT4

Teste-t: duas amostras presumindo variâncias diferentes		
	MT2	MT4
Média	16,26223	17,01126
Variância	0,511986	0,579986
Observações	8	8
Hipótese da diferença de média	0	
gl	14	
Stat t	-2,02738	
P(T<=t) uni-caudal	0,031051	
t crítico uni-caudal	1,76131	
P(T<=t) bi-caudal	0,062102	
t crítico bi-caudal	2,144787	

(fonte: elaborado pelo autor)

Considerando que $|t_{\text{calculado}}| \geq |t_{\text{crítico}}|$, o teste t não permite rejeitar a hipótese de igualdade das temperaturas médias, para as comparações apresentadas nas tabelas 20, e 22, e, portanto aceita-se a hipótese nula de que as temperaturas médias são iguais quando se considera um intervalo de confiança de 95%. A tabela 24 apresenta um resumo do teste t aplicado a temperatura média associada aos traços estudados. Nessa tabela que apresenta o valor-P representa o menor nível de significância com que não se rejeitaria a hipótese de igualdade das médias, ou seja, para rejeitar-se a hipótese nula, necessariamente o *P-value* deve ser menor ou igual ao valor de alfa.

Tabela 24 – *P-value* do teste t para comparação das temperaturas médias

Resumo do teste t para $\alpha=0,05$				
	MT1	MT2	MT3	MT4
MT1				
MT2	0,002769			
MT3	0,007053	0,8581		
MT4	0,0001109	0,0621	0,05186	

(fonte: elaborado pelo autor)

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho teve como resultados a formação de um banco de imagens e o desenvolvimento de um método que pode ser aplicado na análise de padrões de radiação emitidos por painéis de blocos cerâmicos revestidos com argamassa. As conclusões e os métodos utilizados se aplicam ao contexto desse trabalho e a utilização para outras situações devem ser devidamente estudadas. A fase de obtenção das imagens levou a formação de um banco de dados com trezentas e dezesseis imagens. As imagens foram catalogadas e receberam denominações do tipo IR_T4_0903B que significa imagem na região do infravermelho, traço 4, seguido da data e ordem de obtenção da imagem. Desse banco de imagens fazem parte imagens na região do espectro que corresponde ao visível e ao infravermelho. Entre estas imagens encontram-se imagens resultantes da fusão das regiões do visível com o infravermelho, bem como, imagens obtidas com a fonte luminosa desligada. Essa fase envolveu a aquisição das imagens através da câmara FLIR T400. As imagens adquiridas foram analisadas visualmente e as informações obtidas, nessa fase do projeto, deram origem a planilha de temperaturas máximas e mínimas. Após a análise visual, procedeu-se o pré-processamento das imagens. Nessa fase, a planilha de temperaturas médias, máximas e mínimas deu origem ao gráfico que relaciona a temperatura média com o traço, bem como, a temperatura máxima com o traço considerando uma resolução temporal de sete dias. Ainda na fase de pré-processamento, a imagem gerada pela câmara FLIR T400, que possui resolução radiométrica de 24 bits foi convertida em outra imagem com resolução radiométrica de 8 bits. Esse pré-processamento é necessário, pois alguns *softwares* de processamento de imagens trabalham com resoluções radiométricas diferentes. Já a fase de processamento digital das imagens envolveu a utilização de três *softwares*, o FLIR QuickReport 1.2 que é o *software* do fabricante da câmara, o IDRISI que é um *software* de processamento de imagens e o Corel PHOTO-PAINT que é um aplicativo de edição de imagens que permite, entre outras funções, efetuar correções em imagens e alterar a resolução radiométrica. A análise das imagens após o processamento digital juntamente com a análise estatística das temperaturas obtidas através das imagens permitiu atingir os objetivos propostos nesse trabalho.

9.1 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados da análise das imagens da primeira fase indicaram ser possível a diferenciação dos traços da argamassa a partir da análise de padrões de RIE por painéis de blocos cerâmicos revestidos com uma camada única de argamassa.

Os resultados da segunda fase permitem afirmar que é possível identificar e delimitar o contorno de manifestações patológicas artificiais, não visíveis, sob o revestimento de argamassa, nesse caso sob camadas de espessuras entre 1,5 cm e 3,0 cm.

9.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O método apresentado nesse trabalho permite ampliar o campo de estudo no que se refere a análise de revestimentos através de imagens no infravermelho. Desse modo pode-se sugerir as seguintes alternativas para estudos futuros:

- delimitação de contornos de mancha d'água em materiais cerâmicos;
- detectar e delimitar defeitos de revestimentos em fachadas;
- detectar e delimitar manifestações patológicas que evidenciem pequenas diferenças de contraste na região do espectro correspondente ao infravermelho;
- Reproduzir os testes referentes aos traços T2 e T3;
- Aplicar o método visando a identificação e delimitação de manifestações patológicas reais.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Manual de revestimentos de argamassa**. São Paulo, 2011.

BAÍÁ, L. L. M. ; SABBATINI, F. H. **Projeto e execução de revestimento de argamassa**. 4. ed. São Paulo: O Nome da Rosa, 2008.

BATISTA, G. T.; DIAS, N. W. Introdução ao sensoriamento remoto e processamento de imagens. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. 12., 2005. São José dos Campos. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2005. Disponível em: <<http://mtcm18.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/ePrint@80/2005/04.01.14.06/doc/v1.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2011.

BARREIRA, E. S. B. M. **Aplicação da termografia ao estudo do comportamento higrotérmico dos edifícios**. 2004. 196 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, 2004.

BRITO, S.H.B. **Espectro eletromagnético na natureza**, 2013. Disponível em: <<http://labcisico.blogspot.com.br/2013/03/o-espectro-eletromagnetico-na-natureza.html>>. Acesso em: 05 maio. 2013.

CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. 4. ed. São Paulo: IG:UNICAMP, 1992.

FLYR SYSTEM CO. **Especificações técnicas da câmara FLIR T400**. 1996. Disponível em <http://www.flir.com.hk>. Acesso em 10 nov. 2011.

FEIJÓ, E. de S. **Transparência e turbulência atmosférica no infravermelho**. 2001. 73 f. Dissertação (Mestrado Sensoriamento Remoto) – Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

GUIMARÃES, P. R. B. **Métodos quantitativos estatísticos**. 1. ed. Curitiba: IESDE Brasil S.A., 2008.

PAULA, T. C. **Espectro Luminoso**. Uberlândia, 2002. Disponível em: <<http://www.apice.coop.br/fisicanet/>>. Acesso em: 12 nov. 2011.

**ANEXO A – Especificações técnicas da câmara FLIR T400
(FLYR SYSTEM CO, 1996)**

Imaging Performance	
Field of view/min focus distance	25°x19° / 0.4 m (1.31 ft.)
Thermal sensitivity (NETD)	0.05°C @ +30° (+86°F) / 50mK
Detector type	Focal Plane Array (FPA), uncooled microbolometer
IR resolution	320 x 240
Spectral range	7.5 to 13 µm
Digital zoom and pan/focus	1-8X continuous/auto & manual focus
IFOV (with 25° lens)	1.36 mRad
Image Presentation	
Image modes	Thermal, Visual, Thermal Fusion
Thermal Fusion	Merging of visible light and IR image (Interval, Above/Below)
FLIR Fusion	Picture in Picture (PIP) resizable and movable
Image annotation	Voice annotation (60 seconds) Text from touch screen soft keys Text from predefined list Sketch Image markers on IR/Visual
Display	Built-in touch-screen LCD display, 3.5 in.
Visible light camera resolution	1280 x 1024 (1.3 megapixels)
Video lamp	1000 CD
Measurement	
Object temperature ranges	-20°C to +120°C (-4°F to +248°F), 0°C to 350°C (32°F to 662°F), Optional up to +1200°C (+2192°F)
Accuracy	±2°C (±3.6°F) or ±2% of reading
Measurement modes/analysis	5 Spotmeters, 5 Box areas, Isotherm, Difference temperature function, Auto hot/cold spot
Alarms	Audible/Visual alarms (above/below) on spotmeters, area boxes and difference temperature
Set-up controls	Mode selector, color palettes (BW, BW inv, Iron, Rain, Rain HC, Bluered), configure info to be shown in image, local adaptation of units, language, date and time formats, and image gallery
Emissivity table	Emissivity list of predefined materials
Measurement corrections	Reflected ambient temperature and emissivity correction
Image Storage	
Digital storage type/capacity	Removable SD Memory Card/1000+ JPEG images
Image storage mode & formats	IR/visible light, simultaneous storage of IR and visible images, standard JPEG, MPEG4 video (non-rad. video)
Laser LocatIR™	
Classification/Type	Class 2/Semiconductor AlGaInP Diode Laser: 1mW/635 nm (red)
Power Source	
Battery type	Rechargeable Lithium-Ion battery
Battery operating time	4 hours +
Battery charging	2 bay charging system, 10-16 V input. Charging status indicated by LED's
AC operation	AC adapter, 90-260 VAC input. 12 V output to camera
Voltage	11-16 VDC
Power management	Automatic shut down and sleep mode after settable time
Environmental	
Operating temperature range	-15°C to +50°C (5°F to 122°F)
Storage temperature range	-40°C to +70°C (-40°F to +158°F)
Humidity	95% relative humidity +25°C to +40°C (+77°F to +104°F) non condensing
Water and dust resistant (encapsulation)	IP 54, IEC 529
Shock	25G, IEC 68-2-29
Vibration	2G, IEC 68-2-6
Physical Characteristics	
Weight	0.88 kg (1.94 lb.)
Size (L x W x H)	106 x 201 x 125 mm (4.2 x 7.9 x 4.9 in.), with lens pointing forward
Tripod mounting	1/4" - 20
Interfaces	
USB (cable included)	Image transfer to PC
Video output	NTSC Video
Software	
QuickReport™	Included
Reporter™ 8 (Microsoft® Word based)	Optional