



**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O ENSAIO DE PERCUSSÃO E
TERMOGRAFIA PARA IDENTIFICAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES
PATOLÓGICAS EM FACHADA**

CURITIBA2021



MAURO HENRIQUE KENJI TOZI FUKUNAGA
DIRCEU MEURGEY AFARA SALDANHA ROCHA

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O ENSAIO DE PERCUSSÃO E
TERMOGRAFIA PARA IDENTIFICAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES
PATOLÓGICAS EM FACHADA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Pós Graduação em Patologia das Obras Civas, Pós-Graduação *lato sensu*, do Instituto IDD como requisito parcial para a obtenção do Grau de Especialista em Patologia nas Obras Civas.

Orientador: Prof. Msc. Luís César De Luca.

CURITIBA
2021

RESUMO

Os revestimentos de argamassa e cerâmico de fachada são utilizados frequentemente em edifícios residenciais e comerciais, ou seja, a sua importância caracteriza-se pelo seu uso intenso, desempenhando importantes funções estéticas e de proteção do edifício, inclusive a sua importância está relacionada aos custos diretos da construção e de manutenção de fachadas. O presente trabalho tem como objetivo comparar os resultados obtidos pelos métodos de percussão e termografia para identificar manifestações patológicas em fachadas de revestimento cerâmico ou de argamassa. Para tanto, foi elaborada uma comparação em um estudo de caso em que foi utilizada uma câmera termográfica do modelo S60 MyFLIR e o teste de percussão com martelo com pontas em PVC para o mapeamento das manifestações do tipo deslocamento e deslocamento do revestimento cerâmico e de argamassa de fachada. A referência literária teve ênfase nas anomalias do tipo deslocamento em revestimento cerâmico e a de argamassa de fachada, bem como, a técnica da termografia infravermelha utilizada para detectar regiões que apresentam problemas. No estudo de caso, foram coletados dados e comparadas as regiões com anomalias do termograma concedido pela câmera termográfica com o mapeamento pelo ensaio de percussão, porém, os resultados apresentaram uma grande diferença. O método de registro com a câmera termográfica do modelo S60 MyFLIR, não demonstrou eficiência para a detecção de anomalias de deslocamento de revestimento da fachada. E por fim, chegou-se a conclusão que existe uma diferença considerável entre os dois ensaios, validando os objetivos e hipóteses deste trabalho.

Palavras chaves: termografia, ensaio de percussão, termograma.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Subsistemas dos revestimentos.	20
Figura 2 – Descolamento e deslocamento de revestimento cerâmico.....	25
Figura 5 – Fatores que influenciam na aderência do revestimento.....	26
Figura 5 – Esquematização dos sensores de campo de visão instantâneo (IFOV)	30
Figura 5 – Esquematização do funcionamento do campo de visão.	31
Figura 6 – Teste de percussão em fachada.	32
Figura 7 – Localização da edificação.	33
Figura 8 – Fachada Norte (principal).....	34
Figura 9 – Fachada Sul (fundo).	35
Figura 10 – Fachada Oeste (direita).....	35
Figura 11 – Fachada Leste (esquerda).	36
Figura 12– Martelo de percussão com pontas em PVC.....	36
Figura 13 - Ilustração da região de falha de aderência em revestimentos cerâmicos.	37
Figura 14 - Ilustração da região de falha de aderência em revestimentos cerâmicos.	38
Figura 15 – Resultado do teste de percussão na fachada Norte (revestimento cerâmico).	39
Figura 16 – Ilustração da região de falha de aderência em revestimentos argamassados.	40
Figura 17 – Resultado do teste de percussão na fachada leste (revestimento argamassado).	41
Figura 18 – Resultado do teste de percussão na fachada sul (revestimento argamassado).	41
Figura 19 – Resultado do teste de percussão na fachada Oeste (revestimento argamassado).	42
Figura 20 – Celular Cat S60 com câmera termográfica Flir acoplada.....	43

Figura 21 – Termogramas da fachada frontal (Norte) no período da manhã (esquerda) e período da tarde (direita).	45
Figura 22 – Termogramas da fachada fundo (Sul) no período da manhã (esquerda) e período da tarde (direita).	46
Figura 23 – Termogramas da fachada esquerda (Leste) no período da manhã (esquerda) e período da tarde (direita).	47
Figura 24 – Termogramas da fachada direita (Oeste) no período da manhã (esquerda) e período da tarde (direita).	48
Figura 25 – Termogramas da fachada direita (Oeste) no período da manhã (esquerda) e período da tarde (direita).	48
Figura 26 – Comparação dos ensaios na fachada Norte (revestimento cerâmico).	50
Figura 27 – Comparação dos ensaios na fachada Sul (revestimento argamassado).	51
Figura 28 – Comparação dos ensaios na fachada Leste (revestimento argamassado).	52
Figura 29 – Comparação dos ensaios na fachada Oeste (revestimento argamassado).	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores de emissividade dos materiais de construção.....	29
Tabela 2 – Especificações da câmera termográfica Flir acoplada ao celular Cat S60.	44
Tabela 3 – Resumo dos resultados obtidos.....	54

SUMÁRIO

RESUMO	3
LISTA DE FIGURAS	4
LISTA DE TABELAS.....	6
SUMÁRIO.....	7
1. INTRODUÇÃO	11
1.1. PROBLEMA DE PESQUISA.....	12
1.2. OBJETIVOS.....	12
1.2.1. Objetivo Geral	12
1.2.2. Objetivos Específicos	12
1.3. HIPÓTESE	13
1.4. JUSTIFICATIVAS.....	13
1.4.1. Tecnológica	13
1.4.2. Social e Ambiental	14
1.4.3. Econômica.....	14
1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	15
1.6. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO.....	16
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1. REVESTIMENTO DE FACHADAS	18
2.2. PRINCIPAIS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM REVESTIMENTOS DE FACHADAS	20
2.2.1. Manifestações patológicas do tipo descolamento e deslocamento de revestimento	24
2.3. TERMOGRAFIA.....	26
2.4. ENSAIO DE PERCUSSÃO.....	31
3. ESTUDO DE CASO.....	33
3.1. ENSAIO DE PERCUSSÃO.....	36
3.2. ENSAIO DE TERMOGRAFIA.....	42
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	49

4.1. FACHADA NORTE	49
4.2. FACHADA SUL	50
4.3. FACHADA LESTE.....	52
4.4. FACHADA OESTE	53
4.5. RESUMO DOS RESULTADOS	54
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS	
FUTUROS.....	56
5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	56
5.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	58
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho possui como temática principal, a comparação do ensaio de percussão e termografia para análise das condições de aderência do revestimento de fachada. A utilização de novas metodologias de inspeção vem ganhando cada vez mais espaço na construção civil por acrescentar um maior embasamento aos relatórios técnicos e entendimento dos sistemas analisados sem a necessidade de danificar a estrutura, chamados de ensaios não destrutivos, ou até mesmo facilitando a obtenção de informações sobre as fachadas, sem a necessidade de acessar a envoltória manualmente, resultando assim, em uma inspeção com menor custo, tempo de realização e maiores subsídios para o entendimento das anomalias.

Segundo a ABNT NBR 13529:2013 e ABNT NBR 13749:2013, os revestimentos de fachada são definidos como elementos da edificação em contato com o meio externo, formados por um conjunto de camadas sobrepostas e interligadas de argamassa, os quais são aplicados sobre uma base ou substrato e devem resistir a ação de variações de temperatura e umidade. O revestimento de fachada tem como função proteger a edificação da chuva, umidade, agentes agressivos, auxiliar no isolamento termoacústico e finalmente contribuir para função estética da fachada. Porém, tem se observado o aparecimento de manifestações patológicas frequentes, sendo uma das suas características o deslocamento e descolamento de revestimento argamassado e cerâmico que podem ter várias causas. (SABBATINI et al., 1998).

Dentro das principais origens de manifestações patológicas do tipo descolamento e deslocamento de revestimento de fachada estão as ocasionadas por falhas de projeto, utilização de materiais inadequados, erros de execução, podendo ser por mão-de-obra desqualificada, problemas de manutenção e a não conformidade com relação às normas técnicas. (BAUER, 2008).

Visto isso, para o diagnóstico são utilizadas as técnicas de percussão como método de inspeção para verificação de áreas superficiais com ferramenta não

contundente (martelo com pontas em PVC) e nos últimos anos tem se utilizado o ensaio termográfico como técnica auxiliar para a detecção de regiões de revestimento de fachada com manifestações patológicas (CUNHA, 2016). Assim, nasce o problema de pesquisa exposto abaixo.

1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

O ensaio de termografia leva aos mesmos resultados que o ensaio de percussão quanto as manifestações patológicas no sistema de revestimento de fachadas?

1.2. OBJETIVOS

Neste item serão apresentados os objetivos desta pesquisa, tanto o objetivo geral como específicos.

1.2.1. Objetivo Geral

Comparar os resultados obtidos pelos métodos de percussão e termografia para identificar manifestações patológicas em fachadas de revestimento cerâmico ou de argamassa.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Comparar os resultados do ensaio termográfico em diferentes horários do dia.
- Comparar o grau de compatibilidade do ensaio de percussão com o ensaio de termografia em diferentes tipos de revestimentos (argamassado e cerâmico).

1.3. HIPÓTESE

Presume-se que exista uma diferença qualitativa e quantitativa nas manifestações patológicas constatadas entre os tipos de ensaios adotados.

1.4. JUSTIFICATIVAS

Este item apresenta as justificativas tecnológicas, socioambientais e econômicas, no que diz respeito ao uso do ensaio, utilizando termográfico como meio alternativo e não destrutivo para a detecção e análise das manifestações patológicas em fachadas.

1.4.1. Tecnológica

O ensaio de termografia em fachadas vem com o objetivo de detectar e constatar manifestações patológicas na envoltória de uma edificação, através de medição de diferenças nos gradientes de temperatura encontrados na fachada. Sendo assim, podem ser identificados deslocamentos de revestimentos cerâmicos e/ou revestimentos argamassados como emboço, caracterizados pela má aderência ao substrato. Este é um ensaio de fácil execução, sendo a grande dificuldade, o entendimento do comportamento térmico das fachadas e manifestações patológicas, assim como, a interpretação das imagens obtidas pela termografia.

A termografia pode ser utilizada no ato da inspeção predial, como uma ferramenta para a constatação de manifestações patológicas em fachadas, como uma forma comprobatória de infiltrações e falhas na aderência entre substrato e revestimento, sendo utilizada como auxílio para diminuir a subjetividade do estado da fachada, em primeiro momento.

No presente trabalho será discutido até que ponto um ensaio termográfico pode substituir ou não, um ensaio de percussão, quais manifestações patológicas encontradas

na termografia são compatíveis com as encontradas no ensaio de percussão de uma forma a mitigar incertezas no que se refere a validação do ensaio de termografia.

1.4.2. Social e Ambiental

A utilização de sistemas de revestimentos de fachadas, tanto o revestimento cerâmico como o sistema argamassado e pintura, tem como uma de suas funções a proteção da envoltória das edificações, sendo que uma vez comprometido ou com falhas na proteção, poderá desencadear um processo de degradação que não somente afetará outros sistemas da edificação como se tornará mais favorável a atuação de agentes deletérios, atmosféricos e biológicos que podem ocasionar a desvalorização de um imóvel e também desconfortos estéticos e de salubridade.

Sendo assim, com o presente estudo será possível validar o ensaio termográfico e fortificar a necessidade do ensaio de percussão para a identificação, tomadas de decisões quanto à recuperação e manutenção, bem como, sobre a prevenção das manifestações patológicas que poderão ocorrer e ocasionar os desconfortos citados anteriormente.

1.4.3. Econômica

Atualmente, existe uma quantidade considerável de edifícios que possuem dificuldades e obstáculos para o acesso à fachada, demandando uma logística de inspeção mais elaborada, sendo necessário um planejamento para a instalação de pontos de ancoragem para a prática do rapel ou até mesmo para uso de balancins e em alguns casos, o uso de andaimes, todas essas soluções fazem com que o custo para a inspeção seja onerado e muitas vezes declinados pelos responsáveis do imóvel, que acabam por não ter nenhuma informação com relação a sua fachada.

Com a utilização do ensaio termográfico em fachadas, é possível obter uma avaliação inicial das condições da envoltória, com a detecção de algumas manifestações patológicas, como infiltrações e regiões com suspeitas de descolamento e deslocamento, além do comportamento térmico dos materiais que compõe a fachada.

Por se tratar de um ensaio de simples execução, pode ser incluso no escopo da inspeção predial, de uma forma preliminar em ensaios mais aprofundados e assim diminuir a subjetividade quanto a necessidade de um ensaio de percussão ou manutenção.

1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste trabalho serão analisados e comparados os resultados de ambos os ensaios que foram realizados *in loco*, em todas as fachadas de um mesmo edifício, que possui fachadas em revestimentos cerâmicos e argamassados, também serão analisados e comparados o grau de assertividade entre os ensaios e entre os tipos de revestimentos, e ao final, através da comparação de resultados, verificar a viabilidade do uso de termografia para a análise de aderência de revestimentos de fachadas, levando em consideração o modelo e especificações da câmera utilizada, fatores de interferência e restrições dos ensaios adotados. O procedimento metodológico desta pesquisa é de caráter de estudo de caso, no qual foi dividido em quatro etapas:

1. Estudo bibliográfico;
2. Estudo de caso;
3. Realização dos ensaios;
4. Comparação dos resultados.

O estudo bibliográfico tem como objetivo abranger os principais temas relacionados a pesquisa, de forma a fornecer subsídios para o entendimento da importância e função do sistema de revestimentos das fachadas, assim como, as principais manifestações patológicas presentes em envoltórias de edifícios, também serão abordadas as metodologias para a execução dos ensaios e seus critérios de validação.

Com o embasamento teórico apresentado serão percorridas as informações do estudo de caso no qual serão abordadas as descrições do imóvel analisado, contendo local, meio ambiente em que se encontra, principais agentes agressivos, concepção estrutural e todo o sistema e materiais que compõem a fachada.

Especificadas as caracterizações do imóvel estudado serão apresentadas as metodologias de execução dos ensaios, assim como, os equipamentos, ferramentas, materiais utilizados e os horários em que foram realizados os ensaios e tempo de execução.

Após a realização dos ensaios serão comparadas as regiões que foram detectados os deslocamentos no revestimento da fachada em metros quadrados, obtidos pelo ensaio de percussão e ensaio termográfico para que possam ser validadas as informações coletadas, a fim de obter as conclusões finais.

1.6. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

No capítulo 1 deste trabalho são apresentados o problema de pesquisa e seus objetivos geral e específicos de forma a auxiliar o entendimento do propósito do estudo, assim como, as principais justificativas para o trabalho, sendo elas, tecnológica, econômica, social e ambiental. Também será apresentada a metodologia adotada para a sequência do estudo utilizado.

No capítulo 2 será apresentada a revisão bibliográfica do presente trabalho, onde serão percorridos os principais temas para a compreensão dos ensaios utilizados, fatores de interferência no resultado, embasamento quanto a anomalias de aderência em revestimentos e os métodos para avaliação e validação dos ensaios.

Seguindo com o capítulo 3, no qual será apresentado o desenvolvimento do estudo de caso, como as características e concepções do edifício e sistema de revestimento de fachada, condições do ambiente de ensaio, especificações dos equipamentos utilizados e metodologia dos ensaios realizados.

O capítulo 4 apresenta a análise dos resultados deste estudo com base no grau de assertividade do ensaio de termografia em relação ao ensaio de percussão para se obter uma relação de validação.

O capítulo 5 apresenta as considerações finais do estudo, assim como, as recomendações para trabalhos futuros, de forma a agregar ainda mais conhecimento ao assunto.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O presente capítulo apresenta a fundamentação teórica pertinente ao trabalho, que se inicia em fachadas, passando por revestimentos, manifestações, até os ensaios que são o foco principal deste trabalho.

2.1. REVESTIMENTO DE FACHADAS

De acordo com a ABNT NBR 13529:2013, o revestimento em argamassa, trata do cobrimento de uma superfície com uma ou mais camadas superpostas de argamassa, constituindo um acabamento e podendo receber acabamento decorativo. As argamassas de revestimento são compostas por diversos materiais que são dosados adequadamente, entre eles: aglomerantes inorgânicos, agregados miúdos e água, com a possibilidade de utilizar aditivos e adições, obtendo assim, propriedades de aderência e endurecimento.

A principal função dos revestimentos de fachada é de garantir a estanqueidade da edificação à água, impedindo que ocorra infiltrações e consequentemente evitando manifestações patológicas relacionadas a umidade. (CARVALHO et al, 2017)

O sistema de revestimento cerâmico de fachada (RCF) ou o argamassado são divididos em subsistemas demonstrados na Figura 1, os quais são:

Base: O subsistema de suporte do revestimento de fachada que é constituído por alvenaria de vedação e elementos de estrutura de concreto. As alvenarias de vedação mais utilizadas são blocos cerâmicos e blocos de concreto.

Chapisco: Segundo Ferreira (2007), o chapisco é utilizado para o preparo da base que não se considera como camada do revestimento. A sua função é de aprimorar a base com uma textura rugosa resultando em uma porosidade adequada para uma melhor aderência das camadas seguintes.

O chapisco é composto por cimento, areia grossa e água com um traço geralmente utilizado de 1:3 (cimento:areia média – grossa). (ANTUNES, 2010)

Emboço: A camada de regularização proporcionando uma superfície homogênea para receber outras camadas, podendo ser a argamassa colante (camada de fixação) no caso dos revestimentos cerâmicos de fachada (RCF) ou o próprio reboco em caso de revestimento argamassado. (SANTOS, 2019)

A argamassa do emboço é realizada com uma proporção de 1:2:8 de cimento, cal, areia grossa ou média e água. (PEREIRA, 2018)

Reboco: Considerado como argamassa fina, é o subsistema que torna a textura da superfície da alvenaria de vedação mais lisa, pronta para a pintura. A granulometria utilizada na argamassa de reboco é mais fina que a do emboço. O reboco não é introduzido no caso de revestimentos cerâmicos de fachada (RCF). (COSTA, 2013)

O traço da argamassa utilizada no reboco é de 1:2:6 de cimento, cal, areia fina e água. (PEREIRA, 2018)

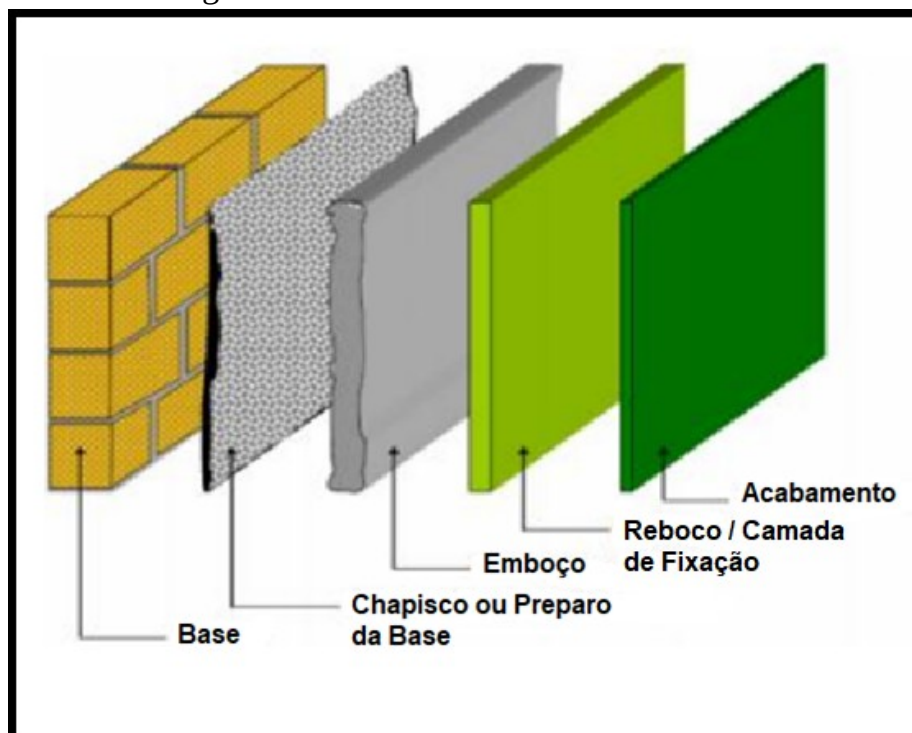
Argamassa de Fixação: A camada de fixação pode ser chamada como argamassa colante, sendo o material responsável pela aderência da placa cerâmica com a camada de emboço. A partir dessa camada distingue-se o revestimento cerâmico de fachada (RCF) com o revestimento externo argamassado.

As tensões de tração e cisalhamento que ocorrem na ligação entre a argamassa de fixação/emboço e argamassa de fixação/cerâmica devem ser resistidas por esse subsistema. (ALMEIDA, 2012 e SAKAMOTO, 2018)

A argamassa colante é um produto industrializado, o qual para o preparo se adiciona água e as relações são instruídas pelo fabricante. (ANTUNES, 2010)

Acabamento: O último subsistema, o qual, no caso dos revestimentos cerâmicos de fachadas (RCF) são constituídos por placas cerâmicas, rejuntas e juntas entre as placas. Devido a exposição a umidade, a diferença de temperaturas e demais intempéries, os materiais utilizados nesta camada final estão sujeitos as variações de dimensões como expansão e retração. (ALMEIDA, 2012)

Figura 1 – Subsistemas dos revestimentos.



Fonte: Adaptado de Freitas (2013).

2.2. PRINCIPAIS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM REVESTIMENTOS DE FACHADAS

As manifestações patológicas nos sistemas de revestimento cerâmico de fachada são caracterizadas pela deterioração em parte ou de todo o sistema. Basicamente, temos dois níveis de manifestações: que não geram riscos ao usuário e que geram riscos ao usuário, como o destacamento de uma placa cerâmica da fachada.

Helene (1992) define o termo patologia como “parte da engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e as origens dos defeitos das construções civis, ou seja, é o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema”.

As manifestações patológicas baseiam-se na situação onde o sistema de revestimento não exibe mais o desempenho previsto em algum momento de sua vida útil, ou seja, não exercendo mais suas funções. A manifestação patológica está

relacionada com a diminuição do desempenho antecipadamente, diante de erros de planejamento, especificação técnica, execução ou na utilização inapropriada, que podem se acumular na obra. (CAMPANTE, 2001)

Para Pedro et al., existem várias formas de classificação e de tratamentos das manifestações patológicas sobre sistemas de revestimento de fachada, as quais são classificadas dependendo de suas origens:

- Acidentais: São caracterizados por alguns fenômenos atípicos de recalques, ventos, chuvas e incêndios. Processos patológicos são desencadeados pelas ações que provocam intensidades de natureza imprevisível ou atividades atípicas, ocorrem com mais frequência na camada de base e sobre rejuntas.
- Adquiridas: Ocorre durante a vida útil dos revestimentos, devido ao ambiente que estão introduzidos, podendo ser resultantes da agressividade do ambiente ou da ação humana, devido a manutenção inapropriada ou execução incorreta de uma intervenção inadequada no revestimento, causando avarias nas camadas e assim, provocando um processo patológico.
- Congênitas: Originárias no projeto inicial, devido à falta ou erro de análise das normas técnicas ou por falha profissional, que resultam em erros no detalhamento e conclusão da execução inadequada dos revestimentos.
- Construtivas: Está relacionada ao processo de execução, devido à mão-de-obra inapropriada, utilização de produtos inadequados e falta de conhecimento para o processo de assentamentos de peças do revestimento.

Segundo Bauer (2008) e Chaves (2009), as manifestações patológicas em revestimentos de fachada, são resultantes de combinações de vários fatores como:

- Erros na especificação;
- Erros de projeto;
- Utilização inapropriada de materiais;
- Erros devido à fase de execução;
- Mão-de-obra desqualificadas;
- Falta de manutenção
- Deformação higroscópica;
- Deformação térmica;
- Deformações estruturais;

Embora presentes em alguns componentes específicos, as manifestações patológicas no sistema de revestimentos de fachada podem ou não ter origem no mesmo. Elas podem estar relacionadas a danos ou defeitos de outros elementos da edificação, o qual, por contato direto ou não, resultam na propagação da falha ou danos.

As principais manifestações patológicas nos revestimentos de fachada, segundo Cincotto (1988), Bauer (2008) e Milito (2009) são:

- Vesículas:

São descolamentos do reboco ou da pintura os quais formam bolhas com umidade.

As causas são infiltração de umidade, hidratação lenta do óxido de cálcio da cal, pirita ou matéria orgânica na areia (cor escura), concentrações ferruginosas na areia e aplicação prematura de tinta impermeável.

- Descolamento por empolamento:

São descolamentos do reboco em relação ao emboço formando bolhas que podem aumentar de diâmetro e sob percussão apresentam som cavo.

As causas são infiltrações de umidade e a hidratação lenta do óxido de magnésio.

- Descolamento em placas:

São placas endurecidas que se rompem ou desagregam-se. O revestimento sob teste de percussão apresenta som cavo.

As causas prováveis são placas frequentes de mica na camada interior, argamassa muito rica em cimento ou espessa, falta de aderência da superfície, argamassa magra ou ausência de chapisco.

- Descolamento com pulverulência:

Ocorre a desagregação da camada de reboco e o acabamento, no caso de revestimentos argamassados que recebem pintura. Os quais se descolam facilmente e desagregam ao serem comprimidos manualmente.

As causas provêm da argamassa magra ou tempo insuficiente para a carbonatação da cal existente na argamassa e camadas espessas de revestimento.

- Descolamento ou deslocamento de revestimento cerâmico:

São o deslocamento de peças cerâmicas.

As causas são: a falta de juntas de movimentação, a falha de execução na fase de assentamento e aplicação de rejunte das peças cerâmicas.

- Fissuras horizontais:

Aberturas no revestimento, localizadas ao longo da fachada, quando submetidas à percussão, apresentam som cavo.

As causas prováveis são: a expansão da argamassa por hidratação retardada e expansão da argamassa por reação cimento-sulfatos ou de argilo-minerais nos agregados.

- Fissuras mapeadas:

Estão localizadas de forma variada em toda superfície no formato de mapa e a principal causa é a retração da argamassa de base.

Perry e West (1994) categorizam as manifestações patológicas mais comuns em revestimentos cerâmicos de acordo com a camada onde ocorrem: falha das placas cerâmicas, defeito no substrato e defeito no adesivo.

Antunes (2010), Bauer (2008) e Medeiros (1999) ressaltam que as manifestações patológicas de fachadas com revestimentos cerâmicos resultam de combinações, como por exemplo, os deslocamentos e fissuras, as quais podem ter sido originadas na interface do revestimento com a estrutura, ocasionadas pela falta de juntas de controle, execução inadequada ou falta de reforço de substrato (emboço), execução inadequada das juntas de assentamento, na falta ou no excesso de argamassa de fixação das placas cerâmicas, no erro de execução dos tempos em aberto e de ajuste da argamassa colante.

Este estudo está limitado a abordar as manifestações patológicas do tipo descolamento e deslocamento, pois são as diagnosticadas utilizando os métodos de ensaio de percussão (som cavo) e pelo ensaio termográfico.

2.2.1. Manifestações patológicas do tipo descolamento e deslocamento de revestimento

A manifestação patológica que apresenta maior risco ao usuário é o de destacamento do revestimento cerâmico de fachada, a qual, pode causar danos à integridade física dos usuários, inclusive a perda de vidas humanas.

Para Gomes et al., (1997), o descolamento de revestimento cerâmico de fachada está relacionado ao projeto, desde a concepção do edifício, a falta de integração entre projetos, a seleção de materiais inadequados e falhas básicas como o posicionamento de juntas de dilatação e telas metálicas.

A manifestação patológica do tipo descolamento de revestimento apresenta uma extensão variável, podendo estar restrita a pequenas áreas ou até compreender todo o sistema de revestimento. Os descolamentos são originários de tensões geradas que superam a capacidade de aderência, onde os revestimentos apresentam som cavo quando

submetido ao ensaio de percussão. A Figura 2 demonstra alguns casos de deslocamento e descolamentos de placas cerâmicas (BAUER, 2008 e CHAVES, 2009).

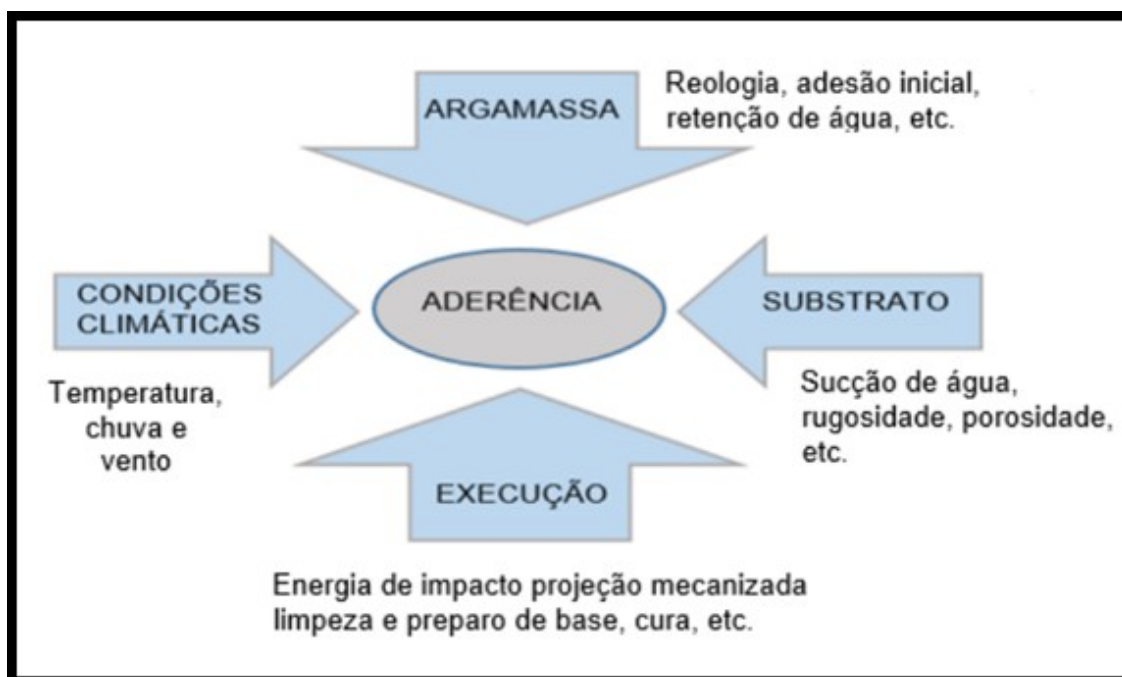
Figura 2 - Descolamento e deslocamento de revestimento cerâmico.



Fonte: Congresso brasileiro de engenharia de avaliações e perícias, IBAPE.

Almeida (2012) e Barros, et al (2018) comentam que a perda de aderência é originada por uma degradação da superfície, falhas ou rupturas na interface do revestimento cerâmico com a argamassa de assentamento ou da mesma com o substrato, devido as tensões superiores, a capacidade das ligações, além de estar diretamente ligada com a trabalhabilidade da argamassa e o processo de execução, somando as características do substrato e outros fatores externos, estão relacionados na Figura 3 que demonstra os principais fatores que exercem influência na aderência.

Figura 3 - Fatores que influenciam na aderência do revestimento.



Fonte: Adaptada de Isaia (2010).

Nas fachadas mais expostas a incidência de radiação solar e de umidade sofrem alterações, resultando em tensões térmicas que atuam na argamassa colante e no revestimento cerâmico de fachada, com risco de ocorrer manifestações patológicas do tipo descolamento por meio da fadiga. O revestimento cerâmico descola mais rapidamente em placas de cores mais escuras, que ocorre devido à absorção térmica nas placas escuras ser maior em relação às de superfícies claras e assim, ocasionando maior concentração de calor no sistema (MOSCOSO 2013).

2.3. TERMOGRAFIA

A termografia é um método que detecta a radiação infravermelha emitida por materiais, assim, podendo aferir as temperaturas e a verificação de padrões de distribuição de calor em um sistema.

A técnica da termografia na construção civil é mais aplicada em inspeções prediais, como por exemplo: verificação de infiltrações de água, detecção de aberturas

nas estruturas, defeitos em materiais, vazios em elementos construtivos, análises de conservação de energia e o acompanhamento de sistemas elétricos e hidráulicos nas construções civis.

Para Titmans (2001), a termografia infravermelha é uma técnica utilizada em ensaios não destrutivos de equipamentos e acompanhamento de sistemas dinâmicos, a qual, é utilizada em diversos tipos de funções como nas áreas: militar, medicina, veterinária, mecânica industrial, elétrica e engenharia civil.

Para Barreira (2004), as vantagens da utilização da termografia como ferramenta de diagnóstico, se dá pela sua eficiência de visualização, podendo uma mesma captura de imagem fornecer pontos frios e quentes e zonas de diferentes emissividades

As principais vantagens das câmeras de imagem térmica são a rápida velocidade de inspeção, a possibilidade de interpretação em tempo real da imagem e o fato da tecnologia não ser destrutiva. As principais desvantagens desse método incluem os componentes com espessuras pequenas que precisam ser inspecionados e o custo de aquisição de equipamentos é relativamente alto (TARPANI, 2009), porém, o custo ao ser comparado com a logística de um ensaio de percussão, levando-se em conta, balancim, profissionais qualificados e treinados, a possibilidade de viabilização de acesso da fachada por meio destes profissionais, pode vir a ser vantajoso, uma vez que a câmera permite em um só equipamento e a sensibilidade do operador, um diagnóstico qualitativo e também quantitativo.

Andrade (2020) cita que as inspeções qualitativas são aquelas que permitem obter padrões térmicos, como forma de uma inspeção inicial onde será realizada a análise de padrões de imagem para descobrir se apresenta alguma anomalia e sua localização. Quanto a análise quantitativa, permite mensurar melhor os parâmetros através de ajustes nos mesmos, possibilitando assim, uma medição de temperatura mais assertiva com critérios quantitativos de região com anomalias e extensão, classificando com maior precisão, a severidade da anomalia.

Segundo Aidar (2009) a possibilidade de diagnosticar o descolamento de revestimentos de fachadas aplicando o ensaio termográfico, ocorre devido a pequena

espessura dos materiais dos subsistemas dos revestimentos de fachadas e a presença de ar entre as camadas. A região de deslocamento apresenta perda de aderência em função da concentração de calor na superfície dos materiais, pois o ar entre as camadas apresenta uma condutividade térmica menor que a dos materiais utilizados para revestimentos de fachadas.

Maldague (2001) cita que a termografia pode ser dividida em dois tipos, sendo a passiva e a ativa. Na termografia passiva, o objeto alvo não recebe estímulo artificial, apenas natural (radiação solar) e é analisada principalmente de forma qualitativa por meio de alterações no gradiente de temperatura. Na termografia ativa, há um estímulo térmico que pode ser empregado de forma pulsada (pulso térmico instantâneo) ou de forma prolongada (aquecimento contínuo e gradual). A termografia ativa ainda possibilita ter uma análise quantitativa em relação ao objeto estudado, como melhor medição de temperatura e maior precisão.

Dentro da técnica de detecção de anomalias pelo ensaio termográfico deve-se atentar a diversos parâmetros que são divididos em duas características, sendo as que se referem ao equipamento em si: resolução geométrica, foco, ângulo de visão. E as que se referem ao alvo propriamente dito: emissividade, reflexão (geometria e posicionamento), distância ao alvo, natureza do material, temperatura e umidade do ambiente (BAUER e PAVÓN, 2015).

A emissividade (ϵ) de um material depende do comprimento de onda, da direção do observador em relação a superfície do material e sua temperatura. Assim, compondo uma razão entre a radiância da superfície do material e a radiância do corpo negro. (BARREIRA 2004).

Na Tabela 1 é possível observar valores de emissividade para vários materiais de construção conforme sua temperatura, ângulo de medição e comprimento de onda (ANHAS 2018).

Tabela 1 – Valores de emissividade dos materiais.

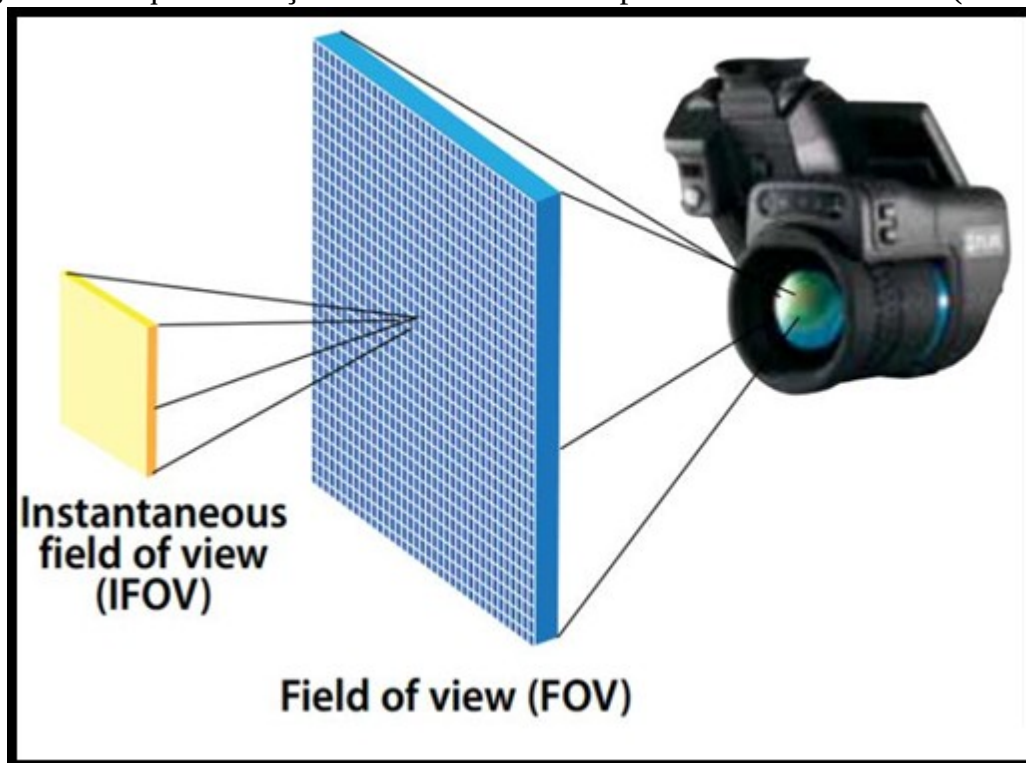
<i>Material</i>	<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Emissividade (ε)</i>	
<i>Aço com ferrugem</i>	20	0.69	Metais
<i>Aço muito oxidado</i>	50	0.88	
<i>Aço não oxidado, polido</i>	100	0.07-0.08	
<i>Alumínio, superfície rugosa</i>	20-50	0.06-0.07	
<i>Cobre polido</i>	21-100	0.02-0.03	
<i>Cobre rugoso</i>	38	0.74	
<i>Ferro enferrujado</i>	20-25	0.61-0.85	
<i>Ferro galvanizado, brilhante</i>	-	0.13	
<i>Ferro não oxidado, polido</i>	100	0.05-0.07	
<i>Ferro oxidado</i>	100	0.64-0.74	
<i>Água</i>	38	0.67	Não metais
<i>Alcatrão</i>	-	0.79-0.84	
<i>Alvenaria de pedra</i>	38	0.93	
<i>Areia</i>	20	0.60-0.76	
<i>Betão</i>	0-100	0.92-0.94	
<i>Betão castanho</i>	-	0.83-0.87	
<i>Betão cinzento</i>	-	0.62-0.63	
<i>Cimento</i>	-	0.54	
<i>Gelo</i>	0	0.96-0.97	
<i>Granito</i>	21	0.45	
<i>Gravilha</i>	38	0.28	
<i>Madeira</i>	-	0.80-0.90	
<i>Madeira, carvalho</i>	38	0.91	
<i>Mármore branca</i>	38	0.95	
<i>Mármore cinzenta, polida</i>	20-22	0.93	
<i>Papel branco</i>	20	0.70-0.95	
<i>Papel preto mate</i>	-	0.94	
<i>Pedra calcária</i>	38	0.95	
<i>Reboco</i>	-	0.91	
<i>Solo argiloso</i>	20	0.66	
<i>Solo, arado</i>	20	0.38	
<i>Tijolo refratário</i>	20	0.85	
<i>Tijolo vermelho</i>	20-21	0.88-0.93	
<i>Vidro</i>	0-100	0.91-0.94	

Fonte: Anhas (2009).

Segundo Sakamoto e Fioriti (2017), a distância em que o equipamento se encontra do alvo é de extrema importância, uma vez que o equipamento ao captar pontos de radiação corresponde a uma área de superfície, assim, perdendo detalhes quanto maior a distância também será maior a área de superfície, que passará a apresentar uma média de radiação emitida.

Segundo Flir (2015), os termovisores costumam especificar o campo de visão instantâneo IFOV (Instantaneous Field of View) de seus equipamentos, sendo este definido como o campo de visão de um único elemento do detector da matriz, ou seja, um píxel, conforme ilustra Figura 4.

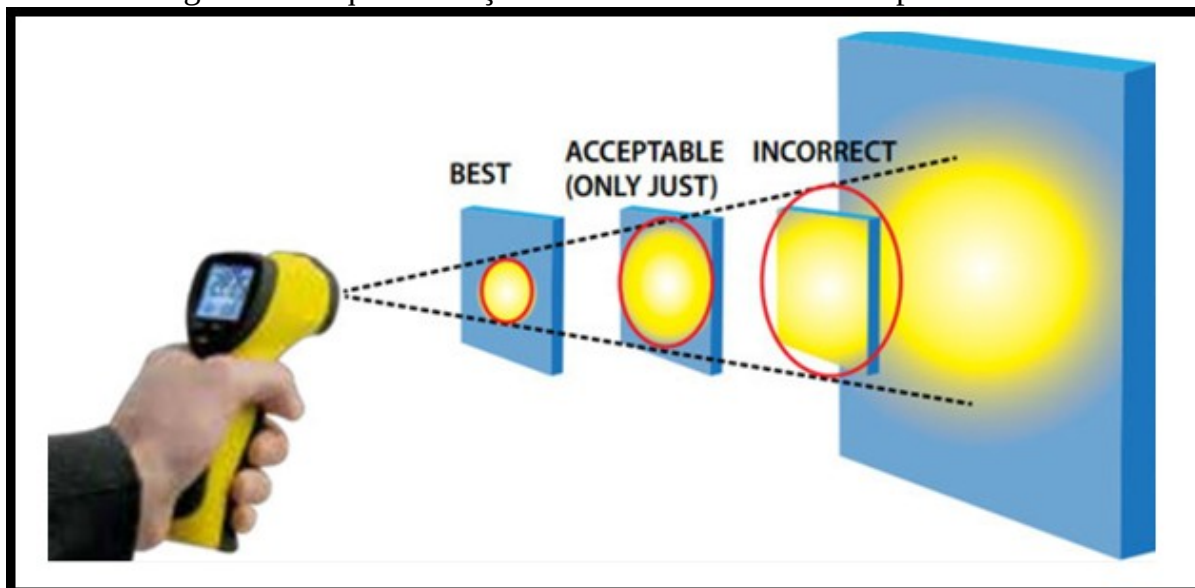
Figura 4 – Esquematização dos sensores de campo de visão instantâneo (IFOV).



Fonte: Flir (2015).

Segundo Veratti (1992), para se obter uma medição precisa de temperatura é necessário que o campo de visão instantâneo (IFOV) seja menor ou igual a área medida; na prática, o ideal é que o IFOV seja no máximo metade da área medida e assim, minimizar o efeito da média do detector na medição. Tal técnica também auxilia na não interferência de elementos e componentes próximos ao alvo de estudo. A Figura 5, demonstra os cenários ideais e incorretos para a medição com uso do equipamento.

Figura 5 – Esquematisação do funcionamento do campo de visão.



Fonte: Flir (2015).

Dito isto, é possível afirmar que quanto maior o FOV, maior será a área de abrangência visual e assim uma menor resolução, do mesmo modo que o inverso é válido, quanto menor o FOV, menor a área de abrangência e, portanto, maior a resolução. Considerando que o número total de sensores, consequentemente de pixels, seja fixo para cada tipo de câmera.

2.4. ENSAIO DE PERCUSSÃO

O objetivo do ensaio não destrutivo de percussão é verificar as condições de aderência do revestimento. Consiste na aplicação de impactos leves com martelo de cabeça de plástico sobre a superfície; as falhas nos revestimentos são diagnosticadas nas regiões com sons cavos demonstrados na Figura 6. O profissional qualificado deve ser orientado e certificado quanto ao trabalho em altura de acordo com a NR 35 para execução do ensaio, utilizando equipamentos como cadeira suspensa para a inspeção de todos os panos de fachadas (PACHECO, 2016).

Para a avaliação da aderência dos revestimentos, a ABNT 1349:2013 determina o teste de percussão por meio de impactos leves com a utilização de martelo de madeira com pontas de PVC como ferramenta.

Costa (2013) acrescenta que, para identificação do motivo real da causa da manifestação em caso de remoção da área comprometida, deve ser verificado em quais camadas ocorrem a falha. O trecho com som cavo passa por uma avaliação de um engenheiro de inspeção que definirá a necessidade de ensaios de resistência a aderência à tração em amostragens e por fim, a determinação quanto a remoção ou não da região, dependendo de sua localização.

Figura 6 – Teste de percussão em fachada.

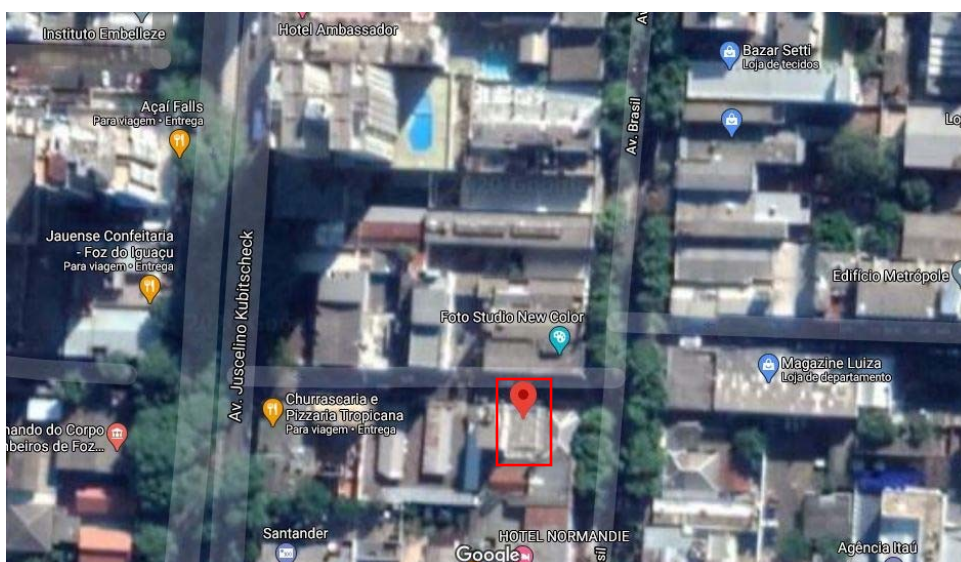


Fonte: Pacheco (2016).

3. ESTUDO DE CASO

Este trabalho foi realizado em edifício localizado na Travessa Júlio Pasa, 98 no centro do Município de Foz do Iguaçu/Paraná, conforme ilustrado pela Figura 7, possui 4 pavimentos, sendo pavimento térreo (loja) e três pavimentos tipo “uso comercial”. O imóvel possui 35 anos desde a finalização da construção; foi construído por concepção estrutural em concreto armado com blocos de vedação e possui revestimento externo em argamassa e pintura nas fachadas Sul, Leste e Oeste, e com revestimento cerâmico na fachada Norte (principal).

Figura 7 - Localização da edificação.



Fonte: Google Maps.

Foram utilizados ensaios não destrutivos com a finalidade de identificar e registrar anomalias como deslocamento e descolamento do revestimento, seja ele argamassado ou cerâmico, para isso, foram utilizados o método de ensaio de percussão que consiste na aplicação de golpes com martelo de percussão com ponta de borracha; tal ensaio, permitiu a constatação de regiões com descolamento ou deslocamento através da auscultação de som cavo, fenômeno que remete à falha de aderência do revestimento com o substrato, desta forma, foi possível obter uma análise comprobatória ao ensaio de termografia. O ensaio de termografia possibilitou a análise do fluxo de

calor irradiado de forma superficial na fachada por meio de gradientes de temperatura captados pelo equipamento termográfico em diferentes horários, ao amanhecer e ao entardecer, com o objetivo de obter diferentes gradientes relacionados ao fenômeno de ganho ou perda de calor dos materiais, influenciados por uma bolsa de ar por trás do revestimento, ocasionado pela falha de aderência.

Conforme dito anteriormente, a fachada principal é revestida com pastilhas cerâmicas, com medidas de 10x10cm, nas cores bege na parte central da fachada e na cor vermelho escuro nas faixas laterais do pano principal, totalizando uma área de 103,00 m², conforme ilustra a Figura 8.

Por se tratar de um edifício comercial, estão presentes na fachada principal, placas de propaganda com estrutura metálica e banner de alumínio, além de toldos e esquadrias de ferro e vidro.

Figura 8 - Fachada Norte (Principal).



A fachada Sul possui 98,00 m² e foi executada com revestimento argamassado e pintura por completo, é composta por esquadrias de ferro e vidro e abriga aparelhos condensadores de ar-condicionado, além de um duto metálico para instalações elétricas, conforme ilustrado na Figura 9.

Figura 9 - Fachada Sul (Fundo)



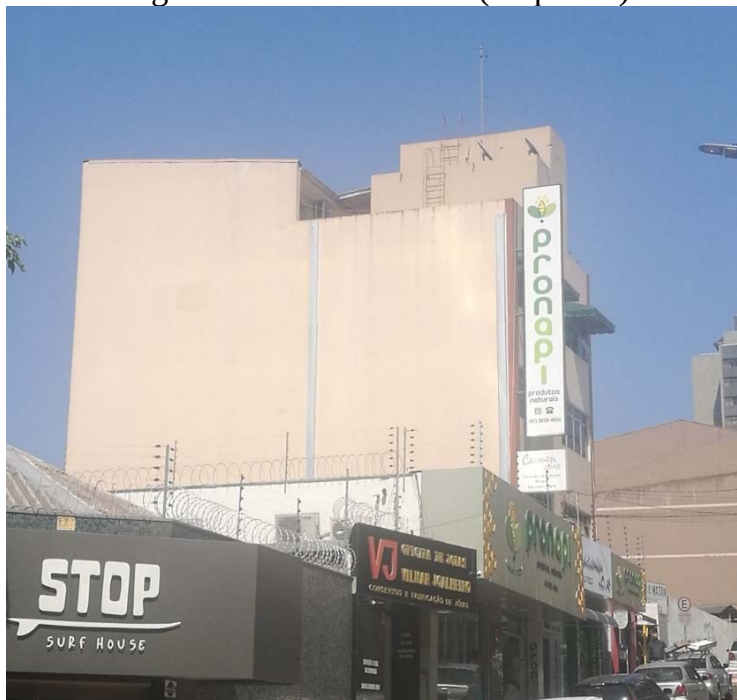
A Figura 10 refere-se a Fachada Oeste, que possui 184,00 m² de área executada totalmente com revestimento argamassado e pintura, não possui vãos, esquadrias e nem outros elementos fixados.

Figura 10– Fachada Oeste (Direita);



A Fachada Leste, possui os mesmos 184,00 m² de área da fachada anterior, sendo o revestimento adotado, o argamassado com pintura por toda sua extensão, não possui vãos, esquadrias e apenas dois condutores metálicos, conforme ilustra Figura 11.

Figura 1 – Fachada Leste (Esquerda)



3.1. ENSAIO DE PERCUSSÃO

O ensaio foi realizado por meio de percussão através de golpes leves e não contundentes utilizando martelo de percussão com pontas em PVC, conforme ilustra Figura 12, sobre o revestimento da fachada com o objetivo de detectar som cavo, fator que caracteriza uma falha de aderência entre o revestimento e a base, que o torna passível de descolamento ou deslocamento.

Figura 12 – Martelo de percussão com pontas em PVC.



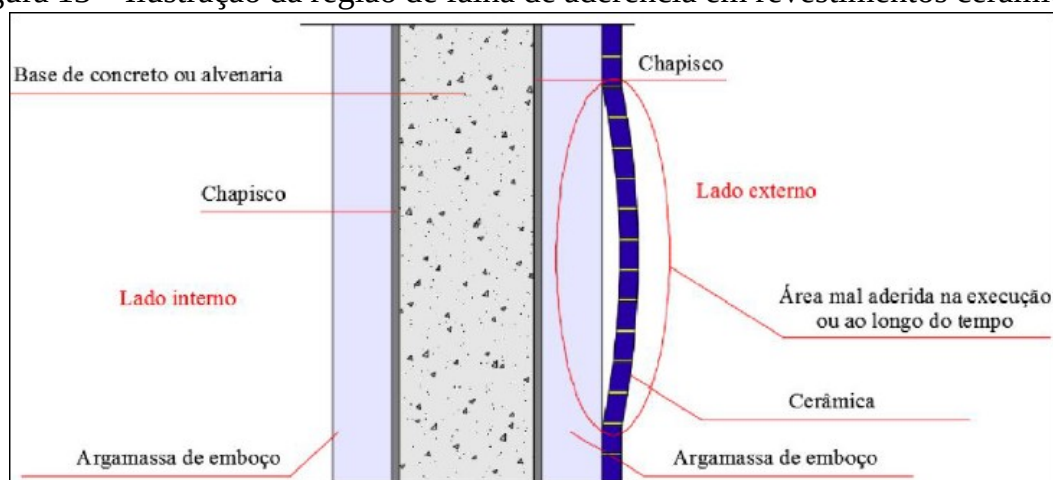
O ensaio foi realizado em toda a extensão das quatro fachadas do edifício (Norte, Sul, Leste e Oeste) por profissionais especializados e treinados para trabalhos em altura com utilização de técnicas de alpinismo.

As cordas foram fixadas em pontos de ancoragem, instaladas e testadas na parte interna das cintas de amarração de concreto localizado na platibanda e eventualmente, utilizando os pilares do ático para fazer desvios e assim possibilitar a inspeção em mais áreas da fachada.

Os profissionais foram orientados quanto ao som a ser detectado e através de aparelhos de rádio comunicador (walkie talkie), informar as regiões de som cavo assim que identificados; por se tratar de um trabalho didático, não foi possível demarcar as áreas nas fachadas, sendo assim, foram impressas plantas das fachadas em papel e anotadas as regiões de falha de aderência. Posterior a isso, todas as informações anotadas em via física, foram convertidas digitalmente, por meio do programa Auto Cad.

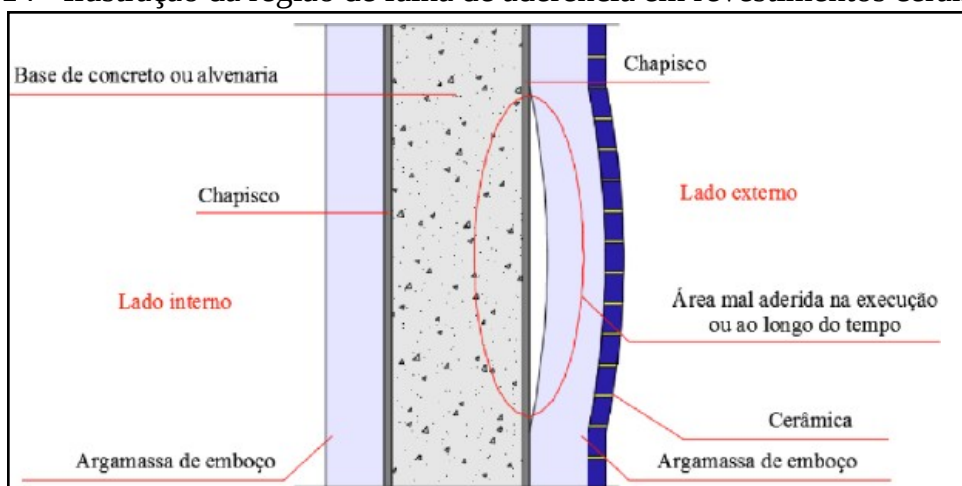
Para a fachada principal (Norte), revestida com revestimento cerâmico, a falha de aderência pode ocorrer na interface argamassa colante com argamassa de emboço, e em alguns casos, na interface argamassa colante com revestimento cerâmico, conforme ilustra Figura 13; nesses casos, o vazio é formado logo na primeira interface, constituindo uma camada pouca espessa (revestimento cerâmico) entre a base e o ambiente externo.

Figura 13 – Ilustração da região de falha de aderência em revestimentos cerâmicos.



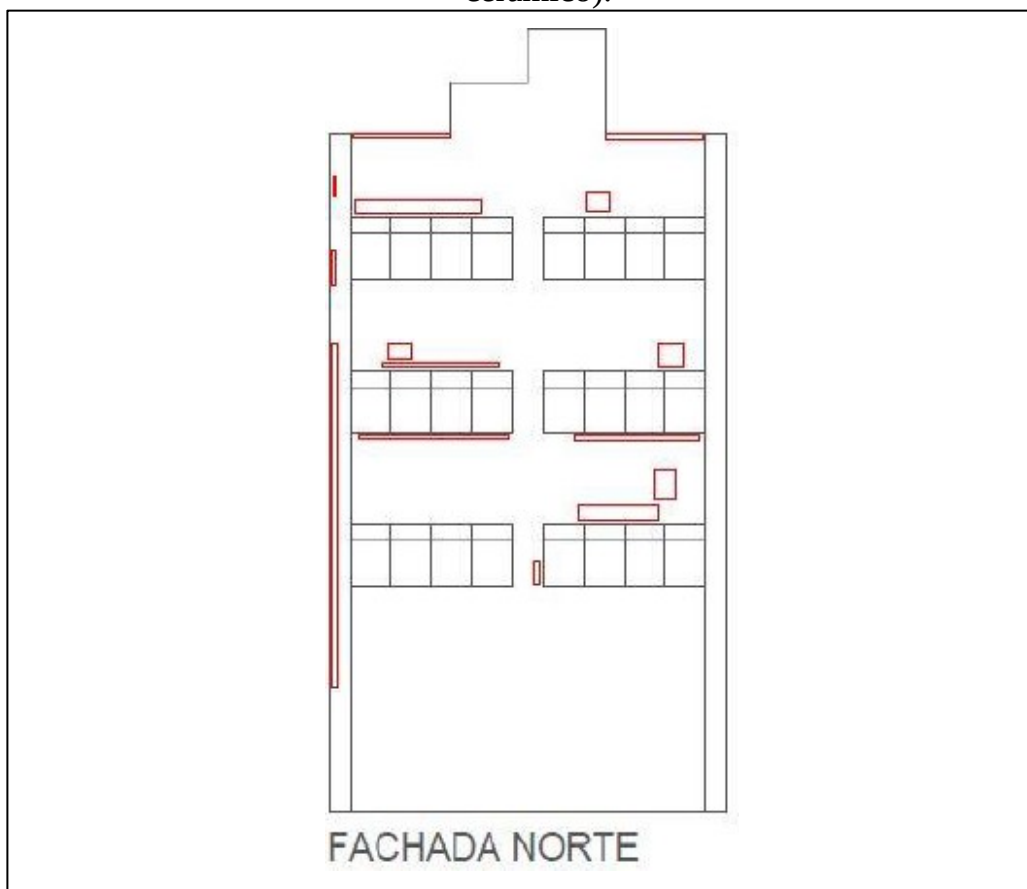
O descolamento em revestimentos cerâmicos também pode ocorrer na interface emboço/chapisco, causando o “som cavo” durante o teste de percussão, conforme ilustra Figura 14.

Figura 14 - Ilustração da região de falha de aderência em revestimentos cerâmicos.



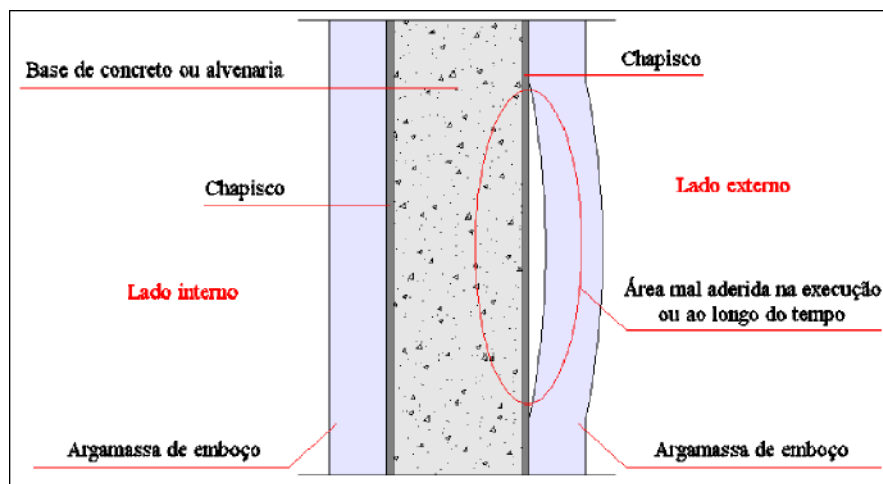
Após a realização do ensaio foi obtido o mapeamento de descolamento/desplacamento da fachada norte, revestida com pastilha, conforme ilustra a Figura 15, onde as demarcações em vermelho remetem às regiões em que foram identificados o “som cavo”, totalizando uma área de falha de aderência já iniciada de 3,10 m², o qual se remete à 3,01% do total da área do pano da fachada.

Figura 15 – Resultado do teste de percussão na fachada Norte (revestimento cerâmico).



Para as demais fachadas em revestimento argamassado, a falha de aderência tende a ocorrer na interface revestimento argamassado com substrato, conforme ilustra a Figura 16; nesse caso, a camada externa formada pelo vazio entre as interfaces, possui uma espessura maior que a do revestimento cerâmico.

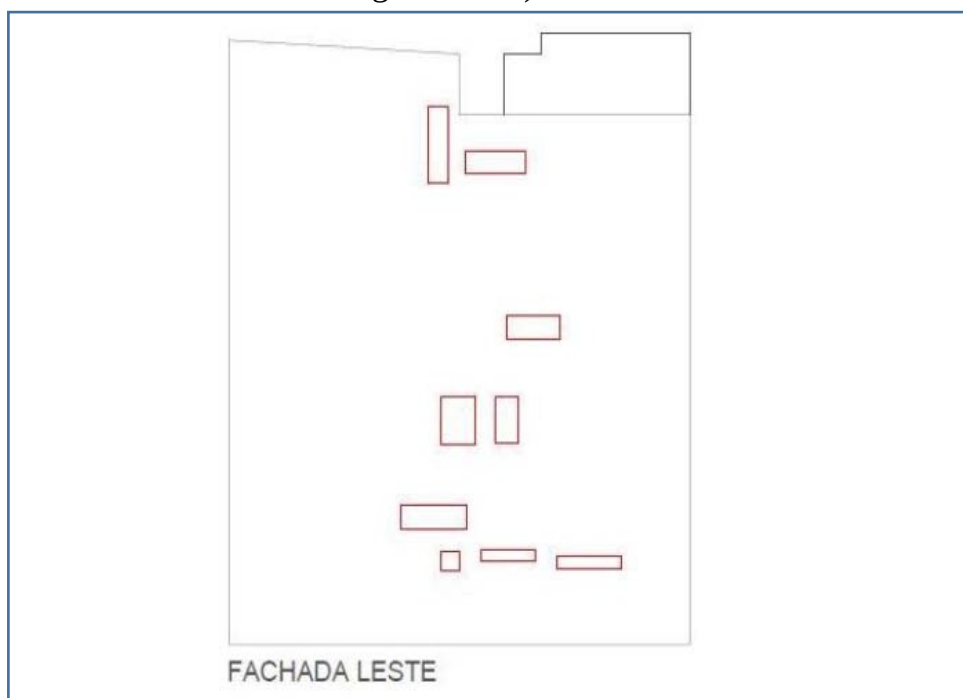
Figura 16 - Ilustração da região de falha de aderência em revestimentos argamassados.



Após a realização do ensaio, foi obtido o mapeamento de descolamento/desplacamento das fachadas Sul, Leste e Oeste, revestidas com revestimento argamassado e pintura, onde as demarcações em vermelho remetem às regiões em que foram identificados o “som cavo”.

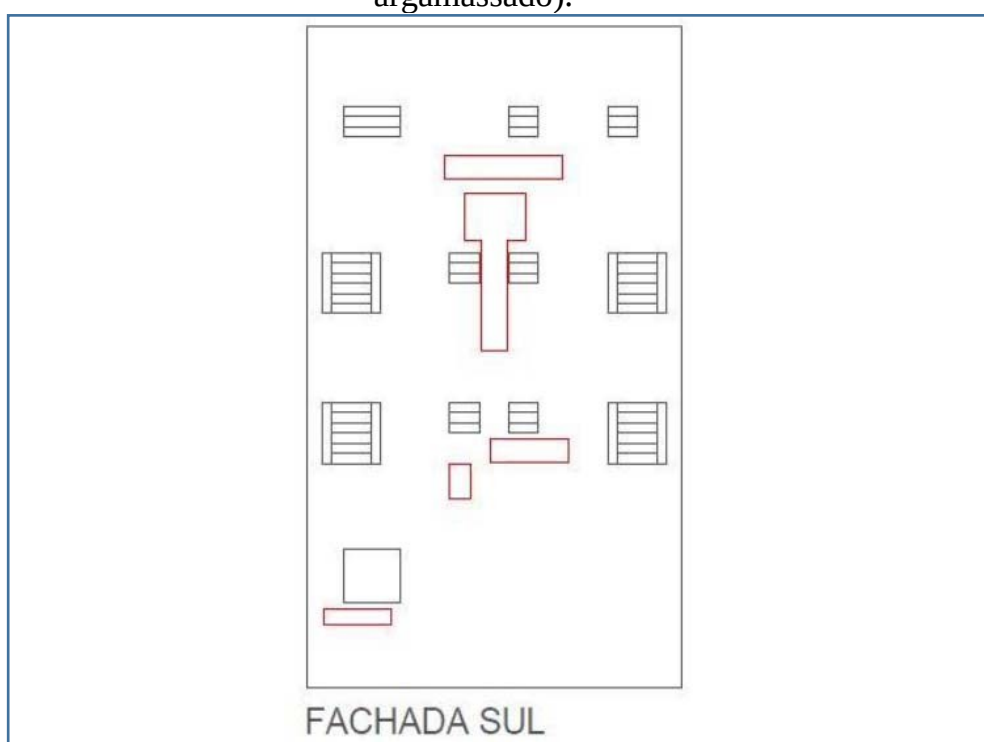
Para a fachada Leste constatou-se uma área de falha de aderência equivalente à $6,69 \text{ m}^2$ o qual se remete à $3,64\%$ do total da área inspecionada, o mapeamento das áreas com som cavo é ilustrado na Figura 17.

Figura 17 - Resultado do teste de percussão na fachada Leste (revestimento argamassado).



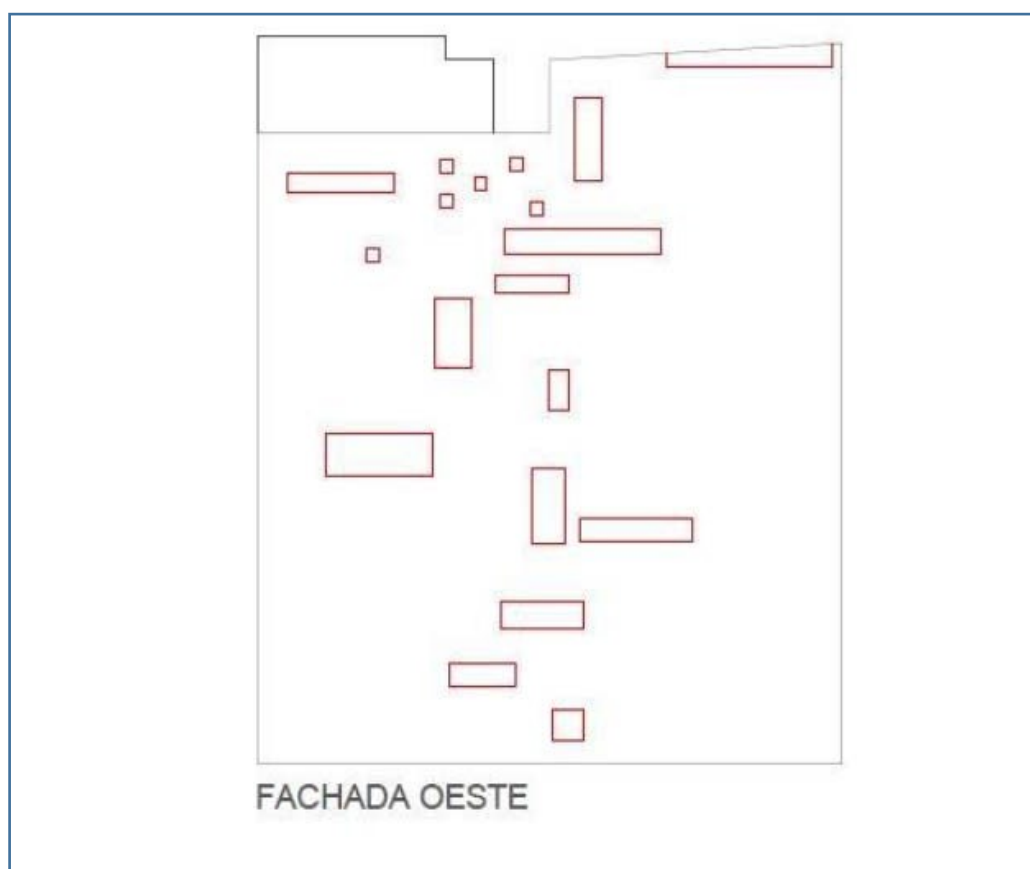
A Figura 18 ilustra o resultado do ensaio de percussão na Fachada Sul, onde a área constatada com som cavo, pelo ensaio de percussão, resultou em 4,83 m², equivalendo à um percentual de 4,93% da área total inspecionada pelo ensaio de percussão.

Figura 18 - Resultado do teste de percussão na fachada Sul (revestimento argamassado).



A fachada Oeste, dentro de todos os panos da edificação, foi o que apresentou o maior percentual de regiões com falha de aderência, sendo um total em área de 13,98 m² equivalente à 7,60% da área total desta fachada, sendo o resultado ilustrado pela Figura 19.

Figura 19- Resultado do teste de percussão na fachada Oeste (revestimento argamassado).



3.2. ENSAIO DE TERMOGRAFIA

O ensaio de termografia em envoltórias visa obter termogramas dos panos das fachadas possibilitando a análise e identificação de anomalias térmicas e correlacionando-as com possíveis manifestações patológicas. Para este estudo foram focadas as anomalias que remetem ao descolamento e deslocamento do revestimento cerâmico ou argamassado presentes nas fachadas, a fim de comparação com o ensaio de percussão.

Para este estudo foram fixados alguns parâmetros como emissividade de 0,95 e o ensaio foi realizado em dois horários, sendo eles às 9:00h (exploratória) e às 17:00h (comprobatória) de forma a se obter termogramas da mesma fachada em duas situações diferentes, sendo a primeira quando a temperatura está tendendo a aquecer e a segunda com a temperatura tendendo a esfriar, e assim, obter confirmação da presença da anomalia térmica.

Para isso foi utilizado o equipamento de imagem térmica da Flir acoplada ao celular da Caterpillar, o Cat S60, conforme ilustrado na Figura 20. As especificações do equipamento são apresentadas abaixo na Tabela .2

Figura 20 – Celular Cat S60 com câmera termográfica Flir acoplada.

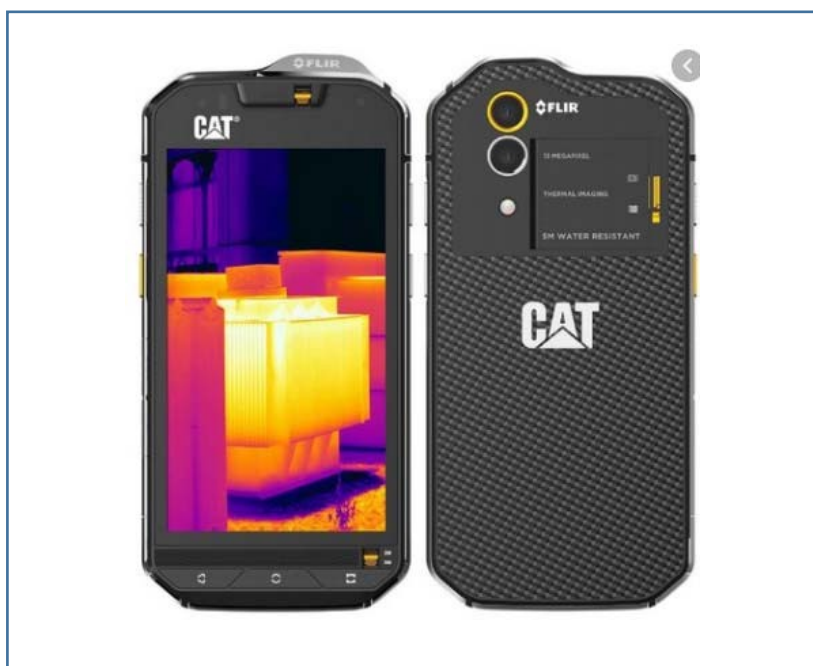


Tabela 2 – Especificações da câmera termográfica Flir acoplada ao celular Cat S60.

Especificação S60 MyFLIR

Módulo da câmara	
Câmaras térmicas e visuais com MSX	
Sensor térmico	Tamanho do pixel 17 mm, faixa espectral de 8 – 14 mm
Resolução térmica	80 x 60
Resolução visual	640 x 480
HFOV / VFOV	46° ± 1° / 35° ± 1°
Velocidade de fotogramas	8,7 Hz
Focagem	15 cm fixos - Infinito
Obturador incorporado	Automático/Manual
Radiometria	
Intervalo dinâmico da cena	-20 °C – 120 °C
Precisão	±5 °C ou ±5% Porcentagem da diferença entre a temperatura ambiente e da cena. 60s aplicáveis após o arranque quando a unidade se encontra entre 15 °C – 35 °C e a cena se encontra entre 10 °C – 120 °C.
Sensibilidade térmica (MRDT)	150 mK

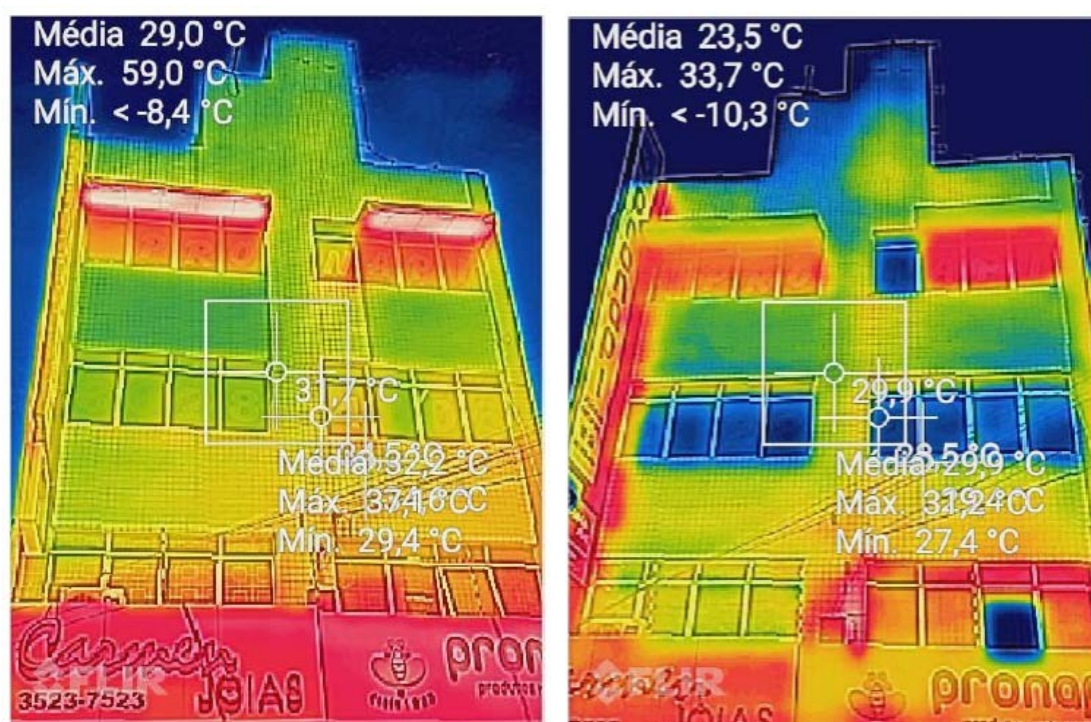
Nota-se que o equipamento possui resolução térmica de 80x60 pixels totalizando 4800 pixels, vale ressaltar que cada pixel corresponde a um sensor térmico, fator que representa a qualidade do termograma e seus detalhes.

Como mencionado, o objetivo do termograma é identificar anomalias térmicas, sendo os locais com diferenças no gradiente de temperatura passíveis de possuírem manifestações patológicas já instaladas; dito isto, as regiões onde apresentassem gradiente de temperaturas maiores pela manhã e pela tarde podem ser correlacionadas com quadros de descolamento do revestimento, uma vez que durante a manhã, horário em que a temperatura tende a aquecer, o local com vazio entre as interfaces tende a aquecer de forma mais rápida por se tratar de uma camada menos espessa e com a transmissão de calor com condutividade com a base menor. Já no período da tarde, em que a temperatura tende a diminuir, o revestimento deslocado tende a perder sua temperatura de uma forma mais rápida, uma vez que não possui contato direto com a base já aquecida, dificultando também a condução de temperatura com a base.

Vale salientar que a captação de diferenças no gradiente térmico tende a ser dificultado quando a falha de aderência está em camadas mais profundas, pois o ensaio termográfico é um ensaio com melhores resultados superficiais.

Abaixo encontram-se ilustrados os termogramas obtidos durante as campanhas de inspeção nos dois horários. Pode-se observar na Figura 21.

Figura 21 – Termogramas da fachada frontal (Norte) no período da manhã (esquerda) e período da tarde (direita).

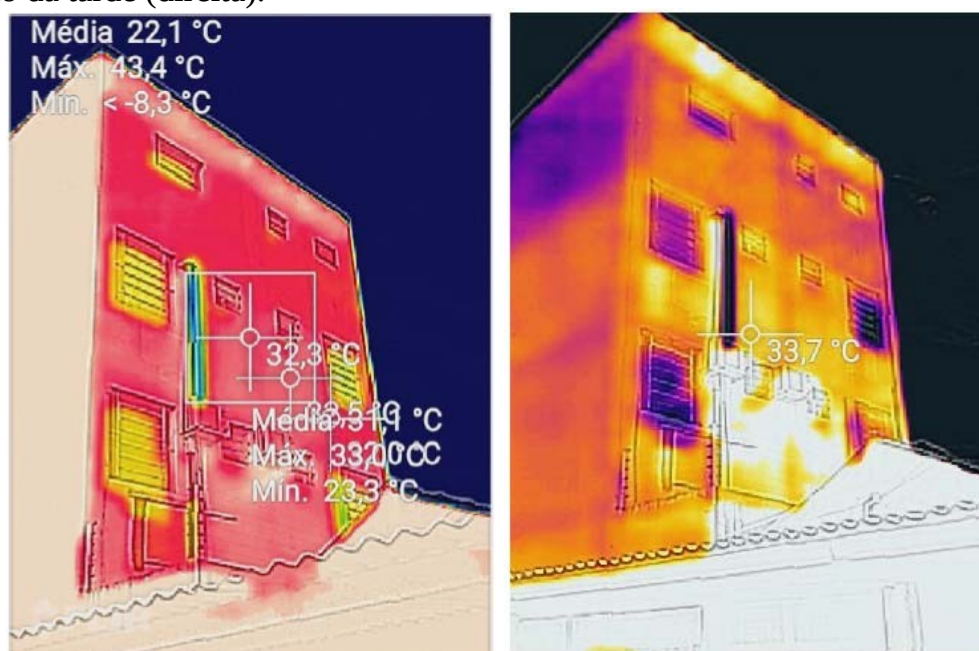


Por se tratar da fachada Norte, durante o período da manhã (termograma à esquerda) a luz solar não reflete diretamente nesta fachada, fator que faz com que a temperatura aqueça de forma mais lenta, por esse motivo, não foi possível identificar anomalias térmicas significativas. Também, por esse fator, realiza-se um segundo ensaio em horário oposto ao final da tarde (termograma à direita), horário em que toda a superfície da fachada já se aqueceu por completo e tende a perder temperatura lentamente. É possível identificar “manchas” no termograma que se referem a anomalias térmicas, que será analisadas no item 4 deste estudo.

Vale salientar que a temperatura em si não foi fator determinante no estudo, uma vez que foi analisado o gradiente e diferença de temperatura. Pode-se observar no termograma as temperaturas mínima, máxima e média, as quais, são influenciadas pelo céu (temperatura mínima) e pelo reflexo de elementos metálicos (temperatura máxima), que acabam por induzir menores e maiores temperaturas e na média obtida.

Seguindo com os termogramas apresentam abaixo na Figura 22, a fachada sul.

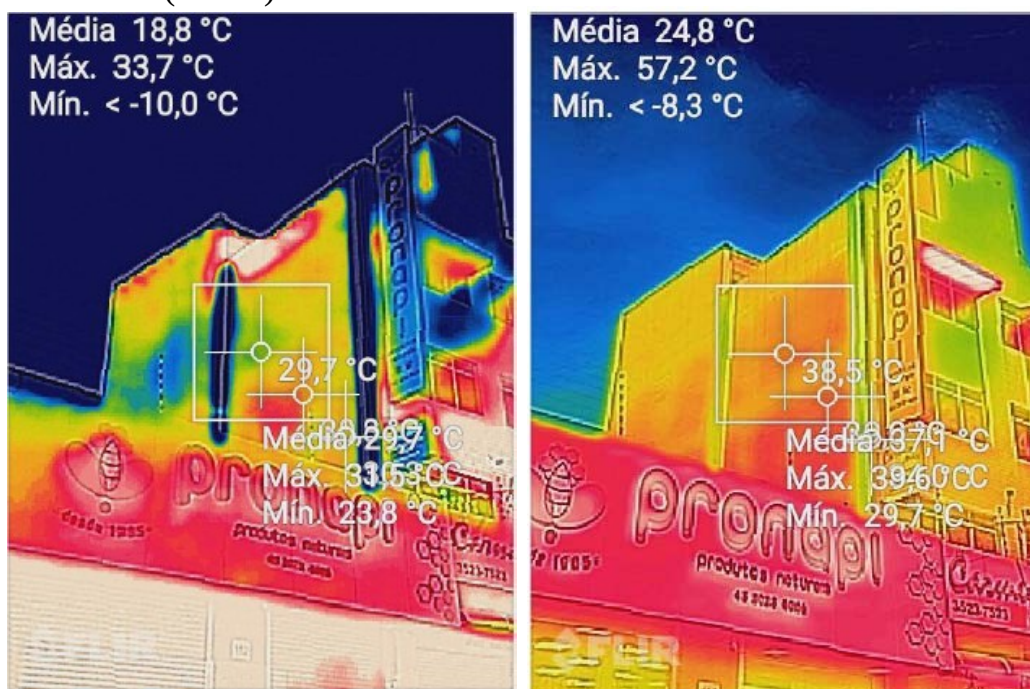
Figura 22 - Termogramas da fachada fundo (Sul) no período da manhã (esquerda) e período da tarde (direita).



Por se tratar da fachada Sul, esta passa pelo mesmo cenário da fachada norte, onde a luz solar não incide diretamente, tendo um termograma de melhor qualidade no período da tarde, quando toda a fachada já se aqueceu ao máximo e tende a perder temperatura.

Este fenômeno será inverso para a fachada Leste, pois no período da manhã tende a aquecer de forma mais rápida pela luz solar incidindo diretamente na fachada logo nas primeiras horas do dia, e no período da tarde, por ser a primeira fachada a começar a perder temperatura, tende a estar com a temperatura superficial mais homogeneizada, conforme ilustra Figura 23.

Figura 23 - Termogramas da fachada esquerda (Leste) no período da manhã (esquerda) e período da tarde (direita).



A fachada oeste por receber a luz solar direta no período da tarde é a última fachada a ser aquecida e por consequência a última a perder calor, sendo assim, no horário em que foi realizado o ensaio, por volta das 18:00 horas, foi possível capturar a ocorrência do esfriamento, tendo um termograma com gradientes de temperatura definidos.

Como os acessos para obter as imagens são de locais muito próximos da fachada, foi dividida em duas imagens, sendo o lado esquerdo da fachada ilustrada na Figura 24, e o lado direito ilustrada pela Figura 25.

Figura 24- Termogramas da fachada direita (Oeste) no período da manhã (esquerda) e período da tarde (direita).

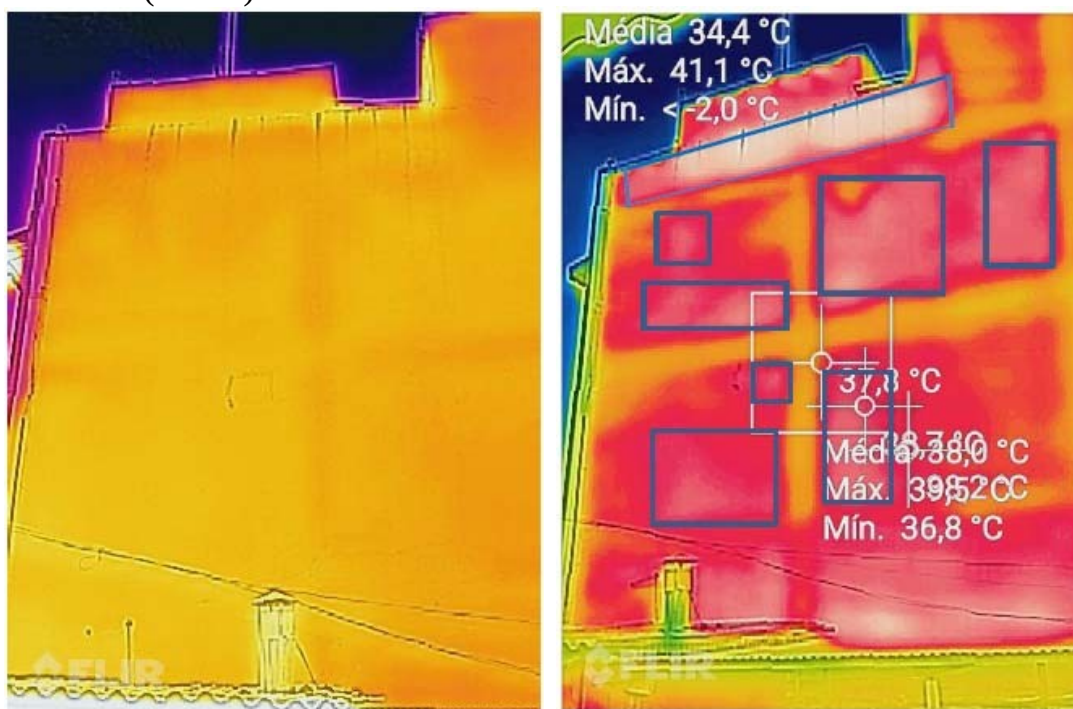
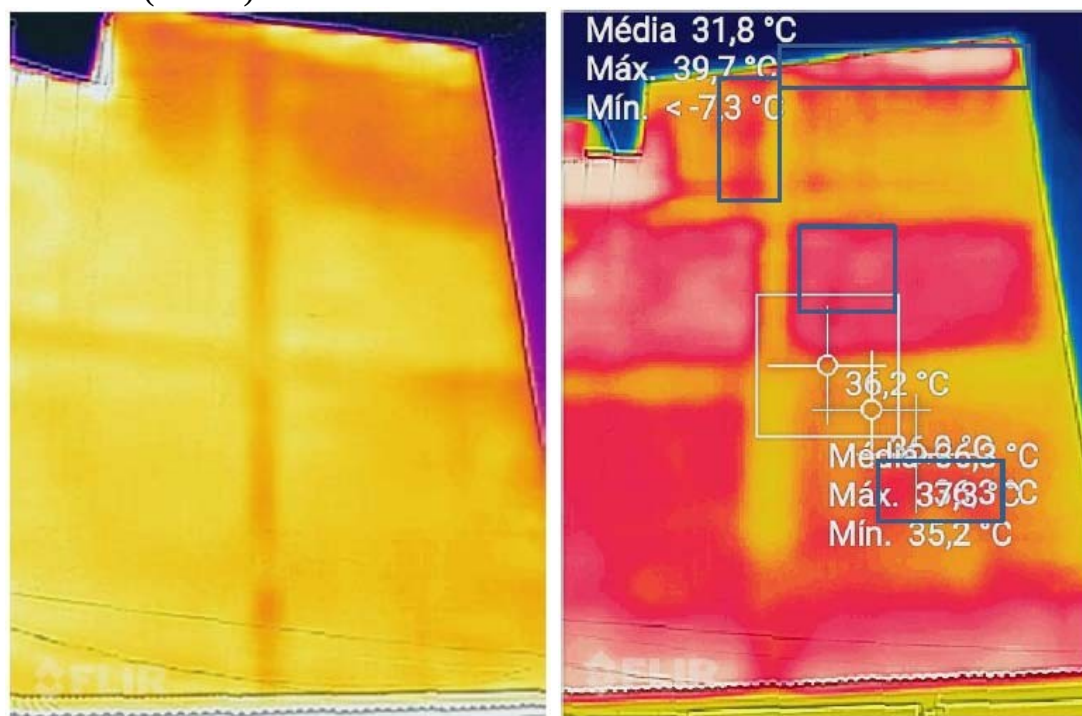


Figura 25- Termogramas da fachada direita (Oeste) no período da manhã (esquerda) e período da tarde (direita).



4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após a realização dos ensaios de percussão e termografia, obtidos os resultados, foi possível realizar a comparação do termograma com o mapeamento realizado pela percussão. Em ambos os ensaios foi possível constatar a presença de anomalias que remetem ao descolamento de revestimento.

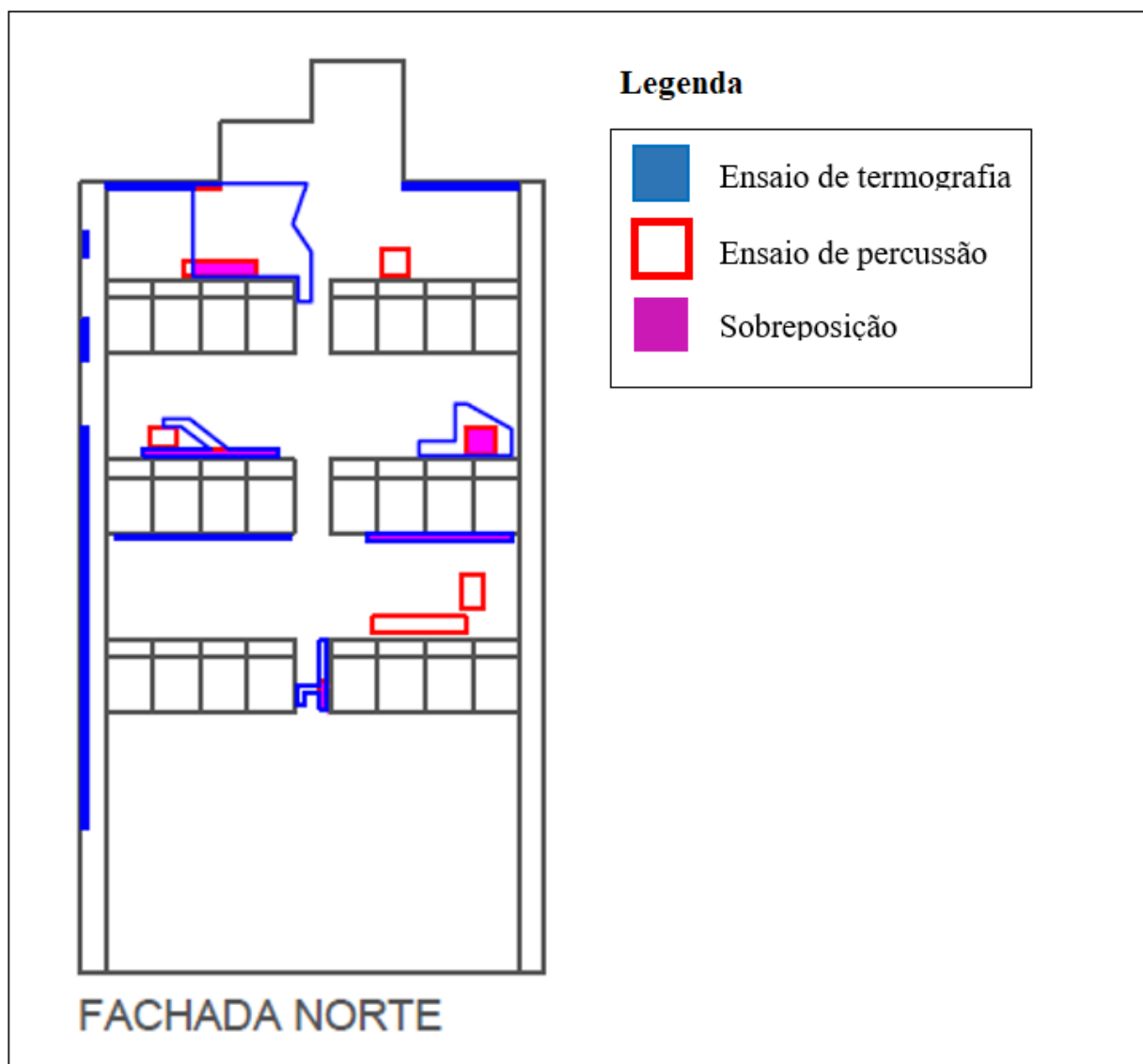
Levou-se em consideração que o ensaio de percussão é um ensaio mais assertivo quanto à detecção de descolamento de revestimento pelo método de auscultação. Foram analisados o grau de assertividade do ensaio termográfico em comparação as regiões identificadas pelo método de percussão, sendo assim, delimitou-se as regiões de anomalias térmicas dos termogramas obtidos relacionadas com o mapeamento do ensaio de percussão.

4.1. FACHADA NORTE

Na fachada Norte, que possui uma área total de **103,00 m²**, foram identificadas anomalias do tipo deslocamento em uma área de 3,10 m² utilizando o ensaio de percussão e em 5,40 m² pelo ensaio termográfico; constatou-se uma diferença relevante entre os dois ensaios, resultando em uma porcentagem de sobreposição de **63,87%**, o que significa que **esta mesma porcentagem** obtida pelo ensaio de percussão, igualmente foi identificado pelo ensaio de termografia. Porém, o índice de assertividade do ensaio de termografia foi baixo (**36.67%**), o que demonstra que apenas essa porcentagem do ensaio termográfico corresponde a um problema real de aderência.

A Figura 26 ilustra o comparativo da fachada Norte, com revestimento cerâmico.

Figura 26- Comparação dos ensaios na fachada Norte (revestimento cerâmico).



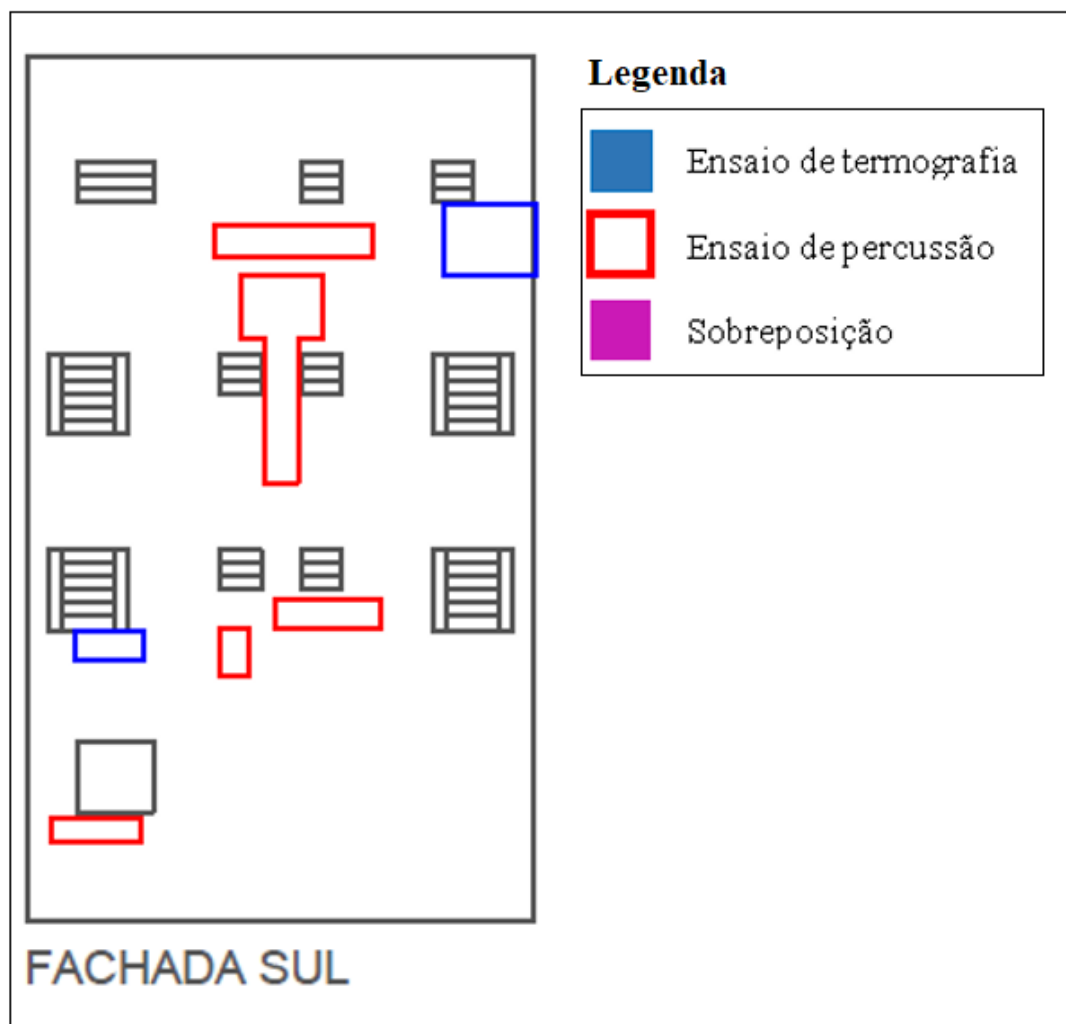
Conforme analisado, a fachada norte que é revestida com pastilhas cerâmicas ainda demonstrou melhores parâmetros que o revestimento argamassado. Tal fato será demonstrado abaixo para cada fachada argamassada.

4.2. FACHADA SUL

Para a fachada Sul, que possui uma área total de **98,00 m²** e com áreas diagnosticadas com anomalias pelo ensaio de percussão de 4,83 m² e 1,98 m², pelo ensaio de termografia; foi possível identificar que não houve nenhuma sobreposição, portanto, não houve nenhuma assertividade, ou seja, **0,00%**, conforme comparativo

ilustrado pela Figura 27. Esta situação pode ser explicada porque havia nesta fachada muitos elementos metálicos, como calhas e condensadoras de ar-condicionado que podem ter interferido no resultado do ensaio.

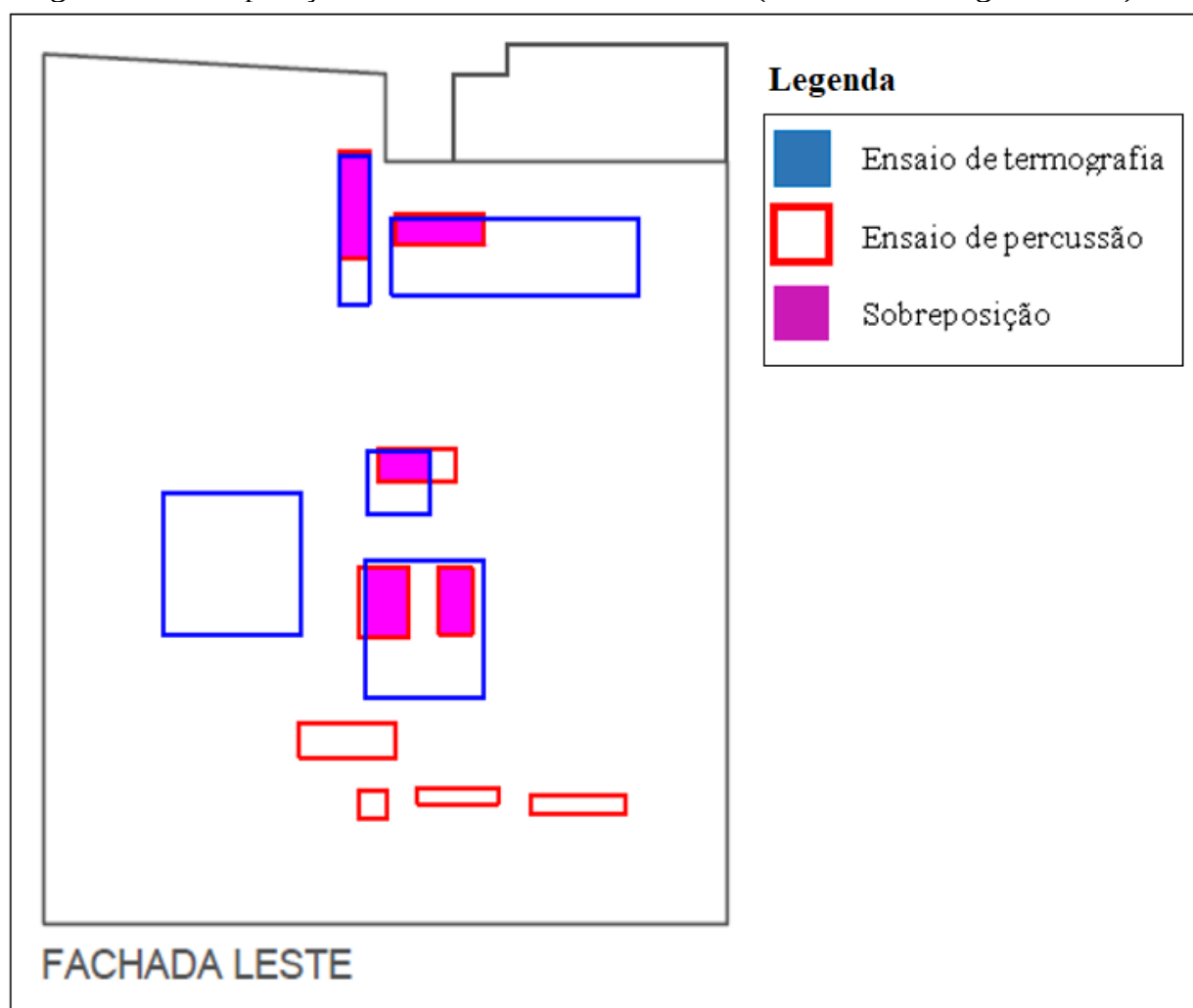
Figura 27 - Comparação dos ensaios na fachada Sul (revestimento argamassado).



4.3. FACHADA LESTE

Na fachada Leste que possui uma área total de 184,00 m² e com áreas identificadas com anomalias do tipo descolamento pelos ensaios de percussão e termográfico, respectivamente, com uma área de 6,69 m² e 18,71 m². Foi identificada uma porcentagem de sobreposição **(57,25%)** relativamente alta, porém, uma porcentagem de assertividade baixa **(20,47%)**, evento que, mais uma vez, pode ser explicado pelos fatores de interferência e a qualidade do equipamento, conforme demonstra o comparativo da Figura 27. Vale ressaltar que a fachada Leste foi a que teve maior dificuldade de aproximação do equipamento e, portanto, maior interferência pela distância.

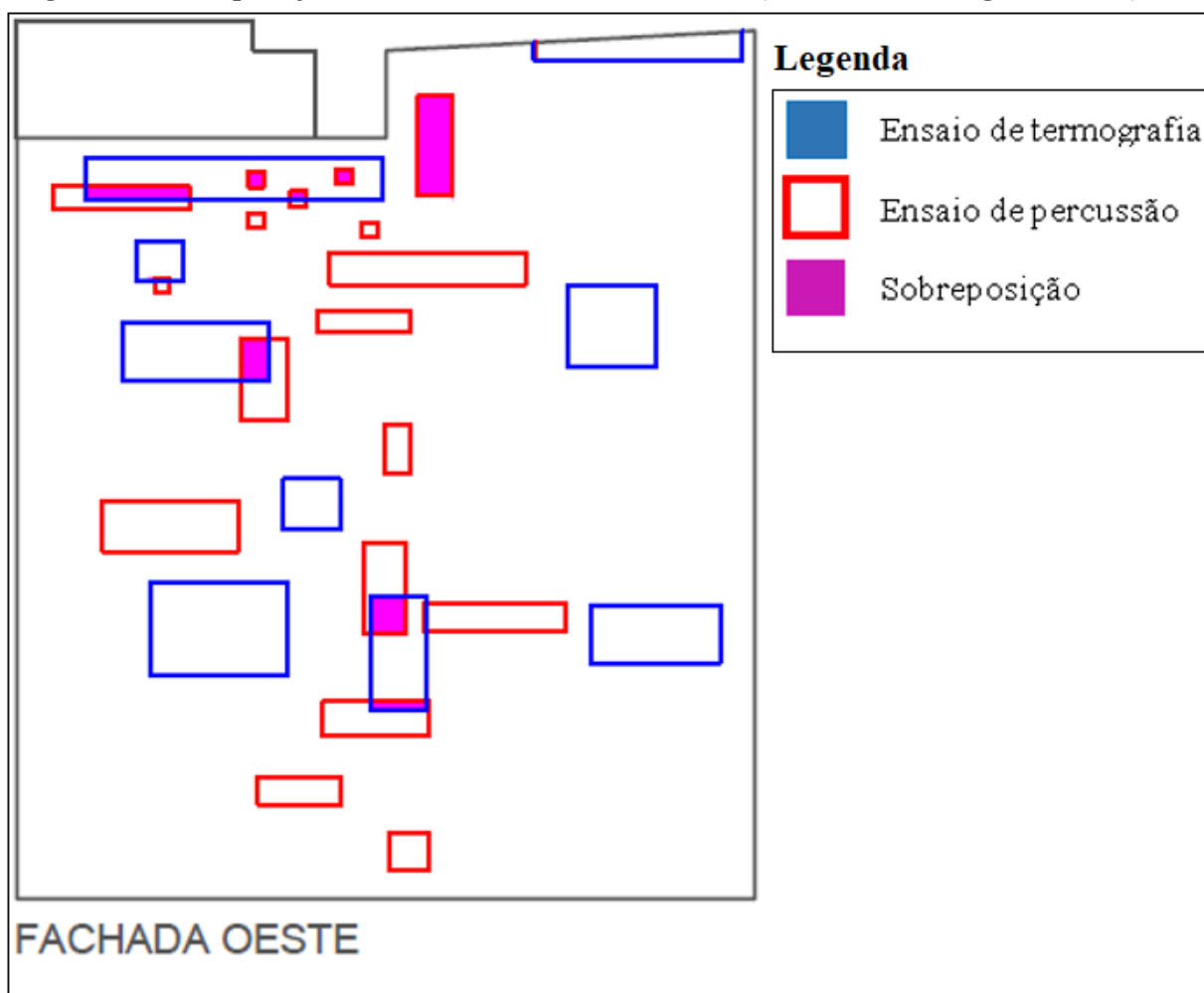
Figura 28 - Comparação dos ensaios na fachada Leste (revestimento argamassado).



4.4. FACHADA OESTE

Na fachada Oeste que possui uma área total de 184,00 m², cujas regiões diagnosticadas com anomalias possuem uma área de 13,98 m², obtidas pelo ensaio de percussão e 18,64 m², verificadas pelo ensaio de termografia. Foi identificada uma porcentagem de sobreposição (**17,53%**) relativamente baixa, e uma porcentagem de assertividade baixa (**13,14%**), evento que mais uma vez pode ser explicado pelos fatores de interferência, e qualidade do equipamento. A Figura 29 demonstra o comparativo entre os ensaios para a Fachada Oeste.

Figura 29- Comparação dos ensaios na fachada Oeste (revestimento argamassado).



4.5. RESUMO DOS RESULTADOS

Para um melhor entendimento do cenário global, foram tabelados os dados obtidos e ilustrados na Tabela 3.

Tabela 3 – Resumo dos dados obtidos.

Tabela Resumo de dados					
Parâmetro	Norte	Sul	Leste	Oeste	Total
Área Total [M ²]	103	98	184	184	569
Ensaio de Percussão [M ²]	3.1	4.83	6.69	13.98	28.6
% Descolamento	3.01%	4.93%	3.64%	7.60%	5.03%
Ensaio Termografia [M ²]	5.4	1.98	18.71	18.64	44.73
% Descolamento	5.24%	2.02%	10.17%	10.13%	7.86%
Sobreposição [M ²]	1.98	0	3.83	2.45	8.26
% Sobreposição	63.87%	0.00%	57.25%	17.53%	28.88%
Erro [M ²]	3.42	1.98	14.88	8.26	28.54
% Assertividade	36.67%	0.00%	20.47%	13.14%	18.47%

Abaixo serão detalhados os parâmetros analisados na tabela:

Área Total: Área que compreende a extensão da fachada analisada em metros quadrados;

Ensaio de Percussão: Área total das regiões de uma fachada onde foram detectados som cavo durante o ensaio em metros quadrados;

% Deslocamento: Porcentagem do resultado do ensaio de percussão em relação a área total do pano da fachada analisada;

Ensaio Termográfico: Área total das regiões de uma fachada com anomalias térmicas referentes ao descolamento em metros quadrados;

% Deslocamento: Porcentagem do resultado do ensaio de termografia em relação a área total do pano da fachada analisada;

Sobreposição: Metragem quadrada total da fachada indicada em que houve sobreposição da região com descolamento detectado pelos dois ensaios;

% Sobreposição: Porcentagem do resultado de sobreposição em relação a área da região com som cavo do ensaio de percussão;

Erro: Área em metragem quadrada do resultado do ensaio de termografia que não se sobrepôs ao ensaio de percussão;

% Assertividade: Porcentagem do resultado de sobreposição em relação a área da região com som cavo do ensaio de termografia;

Pode-se constatar que mesmo com uma idade já avançada da edificação e com o pouco histórico de manutenções preventivas e corretivas da fachada, informação passada pelo proprietário e inquilino, a área total de regiões com indícios de descolamento é baixa **5,03%**; assim, conclui-se que os materiais e a execução foram de boa qualidade.

Também foi possível constatar que o ensaio termográfico (**7,86%**) aponta uma porcentagem de descolamento maior que o ensaio de percussão (**5,03%**). Muitos fatores podem levar a essa diferença, como os parâmetros de interferência do ensaio termográfico, angulação do equipamento, distância do equipamento com o objeto analisado, qualidade dos sensores, quantidade de pixels e interferências de elementos externos. Também pode influenciar nesse resultado, a condução térmica para as regiões adjacentes ao deslocamento.

A porcentagem de sobreposição (**28,88%**) foi relativamente baixa, uma vez que relaciona as áreas em comum de descolamento apresentado pelos dois ensaios, o que remete que há incoerência do termograma em relação ao cenário real (percussão).

Dito isto, a porcentagem de assertividade do ensaio termográfico (**18,47%**) também está consideravelmente abaixo de um cenário ideal, uma vez que não se pode tomar uma decisão de manutenção baseada em probabilidades tão baixas.

Porém, foi possível constatar que a porcentagem de sobreposição e de assertividade é maior quando a fachada possui revestimento cerâmico em relação ao revestimento argamassado.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo serão apresentadas as considerações finais da pesquisa e as recomendações de temas similares para futuros trabalhos.

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considera-se que foram atingidos os objetivos propostos no início desta pesquisa e que a hipótese foi corroborada e pode-se observar que:

- a) Os métodos em estudo tiveram um grau de **assertividade** de apenas **18,47%**;
- b) Houve variações significativas destas assertividades entre as fachadas, onde a fachada Norte houve assertividade de **36,67%**, a fachada Sul **0,00%**, na fachada Oeste **13,14%** e por fim, a fachada Leste **20,47%**;
- c) Existiu uma diferença significativa na comparação entre tipos de revestimentos, no qual o revestimento cerâmico obteve uma assertividade de **36,67%**, enquanto as fachadas com revestimento argamassado, constatou-se uma assertividade de **15,97%**;
- d) Dependendo do horário e da posição da fachada em relação aos raios solares, a qualidade da captação de anomalias pelo ensaio termográfico é mais acentuada;
- e) O ensaio termográfico pode ser utilizado como uma análise qualitativa quanto as anomalias, uma vez que as identifica no gradiente de temperatura do objeto, demonstrando que há uma reação anormal em determinada região, porém, não possui bons resultados quando considerado de forma quantitativa, uma vez

que, pode haver muitas interferências durante o processo do ensaio, além disso, o calor da região descolada pode ser estendido em seu entorno, tornando-se uma área maior do que a área real;

- f) O ensaio termográfico com o equipamento S60 MyFlir poderá ser utilizado como um ensaio tecnológico não destrutivo de forma a agregar no entendimento de uma anomalia, como um ensaio complementar a uma inspeção, porém, não apresentará bons resultados para uso de forma única na tomada de decisões de reparo em fachadas.
- g) O ensaio termográfico em fachadas utilizando o equipamento S60 MyFlir (4800 pixels) não substitui a necessidade do ensaio de percussão, uma vez que este é mais assertivo quanto aos seus resultados, tanto qualitativamente como quantitativamente.
- h) Muitos foram os fatores que interferiram no resultado do ensaio termográfico e estes devem ser mitigados para se obter melhores parâmetros para o estudo, sendo o principal deles, o alto nível de interferência para a obtenção do termograma (calhas metálicas, condensadores de ar-condicionado, reflexibilidades de telhas em nível inferior, elementos metálicos fixados na fachada);
- i) Houve uma dificuldade de acesso para um melhor posicionamento do equipamento, sendo muitas vezes forçado a obter as imagens termográficas de uma distância afastada da superfície analisada, assim como, o grau de inclinação do equipamento;
- j) A utilização de um termovisor Flir integrada ao CAT S60 não é adequado para a inspeção de fachada, por não possuir especificações suficientes para se

obter boas imagens para o estudo, vale salientar que este equipamento pode ser útil para pequenas distâncias, com poucas interferências, mas não para inspeção de fachadas.

- k) Os resultados do ensaio realizado foi divergente com relação aos do estudo de caso de Moura et al., (2019), principalmente devido à utilização de equipamento distinto para realização de ensaio termográfico, cujo trabalho utilizou uma câmera termográfica Flir i3 com diferentes especificações técnicas. Porém, as pesquisas convergiram com relação ao grau de assertividade ser maior em fachadas com revestimentos cerâmico do que em revestimentos argamassados, e a utilização do ensaio termográfico com os equipamentos S60 MyFlir e Flir i3, como uma forma complementar para identificação e monitoramento de manifestações patológicas em revestimentos de fachadas.

5.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Diante das dificuldades e interferências encontradas durante o ensaio de termografia, recomendamos que os próximos trabalhos a serem elaborados relacionados ao assunto levem as seguintes sugestões:

- Utilização de modelos de equipamentos termográficos com uso de drone, para mitigar interferências relacionadas ao grau de posicionamento, distância e acesso (ex. Flir VUE TZ20);
- Utilizar equipamentos adequados com melhores resoluções, total de pixels, precisão e alcance (ex. Flir T530);
- Analisar o uso da termografia para identificação de infiltrações na fachada;
- Realizar o estudo em mais edifícios para se obter um melhor quadro estatístico.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13529: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Terminologia.** Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13749: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação.** Rio de Janeiro, 2013.

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, p. 209, 2009.

ALMEIDA, L. L. **Patologias em Revestimentos Cerâmico de Fachada.** Monografia Universidade federal de Minas Gerais. P. 74, 2012.

ANHAS, F. V. L. **Emissividade de Materiais de Construção – Métodos de Determinação e influência da humidade.** Mestrado integrado em Engenharia Civil. Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, Portugal. P. 74, 2018.

ANTUNES, R. G. **Estudo de Manifestações Patológicas em Revestimento de Fachada em Brasília- Sistematização da Incidência de Casos.** Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil – Universidade de Brasília. P. 178, 2010.

BARREIRA, E. S. B. M. **Aplicação da Termografia ao Estudo do Comportamento Higrotérmico dos Edifícios**. Dissertação (Mestrado em Construção de Edifícios) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto. P. 198, 2004.

BARROS, H. E. B.; FERREIRA, S. D.; SILVA, A. F. P.; SOUSA, J. N.; **Análise dos Agentes de Degradação no Deslocamento de Revestimentos Cerâmicos**. Artigo 6ª Conferência sobre patologia Universidade Federal do Rio de Janeiro. P. 10, 2018.

BAUER, E. PAVÓN, E. **Termografia de Infravermelho na Identificação e Avaliação de Manifestações Patológicas em Edifícios**. Concreto e Construções, São Paulo, v. 1, n. 79, p.93-98, 2015.

BAUER, F. A. L. **Materiais de Construção**. Volume 2. 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC. 2008. P. 538.

BONIFÁCIO, J. S. R.; GODINHO, D. S. S. **Estudo do Efeito das Fibras de Vidro e Polipropileno nas Propriedades Mecânicas do Concreto**. Artigo Universidade do Extremo Sul Catarinense. P. 19, 2014.

CAMPANTE, E. F; SABBATINI, F. H. **Metodologia de Diagnóstico, Recuperação e Prevenção de Manifestações Patológicas em Revestimentos Cerâmicos de Fachada**. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

CARVALHO, Y. N. P; LEANDRO, F. S; JUNIOR, F. C. N. G; LEU, A. A. M; SILVA, U. R. L. **Manifestações Patológicas com Foco em Fachadas de Conjunto Habitacional de Baixa Renda na Cidade de Juazeiro do Norte/CE**. Artigo Conferência Nacional da Patologia e Recuperação de Estruturas. P. 13, 2017.

CHAVES A. M. V. A.; Camões A. **Patologia e reabilitação de revestimentos de fachadas**. Mestrado Universidade do Minho. 2009.

CINCOTTO, M. A. **Patologia das argamassas de revestimento: análise e recomendações**. Monografia 8 – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A – IPT, São Paulo, 1983.

CINCOTTO, M. A. **Patologia das argamassas de revestimento: análise e recomendações**. In. Tecnologia das Edificações. São Paulo: Pini/IPT, 1988. P. 549-554.

COSTA, P. L. A. **Patologia do Processo Executivo de Revestimentos de Fachada de Edifícios**. TCC - Universidade Federal do Rio de Janeiro. P. 81, 2013.

CUNHA, L. S. **Avaliação de Edificações com a Utilização da Termografia como Ensaio não destrutivo – Estudo de Caso**. Centro Universitário de Brasília. P. 39, 2016.

FERREIRA C. H. A. F.; BAUER, E. **Contribuição ao Estudo da Fissuração, da Retração e do Mecanismo de Deslocamento do Revestimento à Base de Argamassa**. Tese Doutorado em Estruturas e Construção Civil. Universidade de Brasília. P.217, 2007.

FLIR: Pistolas de Temperatura Vs. Tecnologia Termográfica. 05 de novembro de 2015. Disponível em <<https://www.flir.com.br/discover/rd-science/temperature-guns-versus-thermal-imaging-technology/>>. Acesso em 20 de Março de 2021

GOMES, M.F.N. et al. **Patologia em fachadas de edifícios com mais de cinco pavimentos na cidade de Maceió/AL**. In.: Congresso Ibero Americano de Patologia das Construções, IV. Porto Alegre, 1997. Anais. Porto Alegre, p. 419-425. 1997.

HELENE, P. R. L. **Manual para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto**. 2ª ed. São Paulo: Pini. P. 178-201. 1992.

ISAIA G. C. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. IBRACON, p. 885-935. 2010.

MALDAGUE, X. **Infrared and Thermal Testing: Nondestructive Testing Handbook**. 3th ed, Columbus, OH: Patrick O. Moore, 2001.

MEDEIROS, J. S. **Tecnologia e projeto de revestimentos cerâmicos de fachada de edifícios**. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo. 458 p. 1999.

MILITO, J. A. **Técnicas de Construção Civil – Volume - A** (Desenvolvimento de material didático ou instrucional). Campinas. 2009. P. 237-243.

MOSCOSO, Y.F.M. “**Estudo numérico e experimental das tensões atuantes na argamassa colante de fachadas de edificações sob ação da fadiga termomecânica**”, Diss. Mestr., UnB, Brasília. 2013.

MOURA, A.; ROSSI, C.; GUEDES, M. N. **Estudo Comparativo entre o Ensaio de Percussão e Termografia para Identificação de Deslocamentos de Revestimetno em Fachada**. TCC, Pós-Graduação em Patolgia nas Obras Civas, Instituto IDD, Curitiba, Brasil, 2019.

PACHECO, C. P. **Análise das Manifestações Patológicas nos Sistemas de Revestimentos Externos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico. P. 329, 2016.

PEDRO, E. G.; MAIA, L. E. F. C.; ROCHA, M. de O.; CHAVES, M. V. **Patologia em Revestimento Cerâmico de Fachada**. Síntese de monografia, Pós-Graduação em Engenharia de Avaliações e Perícias do CECON, Faculdade de Engenharia e Arquitetura – FEA FUMEC, Belo Horizonte, Brasil, 2002.

PEDROSO, F. L. **Concreto: As Origens e a Evolução do Material Construtivo Mais Usado pelo Homem**. Revista Concreto & Construções, Ibracon. v 53. P. 80, janeiro 2009.

PERRY, J. C.; WEST, D. G. **Principles of External Tiling Design**. In.: International Conference on Building Envelope Systems and Technology. Proceedings. Singapore, 1994. P. 85-90.

SABATTINI F. H; BARROS, M. M. S. B; MACIEL, L. L. **Recomendações para a Execução de Revestimentos de Argamassa para Paredes de Vedação Internas e Exteriores e Tetos**. São Paulo. P. 37, 1998.

SAKAMOTO, C. A. **Manifestações Patológicas em Revestimentos Cerâmicos de Fachada**. Monografia apresentada ao Curso de Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual Paulista. P. 94, 2018.

SAKAMOTO, C. A; FIORITI, C. F. **Estudo de Parâmetros Relevantes na Obtenção de Termogramas para Diagnóstico de Problemas Patológicos**. Artigo Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista. P. 13, 2017.

SANTOS S. S. **Patologias Construtivas em revestimentos de fachada**. 2019 Monografia Universidade do Rio Grande do Norte. Natal. P. 49, 2019.

TARPANI, J. R.; ALMEIDA, E. G.R.; SIMÊNCIO E. C. A.; MOTA, L. P.; PAZ, J. H. A. A.; GUALBERTO, A. R. M.; CARDOSO, F. L. A.; GATTI, C. A. **Inspeção Termográfica de Danos por Impacto em Laminados de Matriz Polimérica Reforçados por fibras de Carbono**. Polímeros: Ciência e Tecnologia, São Carlos, v. 19, n. 4, p. 318-328, 2009.

TITMANS D. J. **Applications of Thermography in Non-destructive Testing of Structures**, NDT&E International, Ames, v. 34, p. 149-154, 2001.

VERATTI, A. B. **Termografia: Princípios, Aplicações e Qualidade**. ICON Tecnologia São Paulo. 1992.