

Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Escola de Engenharia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura

**Indicadores para Avaliação de Anomalias em Fachadas com  
Revestimento de Argamassa**

**Rafaela Falcão Socoloski**

Porto Alegre  
novembro 2021

RAFAELA FALCÃO SOCOLOSKI

**Indicadores para Avaliação de Anomalias em Fachadas com  
Revestimento de Argamassa**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura da Universidade  
Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para  
obtenção do título de Doutora em Engenharia

Porto Alegre  
novembro 2021

**RAFAELA FALCÃO SOCOLOSKI**

**Indicadores para Avaliação de Anomalias em Fachadas com  
Revestimento de Argamassa**

Porto Alegre, 26 de novembro de 2021

**Profª Angela Borges Masuero**  
Doutora pela UFRGS  
Orientadora

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Elton Bauer (UNB)**  
Doutor pela USP

**Prof. Alexandre Silva de Vargas (UFSM)**  
Doutor pela UFRGS

**Prof. Daniel Tregnago Pagnussat (UFRGS)**  
Doutor pela UFRGS

Dedico este trabalho a minha família, pelo apoio, incentivo e compreensão durante o período de seu desenvolvimento, em especial aos meus filhos Francisco e Vicente, que foram a maior razão da conclusão dessa trajetória.



## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer sobre tudo a Deus, quem considero pai, por me dar força, persistência e oportunidade de desenvolver este trabalho.

Agradeço a minha família, pai, mãe, irmãs, cunhados e sobrinhas, alicerces da minha vida, que perto ou longe estão sempre dando amor, apoio e rezando para que Deus ilumine meus caminhos. Agradeço em especial minha mãe que mudou temporariamente de cidade, para morar conosco e ajudar a cuidar dos meus filhos, Francisco e Vicente, que nasceram este ano. Sem a presença de minha mãe, seria impossível a conclusão deste trabalho. Agradeço meu pai e irmãs que compreenderam a necessidade dela estar afastada para este auxílio. Agradeço ao meu esposo Miguel Assis por todo amor, paciência, incentivo e apoio necessário nessa jornada acadêmica, desde o primeiro semestre da graduação até a conclusão desta tese. Agradeço a família que dele ganhei, que também colaboraram cuidando dos nossos filhos quando precisamos, e estão sempre torcendo pelo meu sucesso e dispostos a ajudar no que for necessário.

À minha querida orientadora, Prof<sup>a</sup>. Angela Borges Masuero, que é uma verdadeira mãe para seus orientandos. Além da orientação e incentivos acadêmicos, sempre compreendeu as dificuldades de saúde física e mental que surgiram no decorrer deste período. Realmente faltam palavras para agradecer o que significa para mim.

Agradeço às professoras Denise Dal Molin e Laís Zucchetti, e aos professores Daniel Pagnussat, Elton Bauer, Luis Carlos Bonin, João Ricardo Masuero, que se disponibilizaram a discutir comigo este trabalho em épocas chaves.

Agradeço às grandes amigas Caroline, Fernanda, Jéssica e Laís (novamente), que se colocaram sempre à disposição para me ajudar neste trabalho, além do grande apoio psicológico. À Jéssica, Graciela e Milena, pela amizade e por tantas discussões enriquecedoras nos momentos em que nos dedicávamos aos TCC's e artigos. Aos meus amigos do grupo de materiais Aline, Ana Paula, Camila, Deividi, Giselle, Henrique, Iago, José, Luiz Gustavo, Maria Fernanda, Márlon, Mauro (e Mayara), Maxwell, Natália, Roberta, Sílvia, Thaís, Thiago e Vanessa. Cada um com sua área de conhecimento, mas que colaboraram muitas vezes para o desenvolvimento desta tese, além de serem grandes companheiros para as conhecidas comilanças da salinha.

Agradeço aos atuais Laboratoristas do LAMTAC, Airton e Ari, e ao antigo laboratorista, seu Gilmar, que sempre incentivaram os trabalhos desenvolvidos pelo grupo de materiais do NORIE.

Agradeço aos alunos de iniciação científica Karina, Gabriela, Ana Júlia, Cíntia, Bianca, Suzane, Guilherme, Sabrina, Fernanda, Juliana, Roberta, Amadeu, Thaís e Milena, que conheci ainda graduandos, alguns já formados, pela intensa ajuda nos levantamentos e ensaios necessários e pela amizade desenvolvida durante o período de trabalho.

Agradeço à banca avaliadora, Prof. Elton Bauer, Prof. Alexandre Vargas e Prof. Daniel Pagnussat, que disponibilizaram seu tempo para se dedicar à leitura e correção desta pesquisa.

Agradeço à Lúcia, que sempre recepciona de forma inigualável cada um que chega ao prédio do Castelinho e tem um grande coração. Muitas conversas com a Lúcia aliviavam momentos de estresse, sendo uma grande amiga.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos que possibilitou que uma parte do período de doutorado fosse com dedicação exclusiva à pesquisa.

Por fim, agradeço àqueles que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento deste concedido trabalho.

“A esperança tem duas filhas lindas, a indignação e a coragem; a indignação nos ensina a não aceitar as coisas como estão; a coragem, a mudá-las.”

*Santo Agostinho*

## RESUMO

SOCOLOSKI, R.F. Indicadores para Avaliação de Anomalias em Fachadas com Revestimento de Argamassa. Tese (Doutorado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

A durabilidade das construções não interfere apenas numa escala local, mas urbana, no momento em que qualificam estes espaços. A degradação dos edifícios impacta nas questões ambientais, econômicas e culturais. A importância da manutenção das edificações já é um consenso, no entanto, determinar o momento em que esta ação deve ser executada ainda depende das experiências, valores e cultura do gestor, que são elementos muito subjetivos. Desta forma, este trabalho propõe uma forma de sistematizar o modo de julgar o estado de degradação das fachadas de argamassa das edificações, de modo que os problemas encontrados sejam priorizados de forma ordenada. O método propõe dois indicadores. A primeira do Índice de Gravidade (IG), que aponta a gravidade da degradação da fachada, ou de parte dela, a partir das manifestações patológicas encontradas e a extensão da degradação, de modo a mensurar o quanto a ação de manutenção interfere na degradação das fachadas, se realizada antes e depois da intervenção. Para calcular este indicador são atribuídos coeficientes que caracterizam a manifestação encontrada e os riscos desta evoluir para estágios mais graves, sendo considerado como o maior nível de gravidade aquelas que envolvam o desprendimento do revestimento do substrato. O segundo indicador é o Índice de Tendência e Urgência (ITU) que busca mensurar a tendência das manifestações evoluírem para estágios mais graves, considerando a manifestação patológica e sua extensão. Além disso, pondera os agentes agressivos naturais atuantes na fachada (chuva dirigida e temperatura) e a urgência em intervir, avaliando a segurança dos seres vivos que possam se aproximar das fachadas e o risco que as manifestações encontradas podem apresentar a estes seres a fim de evitar acidentes. Para calcular este indicador são atribuídos coeficientes relacionados ao clima e as condições de exposição das fachadas, buscando mensurar a tendência de evolução das manifestações patológicas para estágios mais graves, o que varia conforme o ambiente de exposição destas fachadas. Por fim, coeficiente de urgência dependerá do nível de gravidade das manifestações encontradas e do entorno imediato da edificação, avaliando qual a possibilidade de seres vivos se aproximarem das fachadas com riscos de acidentes. O método foi aplicado em seis edificações da Universidade Federal de Santa Maria, e possibilitou identificar que, por exemplo, a edificação 31 (casa do estudante) é a mais degradada, sendo também aquela que tem maior tendência de evoluir para estágios mais graves e necessita de intervenções de forma mais urgente. Além disso, foi possível perceber que as fachadas mais degradadas não necessariamente são das edificações mais antigas, mas possivelmente as com menos manutenção. O método também permitiu constatar que a região de topo foi a região com maior quantidade de manifestações patológicas para todas as edificações. Os indicadores possibilitam que os gestores da universidade consigam, de forma sistemática, acompanhar a degradação das fachadas das edificações, e incentivem os gestores de cada edificação a buscar por ações de manutenção. Os gestores de cada edificação poderão compreender como as ações de manutenção impactam nas fachadas quando aplicarem o método antes e após a ação acontecer, de forma que poderão, em longo prazo, prever sistematicamente quando estas intervenções serão necessárias.

**Palavras-chave:** indicadores, fachadas; revestimento de argamassa, desempenho.

## ABSTRACT

SOCOLOSKI, R.F. Indicadores para Avaliação de Anomalias em Fachadas com Revestimento de Argamassa. Tese (Doutorado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

The durability of the constructions does not only interfere on a local scale, but also on an urban scale, when they qualify these spaces. The degradation of buildings impacts on environmental, economic and cultural issues. The importance of maintaining buildings is already a consensus, however, determining when this action should be performed still depends on the manager's experiences, values and culture, which are very subjective elements. Thus, this work proposes a way to systematize the way to judge the state of degradation of the building's mortar facades, so that the problems encountered are prioritized in an arranged way. The method proposes two indicators. The first one is the Gravity Index (GI), which indicates the severity of the degradation of the facade, or part of it, based on the pathological manifestations found and the extent of the degradation, in order to measure how much the action maintenance interferes with the degradation of the facades, if carried out before and after the intervention. For this indicator, coefficients that characterize the manifestation found and the risks of this evolving to more serious stages are assigned, with manifestations involving the detachment of the coating from the substrate being considered as the highest level of severity. The second indicator calculates the Tendency and Urgency Index (ITU) that aims to measure the manifestations tendency to evolve to more severe stages, considering the pathological manifestation and its extension. Besides, it also considers the natural aggressive agents that act on the facade (rainwater and temperature) and the urgency to intervene, evaluating the safety of living beings that may approach the facades and the risk that the manifestations found may present to these beings in order to avoid accidents. For this indicator, coefficients related to the climate and the exposure conditions of the facades are attributed, seeking to measure the trend of evolution of q manifestations to more severe stages, which varies according to the environment in which these facades are exposed. Finally, the urgency coefficient will depend on the level of severity of the manifestations found and the immediate surroundings of the building, evaluating the possibility of living beings approaching the facades with risk of accidents. The method was applied in six buildings of the Federal University of Santa Maria, and made it possible to identify for example, that building 31 (student's house) is the most degraded, being also the one that has a greater tendency to progress to more serious stages and needs more immediate interventions. In addition, it was possible to notice that the most degraded facades are not necessarily from the oldest buildings, but possibly those with less maintenance. The method also proved that the top region was the region with the highest number of pathological manifestations for all buildings. The indicators enable university managers to systematically monitor the buildings facades degradation, and encourage managers of each building to seek maintenance actions. Managers of each building will be able to understand how maintenance actions impact the facades when they apply the method before and after the action takes place, so that, in the long term, they will be able to systematically predict when these actions should be necessary.

**Key-words:** indicators, facades; mortar coating, performance.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Solicitações as quais os revestimentos estão submetidos que podem causar degradação. ....	42
Figura 2 – Molhamento de uma edificação isolada. Em azul a região umedecida e em amarelo a região seca.....	44
Figura 3 – Organograma das manifestações patológicas em revestimentos de argamassa. ....	45
Figura 4 – Tipo de manchas existentes nos revestimentos. ....	46
Figura 5 – Mancha de sujidade no edifício 07 da UFSM, que comporta o Centro de Tecnologia. ....	48
Figura 6 - Condensação Noturna.....	50
Figura 7 - Molhamento - ciclo de secagem, fase de evaporação. ....	50
Figura 8 - Resultado final de um grande número de ciclos de condensação/chuva.....	51
Figura 9 - Tipos de manchamento conforme o escoamento da água.....	52
Figura 10 – Formação de eflorescências e criptoflorescência. ....	53
Figura 11 - Cristalização dos sais provenientes do solo ....	53
Figura 12 - Criptoflorescência ....	56
Figura 13 - Tipos de Porosidade: (a) aberta e (b) fechada.....	57
Figura 14 - Fases de armazenamento de água nos poros e capilares dos materiais. ....	58
Figura 15 - Exemplo de curva de secagem ....	61
Figura 16 – Influência dos detalhes construtivos na preservação das fachadas .	64
Figura 17 - Detalhes que descolam ou conduzem a água para fachada.....	64
Figura 18 - Diagrama psicométrico.....	66
Figura 19 - Esquema de paredes com diferentes taxas de ascensão capilar, com mesmas condições de secagem ....	67

Figura 20 - Mancha de umidade no edifício 07 da UFSM, que comporta o Centro de Tecnologia .....	68
Figura 21 - Ciclos térmicos diurnos (dia-noite) e as mudanças das dimensões dos materiais. ....	70
Figura 22 - Esquema de diferentes ângulos de contato de uma gota d'água quando depositada sobre diferentes superfícies de sólidos.....	75
Figura 23 - Ângulo de contato de uma gota na superfície do concreto com a) traço 1 – 118,60 MPa, 58,7°; b) traço 2 – 108,26 MPa, 47,6°; c) traço 3 – 102,89 MPa, 49,8°; d) traço 4 – 91,10 MPa, 31°; e) traço 5 – 48,48 MPa, 31,1° . ....	76
Figura 24 – Comparação da imagem termográfica e graficação das manchas mais frias. (a) imagem termográfica; (b) graficação das manchas para o mapeamento de danos. ....	80
Figura 25 – Imagem que demonstra as áreas do revestimento descoladas, confirmadas pela percussão. (a) Imagem termográfica, (b) imagem fotográfica.	
81	
Figura 26 – Amostra de revestimento analisada por Bersch et al. (2021) .....	82
Figura 27 – Exemplo da ortogonalização das imagens. (a) foto original de parte da fachada, (b) foto ortogonalizada de parte da fachada, (c) sobreposição da foto ortogonalizada no desenho da porção da fachada correspondente, com o auxílio de linhas guias; (d) resultado final da fachada ortogonalizada. ....	83
Figura 28 – Exemplo da prumada e empena das edificações .....	83
Figura 29 – Divisão das prumadas em amostras. (a) exemplo de piazzarollo; (b) divisão pelas juntas de dilatação utilizadas por Silva (2014) .....	84
Figura 30 – Divisão das prumadas por elementos de arquitetura .....	84
Figura 31 - Amplitude dos quadrantes para a classificação da orientação cardeal das amostras de fachadas.....	86
Figura 33 - Representação esquemática das regiões de análise das fachadas desenvolvida por Gaspar e Brito. ....	87

Figura 34 - Representação esquemática das regiões de análise das fachadas desenvolvida por Antunes. ....	87
Figura 35 - Representação esquemática das regiões de análise das fachadas desenvolvida por Silva .....	88
Figura 36 - Três regiões principais de divisão das fachadas dos edifícios estudados para a quantificação dos danos, e a região do bisel. (Château, Observatório Astronômico e edifício da Rádio da UFRGS).....	89
Figura 37 - Degradação global de fachadas com revestimento de argamassa, ao longo do tempo.....	95
Figura 38 - Comportamento da degradação para diferentes orientações ao longo do tempo (Fator Geral de Danos vs. Idade) .....	103
Figura 39 – Formas de edificação e situações de entorno estudadas por Poyastro (2011)	107
Figura 40 – Resultados dos ensaios de chuva dirigida quando o ângulo de incidência do vento é igual a 0° .....	108
Figura 41 – Etapas que compõem a proposta dos indicadores: Índice de Gravidade (IG) e Índice de Tendência e Urgência (ITU). ....	109
Figura 42 – Etapas que compõem a proposta do Índice de Tendência e Urgência (ITU), após a determinação do Índice de Gravidade (IG). ....	118
Figura 43 – Planificação dos resultados de Poyastro (2011) para os modelos 1, 2 e 3, e entornos 1, 2 e 3.....	123
Figura 44 - Planificação dos resultados de Poyastro (2011). para o M4E4 (Modelo 4 Entorno 4), prédio baixo e entorno alto (dobro da altura). ....	124
Figura 45 - Divisão das imagens para contabilização das áreas molhadas.....	124
Figura 46 - Contabilização do nº de pixels de cada cor. ....	125
Figura 47 – Modelo 3 (forma de H), entorno 3 (com altura igual as do seu entorno) - M3E3. ....	125
Figura 48 – Demosntração das dimensões de topo, cando e centro para as edificações .....	128



Figura 49 - Localização da Cidade de Santa Maria/RS. ....	135
Figura 50 - Imagens aéreas do campus universitário da Universidade Federal de Santa Maria no ano de 2008. (a) vista do sul/norte, marcado por vias retas e prédios junto a pequenos grupos de árvores e o bosque atrás do edifício da administração central; (b) vista panorâmica do campus da Universidade Federal de Santa Maria.....	136
Figura 51 - Zonas Bioclimáticas Brasileiras. ....	136
Figura 52 - Croqui de parte do campus universitário com destaque das edificações analisadas .....	138
Figura 53 – Imagens termográficas da região topo e 2º pavimento da fachada norte do Centro de Tecnologia, prédio 07, da UFSM: (a) extremidade superior esquerda; (b) região superior central; (c) extremidade direita. ....	139
Figura 54 - Fachada norte do Centro de Tecnologia, prédio 07, da UFSM, planejada .....	139
Figura 55 – Exemplo da montagem e planificação da fachada leste do Centro de Tecnologia, prédio 07, da UFSM.....	140
Figura 56 – Exemplo do mapeamento de danos Centro de Tecnologia, prédio 07 da UFSM, fachada leste. ....	141
Figura 57 - Vista com a classificação de empena e prumada. Exemplo com o edifício 07 de UFSM.....	142
Figura 58 - Delimitação de uma amostra da prumada. Exemplo com o edifício 07 de UFSM. ....	142
Figura 59 - Determinação da orientação cardinal das fachadas. Exemplo com o edifício 07 de UFSM.....	143
Figura 60 - Perfil de Sistema de Vedação Vertical Externo (SVVE) simulado no WUFI® Pro 6.5. ....	145
Figura 61 – Somatório da chuva dirigida e da radiação solar para a cidade de Santa Maria.....	145

Figura 62 – Predominância e frequência dos ventos conforme a orientação cardeal para a cidade de Santa Maria – RS.....	146
Figura 63 - Isotermas de adsorção dos materiais constituintes do sistema de vedação. (a) tijolo maciço; (b) bloco cerâmico 6 furos.....	150
Figura 64 - Temperatura média, máxima e mínima na camada externa do sistema de vedação vertical simulado no ano típico para a orientação norte, sul, leste e oeste em relação: (a) tijolo maciço e (b) bloco cerâmico 6 furos. ....	151
Figura 65 - Precipitação acumulada, máxima e mínima mensais no ano típico, após estabilização dinâmica para a orientação: (a) norte; (b) sul; (c) leste; (d) oeste. ....	155
Figura 66 - Precipitação e teor de umidade da camada externa do sistema de vedação vertical simulado no dia com maior precipitação acumulada do mês com maior precipitação acumulada no ano típico, após estabilização dinâmica para a orientação: (a) norte; (b) sul; (c) leste; (d) oeste .....	157
Figura 67 - Demarcação das regiões de topo, canto e centro. Exemplo do edifício 07, Centro de Tecnologia, prédio 07, da UFSM.....	162
Figura 68 - Amostras 01 leste 18 oeste do edifício 33: (a) amostra 01 leste; (b) amostr 18 oeste.....	166
Figura 69 - Amostra 04 oeste do edifício 31 .....	167
Figura 70 - Amostra 04 oeste do edifício 21 .....	169
Figura 71 - Amostra 23 oeste do edifício 17 .....	171
Figura 72 - Amostra 18 do edifício 40 .....	173
Figura 73 - Amostra 13 leste do edifício 07.....	175
Figura 74 - Fachada do edifício 31, orientação Oeste, onde a amostra 04 foi a com maior Índice de Gravidade (IG) (0,58). (a) planificação fachada inteira; (b) planificação amostra 04.....	175
Figura 75 – Índice de Gravidade (IG) médio para cada edificação .....	176
Figura 76 - Gráfico do Índice de Gravidade (IG) vs. idade para todas as amostras.....	177

Figura 77 – Curva de desempenho ao longo do tempo, com limite de desempenho mínimo requerido. ....	178
Figura 78 - Curva do IG ao longo do tempo, com limite máximo admissível.	178
Figura 79 – Porcentagem de área degradada por nível de gravidade. ....	178
Figura 80 – Porcentagem de amostras que apresentaram manifestações patológicas para cada orientação cardinal, para cada nível de gravidade. ....	179
Figura 81 – Distribuição da porcentagem encontrada para cada nível de gravidade das manifestações patológicas por região. (a) Topo; (b) Canto; (c) Centro. ....	180
Figura 82 – Índice de Gravidade (IG)total médio por edifício e para cada região. (a) edifício 31 (28 anos); (b) edifício 33 (28 anos). ....	182
Figura 83 – Distribuição da porcentagem encontrada para cada nível de gravidade das manifestações patológicas por região para o edifício 31. (a) Topo; (b) Canto; (c) Centro. ....	183
Figura 84 – Distribuição da porcentagem encontrada para cada nível de gravidade das manifestações patológicas por região para o edifício 33. (a) Topo; (b) Canto; (c) Centro. ....	183
Figura 85 - Índice de Gravidade (IG)total médio por edifício e para cada região. (a) edifício 17 (40 anos); (b) edifício 21 (40 anos). ....	184
Figura 86 – Distribuição da porcentagem encontrada para cada nível de gravidade das manifestações patológicas por região para o edifício 21. (a) Topo; (b) Canto; (c) Centro. ....	184
Figura 87 – Distribuição da porcentagem encontrada para cada nível de gravidade das manifestações patológicas por região para o edifício 17. (a) Topo; (b) Canto; (c) Centro. ....	185
Figura 88 – Índice de Gravidade (IG)total médio por edifício. (a) edifício 40 (49 anos); (b) edifício 07 (58 anos). ....	186

Figura 89 – Distribuição da porcentagem encontrada para cada nível de gravidade das manifestações patológicas por região para o edifício 40. (a) Topo; (b) Canto; (c) Centro. ....	186
Figura 90 – Distribuição da porcentagem encontrada para cada nível de gravidade das manifestações patológicas por região para o edifício 07. (a) Topo; (b) Canto; (c) Centro. ....	187
Figura 91 – Índice de Tendência (IT) médio por edifício .....	189
Figura 92 – Índice de Tendência e Urgência (ITU) médio por edifício .....	189
Figura 93 – Comparação de Índice de Gravidade (IG)e Índice de Tendência e Urgência (ITU) médios por orientação cardeal para cada edifício. ....	190
Figura 94 - Planificação dos resultados de Poyastro (2011) para os modelos 1, e entornos 1 (M1E1) .....	208
Figura 95 - Planificação dos resultados de Poyastro (2011) para os modelos 1, e entornos 2 (M1E2) .....	210
Figura 96 - Planificação dos resultados de Poyastro (2011) para os modelos 1, e entornos 1 (M1E3) .....	212
Figura 97 - Planificação dos resultados de Poyastro (2011) para os modelos 2, e entornos 1 (M2E1) .....	214
Figura 98 - Planificação dos resultados de Poyastro (2011) para os modelos 2, e entornos 2 (M2E2) .....	216
Figura 99 - Planificação dos resultados de Poyastro (2011) para os modelos 2, e entornos 3 (M2E3) .....	218
Figura 100 - Planificação dos resultados de Poyastro (2011) para os modelos 3, e entornos 1 (M3E1) .....	220
Figura 101 - Planificação dos resultados de Poyastro (2011) para os modelos 3, e entornos 2 (M3E2) .....	222
Figura 102 - Planificação dos resultados de Poyastro (2011) para os modelos 3, e entornos 3 (M3E3) .....	224

Figura 103 - Planificação dos resultados de Poyastro (2011) para os modelos 4, e entornos 4 (M4E4) .....	226
Figura 104 – Preparo das amostras em recipientes de vidro e dessecador. (a) montagem dos recipientes de vidro como aparato para montagem do sistema; (b) colocação do cloreto de cálcio puro; (c) montagem do sistema conforme a ASTM E96_E96M. ....	229
Figura 105 – Preparo do ambiente com umidade e temperatura controladas. (a) medição da quantidade de sal; (b) solução salina que manterá o a umidade do ambiente, na faixa especificada, onde os sistemas serão colocados;.....	230
Figura 106 – Execução do ensaio, com as amostras no ambiente com umidade e temperaturas controladas. (a) amostras de tijolos maciços em ambiente controlado; (b) controle da umidade e temperatura de forma constante; (c) medição periódica da massa das amostras. ....	230
Figura 107 – Recipiente utilizado para possibilitar a condição climática. Tampa, pote intermediário perfurado para trocas de umidade e pote inferior fechado. (a) conjunto de potes desmontados; (b) conjunto montado.....	231
Figura 108 – Amostras inseridas no recipiente com umidade específica. ....	232

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Natureza dos principais sais causadores de eflorescências .....	54
Tabela 2 - Causas das variações dimensionais do todo ou de parte dos edifícios 69	
Tabela 3 - Níveis de desempenho para argamassas externas e rebocos propostos Gaspar e Brito (2005).....	91
Tabela 4 - Peso relativo dos defeitos para cada nível de condição, de acordo com custos de reparação de rebocos (Mercado Português) .....	94
Tabela 5 - Níveis de condição definidos por Santos (2018) .....	97
Tabela 6 - Critérios adotados na transição dos níveis de condição de cada anomalia para pesquisa de Santos (2018) .....	98
Tabela 7 - Etapas para obtenção do indicador $I_c$ (indicador da importância relativa da causa de uma patologia $i$ ) propostas por Santos (2018).....	100
Tabela 8 -Matriz de correlação das patologias sobre a queda de desempenho e valores de $I_d$ (indicador da importância relativa da queda de desempenho de uma patologia $i$ ).....	101
Tabela 9 - Constante de ponderação da importância relativa das anomalias detectadas ( $K_{cn}$ ) para as manifestações patológicas estudadas por Santos (2018) 102	
Tabela 10 - Relação das quantidades de amostras de Santos.....	103
Tabela 11 – Valores de Fator Geral de Danos por orientação cardinal para 20 e 40 anos.....	104
Tabela 12 - Tradução da Tabela 1 da ISO 15686-8, com exemplo das notas e descrição das informações qualitativas. ....	115
(continua).....	115
(conclusão) .....	116
Tabela 13 - Resultados da contabilização das áreas molhadas no sentido dos cantos para o centro do modelo 3 e entorno 3 (M3E3) .....	126

Tabela 14 - Resultados da contabilização das áreas molhadas no sentido de cima para baixo (M3E3) .....	127
Tabela 15 - Coeficientes relacionados ao Impacto da Temperatura.....	131
Tabela 16 - Coeficientes relacionados ao Impacto da Temperatura conforme o Iit de exemplo. ....	131
Tabela 17 - Coeficientes relacionados ao Impacto da Temperatura.....	132
Tabela 18 - Coeficientes relacionados ao Fator do Impacto da Chuva. ....	133
Tabela 19 - Coeficientes relacionados à chuva dirigida conforme o FIC de exemplo. ....	134
Tabela 20 – Parâmetros de entrada no software WUFI® Pro 6.5. ....	147
Tabela 21 - Características da argamassa no estado fresco e endurecido.....	148
Tabela 22 - Características dos tijolos .....	149
Tabela 23 - Frequências (fn) para o cálculo do Índice de intensidade de temperatura (Iit).....	151
Tabela 24 - Valores de Iit do revestimento externo de argamassa para os sistemas de vedação vertical com tijolo maciço e bloco cerâmico 6 furos.....	152
Tabela 25 - Análise de Variância (ANOVA) para o Iit. ....	152
Tabela 26 - Teste t de Student para o Iit. ....	153
(continua).....	155
(conclusão) .....	156
Tabela 27 - Dia e mês com maior precipitação acumulada para os sistemas de vedação vertical em estudo no ano típico, após estabilização dinâmica. ....	156
(continua).....	157
(conclusão) .....	158
Tabela 28 - Horários correspondentes a cada teor de umidade, para cálculo do Fator de Impacto da Chuva (FIC). ....	159
Tabela 29 - Valores necessários para o cálculo do e resultados do Fator de Impacto da Chuva (FIC) para o revestimento externo de argamassa para as quatro orientações, para substrato em tijolo maciço e bloco cerâmico 6 furos.	159

Tabela 30 - Análise de Variância (ANOVA) para o Fator de Impacto da Chuva (FIC). 160	
Tabela 31 - Teste t de Student para o FIC.....	160
(continua).....	160
(conclusão) .....	161
Tabela 32 - Altura considerada para dimensão do topo de cada edificação analisada. ....	162
Tabela 33 - Coeficientes relacionados ao Impacto da Temperatura .....	163
Tabela 34 - Coeficientes relacionados à chuva dirigida ( $k_{cd}$ ). ....	163
Tabela 35 – Resultados de IG (índice de gravidade) e ITU (índice de tendência e urgência) para o edifício 33.....	165
(continua).....	165
(conclusão) .....	166
Tabela 36 – Resultados de IG (índice de gravidade) e ITU (índice de tendência e urgência) para o edifício 31.....	167
Tabela 37 – Resultados de IG (índice de gravidade) e ITU (índice de tendência e urgência) para o edifício 21.....	168
(continua).....	168
(conclusão) .....	169
Tabela 38 – Resultados de IG (índice de gravidade) e ITU (índice de tendência e urgência) para o edifício 17.....	170
(continua).....	170
(conclusão) .....	171
Tabela 39 – Resultados de IG (índice de gravidade) e ITU (índice de tendência e urgência) para o edifício 40.....	172
(continua).....	172
(conclusão) .....	173
Tabela 40 – Resultados de IG (índice de gravidade) e ITU (índice de tendência e urgência) para o edifício 07.....	174



(continua).....	175
(conclusão) .....	176
Tabela 41 - Resultados da contabilização das áreas molhadas no sentido dos cantos para o centro. (M1E1).....	208
Tabela 42 - Resultados da contabilização das áreas molhadas no sentido de cima para baixo (M1E1) .....	209
Tabela 43 - Resultados da contabilização das áreas molhadas no sentido dos cantos para o centro. (M1E2).....	210
Tabela 44 - Resultados da contabilização das áreas molhadas no sentido de cima para baixo (M1E2) .....	211
Tabela 45 - Resultados da contabilização das áreas molhadas no sentido dos cantos para o centro. (M1E3).....	212
Tabela 46 - Resultados da contabilização das áreas molhadas no sentido de cima para baixo (M1E3) .....	213
Tabela 47 - Resultados da contabilização das áreas molhadas no sentido dos cantos para o centro. (M2E1).....	214
Tabela 48 - Resultados da contabilização das áreas molhadas no sentido de cima para baixo (M2E1) .....	215
Tabela 49 Resultados da contabilização das áreas molhadas no sentido dos cantos para o centro. (M2E2).....	216
Tabela 50 - Resultados da contabilização das áreas molhadas no sentido de cima para baixo (M2E2) .....	217
Tabela 51 - Resultados da contabilização das áreas molhadas no sentido dos cantos para o centro. (M2E3).....	218
Tabela 52 - Resultados da contabilização das áreas molhadas no sentido de cima para baixo (M1E3) .....	219
Tabela 53 - Resultados da contabilização das áreas molhadas no sentido dos cantos para o centro. (M3E1).....	220

Tabela 54 - Resultados da contabilização das áreas molhadas no sentido de cima para baixo (M3E1) .....	221
Tabela 55 - Resultados da contabilização das áreas molhadas no sentido dos cantos para o centro. (M3E2) .....	222
Tabela 56 - Resultados da contabilização das áreas molhadas no sentido de cima para baixo (M3E2) .....	223
Tabela 57 - Resultados da contabilização das áreas molhadas no sentido dos cantos para o centro. (M3E3) .....	224
Tabela 58 - Resultados da contabilização das áreas molhadas no sentido de cima para baixo (M3E3) .....	225
Tabela 59 - Resultados da contabilização das áreas molhadas no sentido dos cantos para o centro. (M4E4) .....	226
Tabela 60 - Resultados da contabilização das áreas molhadas no sentido de cima para baixo (M4E4) .....	227
Tabela 61 – Soluções salinas utilizadas no ensaio para obter umidade relativa específica. ....	231
Tabela 62 - Cálculo de IG e ITU Edifício 07 Norte.....	241
Tabela 63 - Cálculo de IG e ITU Edifício 07 Sul .....	241
Tabela 64 - Cálculo de IG e ITU Edifício 07 Leste .....	242
Tabela 65 - Cálculo de IG e ITU Edifício 07 Oeste.....	243
Tabela 66 - Cálculo de IG e ITU Edifício 40 Norte.....	244
Tabela 67 - Cálculo de IG e ITU Edifício 40 Sul .....	244
Tabela 68 - Cálculo de IG e ITU Edifício 40 Leste .....	245
Tabela 69 - Cálculo de IG e ITU Edifício 40 Oeste.....	246
Tabela 70 - Cálculo de IG e ITU Edifício 17 Norte.....	247
Tabela 71 - Cálculo de IG e ITU Edifício 17 Sul .....	247
Tabela 72 - Cálculo de IG e ITU Edifício 17 Leste .....	248
Tabela 73 - Cálculo de IG e ITU Edifício 17 Oeste.....	249
Tabela 74 - Cálculo de IG e ITU Edifício 21 Norte.....	250

Tabela 75 - Cálculo de IG e ITU Edifício 21 Sul .....	250
Tabela 76 - Cálculo de IG e ITU Edifício 21 Leste .....	251
Tabela 77 - Cálculo de IG e ITU Edifício 21 Oeste.....	252
Tabela 78 - Cálculo de IG e ITU Edifício 31 Norte.....	253
Tabela 79 - Cálculo de IG e ITU Edifício 31 Sul .....	253
Tabela 80 - Cálculo de IG e ITU Edifício 31 Leste .....	254
Tabela 81 - Cálculo de IG e ITU Edifício 31 Oeste.....	254
Tabela 82 - Cálculo de IG e ITU Edifício 33 Norte.....	255
Tabela 83 - Cálculo de IG e ITU Edifício 33 Sul .....	255
Tabela 84 - Cálculo de IG e ITU Edifício 33 Leste .....	256
Tabela 85 - Cálculo de IG e ITU Edifício 33 Oeste.....	257

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Instruções para divisão das amostras de fachadas .....	85
Quadro 2 - Níveis de gravidade das manifestações patológicas em revestimentos de argamassa e valores do coeficiente de gravidade kn propostos .....	115
Quadro 3 – Descrição dos níveis e atribuição de coeficientes relacionados à urgência em intervir .....	134
Quadro 4 - Idade das edificações .....	137

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABNT: : Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR: Norma Brasileira

NORIE: Núcleo Orientado para Inovação da Edificação

RS: Rio Grande do Sul

ID: Índice de Degradação

IG: Índice de Gravidade

ITU: Índice de Tendência e Urgência

FD: Fator de Danos

FGD: Fator Geral de Danos

MMD: Método de Mensuração da Degradação

SVVE: Sistemas de Vedação Vertical Externo

SVVIE: Sistemas de Vedação Vertical Interno e Externo

PPGCI: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UFSM: Universidade Federal de Santa Maria

UnB: Universidade de Brasília

WUFI®: Wärme Und Feuchte Instationär

EN: European Standards

VU: Vida útil

VUP: Vida útil de Projeto

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	28
1.1	Justificativa .....	34
1.2	Objetivo Geral.....	36
1.2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	36
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	37
1.4	Limitações da pesquisa .....	37
2	Revisão Bibliográfica .....	39
2.1	A Degradação dos Revestimentos de argamassa.....	40
2.1.1	Agentes de degradação .....	42
2.2	Manifestações patológicas em revestimento de argamassa.....	44
2.2.1	Manchas .....	45
2.2.2	Eflorescência E CRIPTOFLORESCÊNCIA .....	52
2.2.3	UMIDADE.....	57
2.2.4	FISSURAS.....	69
2.2.5	FALTA OU PERDA DE ADERÊNCIA DO REVESTIMENTO DE ARGAMASSA.....	73
2.3	Método de Mensuração da Degradação.....	77
2.3.1	Banco de dados .....	78
2.3.2	Diagnóstico .....	89
2.3.3	nível geral de danos (ngd).....	90
2.3.4	Fator de danos.....	95
2.3.1	impactos da temperatura e da chuva dirigida nos revestimentos externos 104	
3	Método proposto .....	109
3.1	Índice de Gravidade .....	110
3.1.1	Nível máximo de gravidade.....	110
3.1.2	Nível intermediário de gravidade .....	111

3.1.3	Nível baixo de gravidade .....	112
3.2	Tendência e Urgência .....	117
3.2.1	Avaliação conforme a orientação Cardeal.....	120
3.2.2	Análise do nível de exposição das regiões da fachada frente à chuva dirigida através de modelos reduzidos .....	122
3.2.3	Análise das manifestações patológicas e do acesso/exposição de pessoas às fachadas analisadas .....	128
3.2.4	PROPOSTA DO INDICADOR DE TENDÊNCIA E URGÊNCIA .....	129
4	Aplicação do Método Proposto .....	135
4.1	Composição do Banco de dados .....	137
4.2	Categorização das amostras .....	142
4.3	CÁlculo dos Índices .....	143
4.3.1	Avaliação conforme a orientação Cardeal.....	143
4.3.2	Análise do nível de exposição das regiões da fachada frente à chuva dirigida através de modelos reduzidos .....	161
4.3.3	Coeficientes Tendência Resultantes das análises .....	162
4.4	resultado das análises dos indicadores.....	164
5	considerações finais .....	192
5.1	Sugestões para trabalhos futuros .....	194
6	Referências.....	196

## 1 INTRODUÇÃO

Entre os fatores essenciais responsáveis pela qualidade dos espaços urbanos está a durabilidade das construções. Os problemas acarretados devido à degradação dos edifícios refletem em âmbitos econômicos, culturais e ambientais (SILVA; GASPAS; BRITO, 2014). Muitos desperdícios e problemas como poluição podem ser evitados quando os materiais e sistemas construtivos apresentam vida útil longa. (RAMÍREZ *et al.*, 2021). A falta de manutenção gera a desvalorização do patrimônio edificado. A demolição de edifícios que atingiram altos níveis de degradação, sem condições de reabilitação, gera resíduos que causam danos ambientais (NASCIMENTO, 2016).

A preocupação com a durabilidade das edificações tomou maior importância e destaque na década de 70, com o advento da crise econômica mundial. Até então era uma questão basicamente associada aos monumentos históricos sociais (JOHN, 1987). Desta forma, em 1972, ocorre o primeiro Simpósio Internacional sobre o tema na Filadélfia, Estados Unidos, com o título “3rd International Symposium RILEM<sup>1</sup>-ASTM<sup>2</sup>-CIB<sup>3</sup>: Performance concept in buildings” (tradução própria: 3º Simpósio Internacional RILE-ASTM-CIB: Conceito de desempenho em edifícios), já o segundo foi realizado , em Lisboa (Portugal) no ano de 1982 e o terceiro em Haifa (Israel), em 1996.

Em 1982 foi divulgada a Publicação 64 do CIB Report com o título “Working with the performance approach in building” (tradução própria: “Trabalhando com a abordagem de desempenho na construção”) (GIBSON, 1982), que trata de forma bastante esclarecedora a abordagem de desempenho na área da construção civil. Esta publicação apresenta como principal conteúdo a compilação das discussões que ocorreram em três workshops entre os dois primeiros simpósios sobre o assunto. O primeiro workshop teve como título “Setting Performance Criteria for Building Products” (tradução própria: “Definição de critérios de desempenho para produtos de construção”), o segundo “Performance Test Methods and the Interpretation of Results” (tradução própria: “Métodos de teste de desempenho e a interpretação dos resultados”) e o terceiro “The Relative Significance of Different Performance

---

<sup>1</sup>*International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials* (União Internacional de Laboratórios e Especialistas em Materiais de Construção)

<sup>2</sup>*American Society for Testing and Materials* (Sociedade Americana para Testes e Materiais)

<sup>3</sup>*Conseil International du Bâtiment* (Conselho Internacional da Construção)



Requirements” (tradução própria: “A importância relativa dos diferentes requisitos de desempenho”). Apesar de antiga, esta publicação ainda é bastante utilizada e vigente. A seguir, “no início deste século, a série de normas ISO 15686 – *Buildings and Constructed Assets – Service Life Planning*” (JOHN; SATO, 2006).

A consciência da importância da manutenção das construções já é consolidada mundialmente. Conforme Pereira (2018), “a manutenção dos edifícios é parte integrante da sua vida útil”, e é essencial para a melhora da durabilidade do edificado e dos seus componentes. Desta forma, Shohet *et al.* (1999) apontam a necessidade de modelos de expectativa de vida, que prevejam a deterioração de componentes, com a finalidade de planejar as manutenções necessárias e melhorar a eficácia das edificações. Assim, pesquisadores estudam métodos para tal, como Souza *et al.* (2015) e Silva (2014), que avaliaram o nível de degradação das fachadas com revestimentos cerâmicos, quantificando as anomalias através do mapeamento de danos para calcular índices de degradação, e como Bauer *et al.* (2015), que propõem uma metodologia de inspeção, identificação e quantificação das manifestações patológicas para a estimativa da degradação de fachadas com revestimento cerâmicos.

As fachadas são elementos que interferem na arquitetura, no entorno da edificação, valorizando os espaços envolventes e ainda tem como função controlar as trocas do meio interior e exterior (FLORES-COLEN; BRITO; FREITAS, 2009). Ou seja, a fachada delimita o ambiente externo e interno e tem funções de proteger a edificação das intempéries, como a chuva, radiação solar e o vento; ser barreira acústica e térmica; além da função estética. Assim, se faz necessário entender diversos fatores relacionados à degradação das fachadas, que, segundo Nascimento (2016), é um processo complexo devido à quantidade de agentes envolvidos.

No Brasil, um dos revestimentos de parede mais utilizados é a argamassa, tanto interno quanto externo e, mesmo assim, as manifestações patológicas ainda são bastante recorrentes (STOLZ, 2015). Entre as principais funções que o revestimento de argamassa externo desempenha é, segundo Flores-Colen *et al.* (2009), a de proteger as alvenarias contra as ações externas (climáticas e humanas) e, de forma simultânea, promover a estética, dando acabamento aos sistemas de vedação. Em nível de projeto, têm se levado em consideração aspectos genéricos, no entanto, os materiais e componentes deveriam ser especificados considerando as condições ambientais do local da edificação, como incidência solar, umidade, índices pluviométricos, ventos, ação de chuva dirigida (chuva com ação do vento) (NASCIMENTO, 2016). Carasek (2007) explica que a deterioração dos revestimentos de argamassa pode ser de procedência

física, mecânica, química e biológica, no entanto, na prática, há sobreposição e interação destas origens. A autora ainda enfatiza as consequências nocivas para o revestimento, como a desagregação, descolamento, fissuras, porosidade, entre outros.

A ABNT NBR 15575-1 (2013) define como agente de degradação “tudo aquilo que agindo sobre um sistema contribui para reduzir seu desempenho”. Straube (2002) coloca a água como o agente mais importante da deterioração do edifício, já que está envolvida em diversos processos de degradação, como corrosão eletroquímica; deterioração química e a dissolução de materiais como gesso, madeira, ou ainda envolvida em processos de carbonatação e reações com agregados alcalinos (reação álcali agregado); processos de gelo e degelo; manchamentos nos revestimentos; alteração do volume dos materiais, causando a desagregação, fissuras e falhas; e ainda o crescimento de agentes biológicos que causam a biodeterioração.

Compreender como os agentes de degradação influenciam na deterioração dos componentes é necessário para relacionar e colaborar na fase de projeto e operação das edificações. Uma forma de entender como estes agentes impactam nos sistemas construtivos é através de softwares de simulação computacional, como o WUFI® (Wärme Und Feuchte Instationär) desenvolvido pela Fraunhofer Institute for Building Physics, validado segundo a norma DIN EN 15026 (2007), e que atualmente é um dos softwares utilizados para analisar a resposta higrotérmica de sistemas construtivos em regime transiente de calor e umidade. O calor em regime transiente ocorre quando a temperatura muda com o tempo em uma mesma posição no interior do corpo, que é o que realmente ocorre nas edificações. Sabendo disso, os softwares de simulação mais atualizados caracterizam o comportamento higrotérmico dos edifícios utilizando este regime e, através deles, é possível relacionar os agentes climáticos, como chuva dirigida, radiação solar, temperatura e orientação cardinal, às condições de degradação das fachadas (NASCIMENTO, 2016).

Desta forma, entende-se que a construção civil deve estar preocupada com a sustentabilidade de suas intervenções, preocupando-se com a qualidade, custos, questões ambientais atuais e futuras, criando, desta forma, novos requisitos que têm de ser contemplados na forma de construir (LIMA; BRAGANÇA; MATEUS, 2012). A compreensão de como as edificações deterioram com o passar dos anos é uma forma de entender como as novas intervenções podem ser executadas de forma a aumentar a durabilidade dessas edificações.

Desde que entrou em vigor a norma de desempenho ABNT NBR 15575 (2013), intensificaram-se as preocupações da comunidade da construção civil em satisfazer as suas exigências. Em relação à vida útil, tais solicitações estão abordadas na parte 1 da norma, em sustentabilidade (subdividida em durabilidade, manutenibilidade e impacto ambiental), habitabilidade e segurança. A norma de desempenho brasileira (ABNT NBR 15575, 2013) e a ISO 15686-1 (2011, p. 4, tradução nossa), definem vida útil (VU) como “período de tempo após a instalação, durante a qual uma instalação ou seus componentes atendem ou excedem os requisitos de desempenho”.

No entanto, John (1987) acredita que o fim da vida útil não será quando o componente aponte a necessidade de manutenção, mas sim quando a degradação é de tal dimensão que as manutenções não são suficientes para o elemento recompor seu desempenho, sendo necessários reparos (manutenções corretivas) generalizados.

Já Gaspar (2002<sup>4</sup> apud SOUSA, 2008) caracteriza a vida útil como:

“[...] um conceito relativo, que depende da definição dos níveis mínimos aceitáveis de performance para o período de serviço do elemento considerado, dos critérios de quem avalia determinada característica (seja o desempenho de uma impermeabilização, a viabilidade econômica de uma solução de caixilharia ou o padrão mínimo de conforto de uma habitação) e do respectivo contexto social, econômico, político, estético, ambiental ou normativo que enquadram essa avaliação”.

Durante sua apresentação na 6ª Conferência sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios (PATORREB 2018), Jorge Brito e Ana Silva, pesquisadores reconhecidos na área, explicam que “O fim da vida útil depende da definição de critérios de aceitação, isto é, dos níveis de exigência dos utentes e da sua percepção relativamente à degradação das construções.”. Ainda colocam que estes critérios variam conforme o lugar, a época, o contexto social, econômico, político, ambiental e estético, sendo bastante subjetivo, e mesmo que os edifícios mantenham suas propriedades, dependendo das mudanças dos critérios de aceitação, a vida útil pode ser decretada, devido à obsolescência funcional (PEREIRA; SILVA; BRITO, 2018). Assim, os autores enfatizam a necessidade de conhecer o limite de degradação máximo admitido para o elemento estudado (BRITO; SILVA, 2018). Desta forma, entende-se que a vida útil deva ser definida não apenas por questões técnicas, como segurança, estabilidade e degradação, mas

---

<sup>4</sup> GASPARGASPAR, P. Metodologia para cálculo da durabilidade de rebocos exteriores correntes, Dissertação de Mestrado em Construção, IST, Lisboa, Dezembro 2002, 203 p.

também pelas definições de aceite dos usuários, que envolvem questões estéticas e conforto visual, que afetam o grau de satisfação de seus utilizadores, estes não abordados pela ABNT NBR 15575 (2013). Porém, estimar a vida útil considerando apenas questões técnicas já é bastante complexo, e adicionar questões subjetivas como as exigências de utentes com diferentes culturas e contextos sociais torna-se quase inviável.

A ABNT NBR 15575 (2013) estabelece um período mínimo chamado de vida útil de projeto (VUP) para o atendimento dos requisitos nela estabelecidos, e como estes serão avaliados. Desta forma, a edificação deverá atender a VUP apresentando o desempenho adequado durante sua utilização e favorecendo sua manutenção. Assim, é necessário estabelecer estratégias considerando “o comportamento esperado dos elementos para as condições de serviço, os modelos e agentes de degradação característicos, os níveis de qualidade estabelecidos, os tipos de anomalias relevantes e os custos envolvidos” (FLORES; BRITO, 2002).

A “Tabela C.2 — Categoria de Vida Útil de Projeto para partes do edifício” da ABNT NBR 15575-1 (2013) categoriza os revestimentos de fachadas como uma parte do edifício manutenível, visto que são partes duráveis, mas necessitam de intervenções periódicas, e ainda são passíveis de substituição ao longo da vida útil do edifício como um todo. A norma ainda coloca que a vedação vertical externa deve ter uma Vida Útil de Projeto (VUP) no mínimo de 40 anos, sendo de seu revestimento externo no mínimo 20 anos e explica que uma das formas de considerar atendido o requisito de Vida Útil de Projeto (VUP) é a não ocorrência de intervenções iguais ou superiores a categoria D da “Tabela C.3 – Custo de manutenção e reposição ao longo da vida útil” da ABNT NBR 15575-1 (2013) descritas como “alto custo de manutenção e/ou reparação; custo de reposição superior ao custo inicial; comprometimento da durabilidade afeta outras partes do edifício”, desde que não previstas no Manual de Gestão de Manutenção, após 50% deste prazo (10 anos para os revestimentos externos), (ABNT NBR 15575-1, 2013).

Hovde (2004) explica que na busca de desenvolver métodos para a revisão de vida útil de edifícios, ou suas partes, muitos trabalhos foram desenvolvidos durante a década de 80 no Japão. Entre as publicações está um Guia Principal para o planejamento da vida útil de edifícios, onde há explicado um método geral para previsão da vida útil com base na deterioração com uma lista das condições que influenciam a vida útil, e estas condições refletem em fatores usados em um método fatorial, sendo que explica os valores de cada coeficiente e como calculá-los, já que podem variar conforme a situação. O Guia ainda define que a vida útil padrão deve

ser prevista com base na experiência, e é o período de tempo até que a edificação atinja um estágio específico de deterioração, sendo que o edifício, ou suas partes, se degradam sob qualquer uma das condições especificadas, nas circunstâncias de projeto, construção, uso, manutenção e clima "normais" exposição. Já a vida útil estimada: a vida útil padrão multiplicada por uma variedade de fatores que serão de acordo com o projeto execução, uso, manutenção e exposição climática de um edifício ou parte do edifício.

Dessa forma, a ISO/DIS 15868-1 (2011) define o método fatorial como a modificação da vida útil de referência de por fatores que consideram as condições específicas de uso. No entanto, na prática os dados geralmente não estão disponíveis. Assim, a ISO/DIS 15868-8 (2008) apresenta um método fatorial com estrutura simplificada, considerando condições específicas do local e estimar vidas úteis para condições específicas de uso. Conforme Souza (2019), estas avaliações podem ser bastante complexas quando se avalia um sistema, com diversos requisitos além de muitas limitações de conhecimento e dados disponíveis. Assim a autora enfatiza a importância da identificação dos mecanismos de degradação, que possibilitará a redução do erro e melhora das bases que estabelecem quais destes mecanismos serão considerados em programas de exposição.

Entende-se, assim, que os estudos do nível de degradação das edificações são muito importantes no momento em que são eles que proporcionam o entendimento do estado de degradação das edificações na atualidade. Estes estudos permitem comparar tecnologias utilizadas, climas, e outras variáveis que podem interferir no comportamento dos materiais, componentes e elementos que compõem as edificações, para proporcionar futuras melhores escolhas que possam aumentar a durabilidade das novas edificações e das existentes, quando houver intervenções. Além disso, para buscar estratégias de intervenção, é necessário entender o nível e a tendência de evolução da degradação encontrada na edificação ou parte dela. Tanto as manifestações patológicas dos sistemas de vedação vertical externos (SVVEs), quanto a forma como estas evoluem ao longo dos anos, estão relacionadas aos materiais que compõem os sistemas construtivos e ao local em que estão inseridos, visto que propiciam exposições distintas aos agentes agressivos relacionados ao ambiente (JOHN, 1987). Dessa forma, este trabalho pretende propor uma forma de avaliar os revestimentos externos de argamassa, sua gravidade, tendência de evoluir e urgência em intervir, de forma a auxiliar os gestores das edificações para a tomada de decisão em relação à necessidade de intervenções de manutenção.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A degradação dos edifícios e a mensuração dos danos nas fachadas vêm sendo estudados por diversos pesquisadores no Brasil, destacando-se as pesquisas na Universidade de Brasília (UNB) (ANTUNES, 2010; SILVA *et al.*, 2014a; ZANONI, 2015; NASCIMENTO, 2016; SOUZA, 2016;), e no exterior, onde o Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa (Portugal) se sobressai nos estudos (FLORES; BRITO, 2002; GASPAR; BRITO, 2005, 2010; FLORES-COLEN; BRITO; FREITAS, 2009; SILVA; GASPAR; BRITO, 2014). Um índice utilizado para avaliação da degradação dos revestimentos é o Fator Geral de Danos (FGD) que vem sendo analisado no Brasil nos trabalhos da UNB, mas tem como base diversos outros trabalhos como aqueles sobre Nível Geral de Danos (NGD) de Gaspar e Brito (2008), entre outros, principalmente portugueses. Estes índices serão explicados mais amplamente na revisão bibliográfica, item 2 deste trabalho, mas permitem a comparação entre amostras de fachadas de um mesmo universo, onde é possível compreender quais estão mais ou menos degradadas. De forma geral, estas pesquisas sugerem equações para calcular índices e o resultado é uma curva de degradação ao longo do tempo.

Estes modelos de equações da degradação de fachadas categorizam as manifestações patológicas e atribuem coeficientes relativos à importância e gravidade de cada grupo. Segundo Bauer *et al.* (2020) o desafio está na definição dos critérios para a ponderação desses valores. Gaspar e Brito (2008, 2010, 2011) consideram os custos de reparação das manifestações patológicas para a classificação dos níveis, no entanto, entende-se que a gravidade de uma manifestação patológica não pode ser classificada de forma distinta apenas por ter custos de reparo diferentes.

Para a categorização e atribuição de coeficientes, Bauer *et al.* (2020) Bauer, Souza e Mota (2021) apresentam o Índice de Gravidade (IG), sendo atribuídos coeficientes resultantes das análises da importância relativa das manifestações patológicas considerando suas causas e o impacto na perda de desempenho, que será melhor explicado na revisão bibliográfica deste trabalho. Através de suas análises, Bauer *et al.* (2020) e Bauer, Souza e Mota (2021) concluem que as fissuras devem ter o maior IG.

O presente trabalho propõe um conceito alternativo de gravidade daquele que gera os coeficientes das equações de degradação propostos por Gaspar e Brito (2008, 2010, 2011), Bauer *et al.* (2020) e Bauer, Souza e Mota (2021). Entende-se que a gravidade deve estar

relacionada às possíveis consequências das manifestações patológicas, e qual a possibilidade de atingirem o nível máximo, que aqui se considera quando resulta em perda de aderência.

Desta forma, este trabalho pretende propor dois indicadores: o primeiro que permite comparar as amostras entendendo quais estão com maior ou menor nível de gravidade no momento em que é realizado o levantamento; e o segundo, onde busca-se apontar as amostras com maior tendência de evoluir para maiores níveis de degradação, considerando manifestações existentes e aos agentes climáticos que atuam sobre as fachadas, e qual a urgência em intervir, analisando pelo aspecto de segurança do usuário.

Estas análises são importantes não apenas para comunidade acadêmica, mas têm grande relevância para os gestores de manutenção dos edifícios, principalmente em grandes condomínios ou instituições com diversas edificações para gerir. São estas pessoas que, em geral, decidem quando ocorrerão as intervenções nos sistemas construtivos. Para isso, é necessária uma forma de auxiliar estes gestores nessa atividade, ou seja, que auxilie estes na avaliação dos problemas existentes nas fachadas, e quais as causas e possíveis consequências destes problemas. Quando não há essa compreensão, há chances de questões financeiras estarem com prioridade na escolha do tipo de intervenção a ser realizada. Cabral (2013) enfatiza que, em processo de gestão de manutenção, a prioridade deve ser o empenho de técnicas com o objetivo de tornar a edificação segura, com bom funcionamento, com melhor rendimento e segurança, evitando avarias, e quando surgirem, que sejam reparadas. O autor coloca os custos (ou questões financeiras) como consequências e não um objetivo em si mesmo. Assim, o gestor de manutenção deve ser sensível aos custos, mas entender que estes não influenciam no processo de degradação da edificação. Dessa forma, este trabalho analisa questões que influenciam na degradação dos revestimentos de argamassa e segurança dos usuários para que os gestores possam acompanhar o revestimento da edificação de forma a realizar manutenções preventivas, evitando ao máximo as corretivas, mas realizá-las quando necessário. Compreende-se que, quando não executadas as devidas intervenções, as manifestações patológicas presentes poderão evoluir, até o momento em que a única solução para o sistema construtivo será a substituição do componente.

Sempre há o risco que o gestor tome decisões a partir do que considera importante com base nas suas experiências, cultura e valores, o que é muito subjetivo (KEPNER; TREGOE, 1976). Desta forma, organizar a coleta de dados e atribuir pesos aos problemas diagnosticados, de forma a apontar os problemas que devem ser tratados como prioridade de maneira sistemática,

é uma alternativa que diminui estes riscos. Portanto, este trabalho busca propor a avaliação dos revestimentos de fachada de forma sistematizada, que aponte aos gestores a gravidade e extensão da degradação da fachada, a partir das manifestações patológicas encontradas; a tendência que o revestimento da fachada tem de evoluir para estágios mais graves, a partir da exposição aos agentes agressivos que geram a maioria das manifestações patológicas; e qual a urgência em intervir numa determinada fachada (ou parte dela) para evitar acidentes, considerando a segurança dos usuários ou pessoas que possam estar próximas às fachadas degradadas. Para isso, são propostos dois indicadores, uma do Índice de Gravidade e outro do Índice de Tendência e Urgência. Para calcular estes indicadores são atribuídos coeficientes de gravidade relativos às manifestações patológicas mais recorrentes nos revestimentos de argamassa, que podem ser utilizados independente da localização da edificação; e coeficientes relacionados com a tendência de evolução das manifestações patológicas para maiores níveis de gravidade, que devem ser determinados conforme a localidade da edificações, já que os agentes de degradação que geram e agravam estas manifestações são relacionados ao ambiente de exposição destas fachadas, e coeficiente da urgência em intervir, que considera as manifestações presentes nas fachadas e a possibilidade de pessoas se aproximarem das fachadas analisadas. Com os resultados do índice de tendência e urgência (ITU) o gestor poderá constatar quais fachadas, ou amostras das fachadas, possuem maiores tendências de agravamento, bem como urgência em intervir, tendo amparo na decisão sobre qual deve ser priorizada em intervenções como por exemplo, de manutenção.

## 1.2 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é propor indicadores para avaliação de anomalias em fachadas com revestimento de argamassa, através do entendimento da gravidade das manifestações patológicas encontradas, tendência de agravamento e urgência em intervir.

### 1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- a) propor coeficientes que caracterizem a gravidade das manifestações patológicas em revestimentos externos de argamassa;



- b) propor coeficientes que caracterizem a tendência de agravamento das manifestações patológicas que ocorrem em revestimento de fachada de argamassa;
- c) propor coeficientes que caracterizem a urgência de intervenção nas manifestações patológicas de revestimento de fachada de argamassa;
- d) propor um índice referente ao estado de gravidade de uma fachada com revestimento de argamassa;
- e) propor um índice referente à a tendência de agravamento e urgência em intervir nas fachadas com revestimento de argamassa, de forma a auxiliar os gestores de edificações na tomada de decisão sobre intervenções de manutenção;
- f) aplicar o método para diferentes edificações inseridas em um mesmo contexto climático, com tecnologias semelhantes.

### 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O primeiro capítulo deste estudo apresenta o contexto, justificativa, objetivos e estrutura da pesquisa. Na sequência, através da revisão bibliográfica, no segundo capítulo são esclarecidos alguns conceitos importantes relacionados à degradação dos revestimentos de argamassa, seus agentes agressivos, as manifestações patológicas mais recorrentes e formas existentes de avaliar a degradação de revestimentos, bem como prever a sua vida útil. Já no terceiro capítulo é apresentado o método proposto para esta pesquisa, seguido pela aplicação deste método e discussão dos resultados. No quinto capítulo são apresentadas as considerações finais e sugestões para trabalhos futuros.

### 1.4 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Para a aplicação do método deste trabalho, buscou-se avaliar edificações em um mesmo local, com formas semelhantes e com um único material de revestimento. Assim, neste estudo foram avaliadas as fachadas de revestimento de argamassa, em edificações do campus da Universidade Federal de Santa Maria, construídas a partir da década de 60, até edificações concluídas em 1989, com formas arquitetônicas e tecnologias construtivas semelhantes. As

edificações do campus universitário foram escolhidas por serem, até o início da pandemia<sup>5</sup>, de fácil acesso ao público geral, inclusive nos finais de semana, o que colaborou com os levantamentos. Apesar de existir a administração geral do campus, há a administração de cada edificação, localizada em cada centro de ensino. Assim, as edificações avaliadas são aquelas que os gestores autorizaram os levantamentos para esta pesquisa. A administração geral colocou como limite a utilização de métodos não destrutivos, assim como a não utilização de trabalho em altura, por questões de segurança.

Os levantamentos das fachadas realizados para este trabalho foram realizados em 2018 e os ensaios laboratoriais, até o início de 2020. Com a ocorrência da pandemia não foram realizadas atualizações nos levantamentos nem novos ensaios, visto que a UFSM restringiu o acesso ao campus e os laboratórios da UFRGS permaneceram fechados por um período prolongado.

Os materiais caracterizados para proposta do método foram baseados nas especificações gerais de obras dos edifícios da UFSM. Como não há como realizar as caracterizações necessárias dos materiais em uso em laboratório, pois isso implicaria a remoção dos mesmos da parede, buscou-se por materiais comuns na região.

---

<sup>5</sup> Referente a pandemia de COVID-19 (doença respiratória causada pelo coronavírus da síndrome respiratória aguda grave) conhecida no final de 2019 em Wuhan, na China e classificada como pandemia pela Organização Mundial da Saúde (OMS) em março de 2020, sendo a classificação vigente no momento desta tese.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A degradação, de forma geral, é o processo que causa a deterioração de uma ou mais propriedades em um item devido a uma ação (ISO 15686-8, 2008). Para a ABNT NBR 15575-1 (2013a), a degradação significa a redução do desempenho da edificação devido à ação de agentes. Assim, entende-se que degradação é um processo de transformação que ocorre sob um objeto, no caso deste trabalho, os revestimentos de argamassa, que implicam na perda de sua qualidade e de suas funções. Essas transformações são causadas por agentes (que podem ou não ser previstos) e evoluem com o tempo, devido a ação destes agentes.

John (1987), CIB W080/Rilem 71 PSL, Gaspar e Brito (2010) e a ABNT NBR 15575-1 (2013a) explicam, no contexto das edificações, que a durabilidade e manutenibilidade do edifício são requisitos de usuário relacionados à sustentabilidade do edifício, onde a durabilidade é a capacidade que um produto tem de manter seu desempenho acima dos níveis especificados, de forma a atender os requisitos dos usuários em situações específicas. Somado a isso, Gaspar e Brito (2010) ainda acrescentam que durabilidade é o período de tempo entre a execução de um elemento construtivo até o momento em que este deixe de cumprir com o desempenho que lhe é exigido. Ainda, conforme a ABNT NBR 15575-1 (2013a), a durabilidade é a resistência que um material possui à degradação, quando incorporado a uma estrutura. Esta característica está relacionada ao modo como o material reage no meio ao qual está exposto, de modo que as características e transformações físicas e químicas que ocorrerão é que determinam a taxa de degradação e durabilidade. Assim, não se pode afirmar que um material é durável, ou ainda, comparar a durabilidade de materiais, sem especificar as condições às quais estão expostos. Por isso, John (1987) explica que a avaliação de durabilidade só deve ser realizada para materiais destinados a um mesmo uso, em uma mesma exposição ao ambiente.

A ABNT NBR 15575-1 (2013a) vincula a questão de durabilidade às questões econômicas, já que está associada ao custo global do imóvel. A mesma norma atribui ao projetista a função de especificar os materiais, produtos e processos a fim de atender aos requisitos de desempenho por ela estabelecidos. Já aos construtores e incorporadores, esta mesma norma estabelece como uma de suas funções a elaboração de manual de manutenção que deverá ser entregue ao proprietário dos imóveis ou, no caso de áreas comuns, ser entregue ao condomínio. Para isso, Madureira *et al.* (2017) propõem que exista um plano de manutenção para fachadas, para construções atuais, com a estimativa da vida útil de cada elemento.

Nesta revisão são abordadas as formas de degradação dos revestimentos de argamassa, as manifestações patológicas mais comuns dos revestimentos de argamassa, método de mensurar os danos e avaliar a degradação destes revestimentos.

## 2.1 A DEGRADAÇÃO DOS REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA

Alguns edifícios entram em processo de degradação de forma bastante precoce, isso muitas vezes devido às suas características construtivas, má qualidade ou falhas de desempenho críticas. Como já mencionado, as falhas ocorrem em diferentes etapas da edificação, podendo ser ainda em fase de projeto, especificação, escolha dos materiais, durante a execução ou na utilização.

A envoltória da edificação é composta basicamente pelas fachadas e pela cobertura, desta forma estes sistemas são os mais expostos às condições adversas, já que têm como função a proteção da edificação em relação aos agentes climáticos, isolamento térmica e acústica, ser estanques à água, entre outras (ABNT NBR 15575-4, 2013). Os principais materiais utilizados nos revestimentos das fachadas das edificações são argamassas, cerâmicas e pétreos. O autor enfatiza que, no momento da escolha dos materiais para esta finalidade, não se deve atender apenas aos requisitos estéticos, mas também escolher aqueles que possuam resistências às ações externas de forma adequada. Silva (2014) adiciona a importância da escolha correta, visando a qualidade e durabilidade da construção que, somada à manutenção adequada, melhora o desempenho dos revestimentos e prolonga a vida útil da edificação, também afirmado pela ABNT NBR 15575-1 (2013).

Para Gaspar e Brito (2010), os revestimentos atingem seu estado limite quando ocorrem fenômenos com perda de aderência, como deslocamentos. No caso dos revestimentos de argamassa, conforme os autores, logo que executados, iniciam seu processo contínuo de degradação, e ao longo do tempo, deixam de cumprir o desempenho mínimo requerido. Gaspar e Brito (2010) explicam que, mesmo quando não atingem seu estado limite, o processo de degradação é visível através de manifestações patológicas que geralmente se iniciam por manchas de sujidade, que ao passar do tempo aumentam sua área de abrangência e sua gravidade, seguidas de fissuras, sobreposição de danos, finalizando com a perda de aderência do revestimento de argamassa.

O estudo do estado de degradação realizado por Gaspar e Brito (2010) em 100 fachadas com revestimento de argamassa apontou que, de forma geral, o manchamento e a fissuração do revestimento não são decisivos para determinar o fim da durabilidade dos revestimentos. No entanto, as manchas apresentam um padrão de degradação crescente ao longo do tempo, que, por vezes, afetam grandes extensões das fachadas e alteram principalmente aspectos relacionados à estética da edificação, e dependendo do uso, pode ser considerada importante. Também foi detectado que a perda de aderência está diretamente relacionada ao fim da durabilidade do revestimento, visto que está relacionada às questões de segurança do mesmo e proteção das paredes. No caso das fissuras, não foi detectada relação da idade das edificações com o surgimento de fissuras transversais no revestimento, mas os autores ressaltaram a importância de considerar esta manifestação patológica, mesmo que esta não se apresente como o principal mecanismo de degradação, pois as fissuras potencializam a sinergia entre os mecanismos de degradação e, desta forma, aceleram a degradação do revestimento.

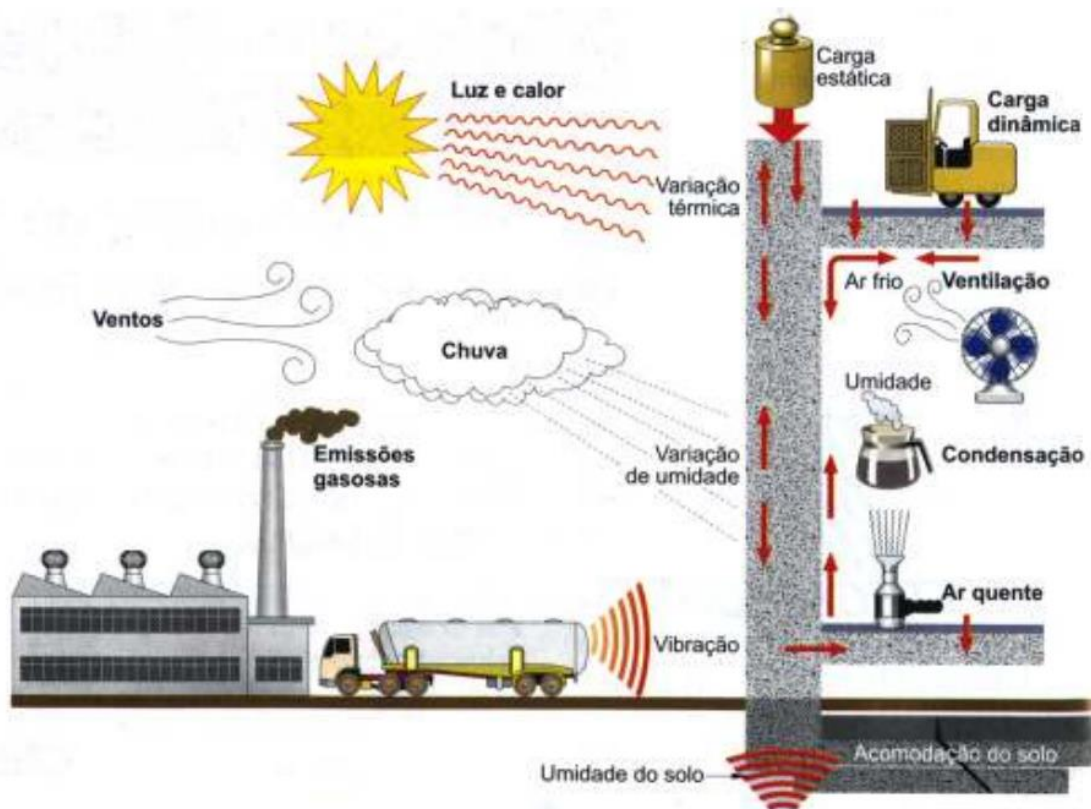
Mesmo que estas manifestações não sejam determinantes para o fim da durabilidade dos revestimentos, conforme Gaspar e Brito (2010), o manchamento e as fissuras estão decisivamente relacionados à diminuição do tempo de serviço destes revestimentos, e à percepção de degradação das fachadas. Gaspar e Brito (2010) concordam com Balaras *et al.* (2005) que a vida útil dos revestimentos não é determinada apenas pelo estado limite do material, mas também pela aparência estética do edifício. Desta forma, acredita-se que as manifestações patológica que surgem logo após a execução da argamassa, que visualmente são detectados pelas manchas e fissuras, devem ser acompanhados, estudados e mensurados ao longo do tempo. Assim, conhecer os mecanismos de degradação, ou seja, a sequência de alterações que o revestimento sofre, é essencial para determinação da degradação dos revestimentos (SILVA, 2014).

Entre as causas da degradação dos revestimentos, apontadas por diversos autores como Silva (2014) e Shohet *et al.* (1999), aquelas que podem ser estudadas a fim de prevenção são as falhas em projeto, no sentido da especificação de materiais e tecnologias adequadas para um determinado local, já que a outra causa seriam as condições climáticas ou atmosféricas adversas. Desta forma, entendendo como são as solicitações dos agentes climáticos específicos de um local, pode-se projetar e especificar um revestimento adequado para aquela região.

### 2.1.1 AGENTES DE DEGRADAÇÃO

A envoltória de proteção da edificação, que inclui as fachadas, atua como barreira para as solicitações externas (SILVA, 2014). Flores-Colen, Brito e Freitas (2010) e Kazmierczak (2016) corroboram com a ISO 15686 (2008), classificando os diversos agentes agressivos que podem afetar a durabilidade da edificação conforme a natureza, e exemplificam como os principais a água; o vento; a temperatura; a radiação solar, cargas estáticas e dinâmicas; deformações da estrutura; e exposição aos agentes químicos (como poluição, emissões gasosas, chuva ácida) e agentes biológicos (vegetações e animais) sintetizados através da Figura 1.

Figura 1 - Solicitações as quais os revestimentos estão submetidos que podem causar degradação.



(fonte: Segat (2005) apud Bonin *et al.*, 1999)<sup>6</sup>

A seção D da publicação 295 do CIB W080/RILEM TC 140 aponta os fatores que causam a degradação dos edifícios, classificados de acordo com sua natureza: agentes mecânicos,

<sup>6</sup> BONIN, L. C.; CARASEK, H.; CINCOTTO, M. A.; SOUZA, U. E. L. Massa crítica pela qualidade. In: *Téchne*. 41 ed. Sao Paulo: Editora PINI, julho 1999.

eletromagnéticos, térmicos, químicos e biológicos. Ainda enfatiza a necessidade de pesquisas que quantifiquem estes fatores de degradação (HAAGENRUD, 2004).

Quando há variações de temperatura, os materiais aquecem e resfriam, causando movimento nas juntas entre os elementos construtivos. A repetição de esforços de tração e compressão causam desgastes suficientes para degradar o material. Além da movimentação térmica, verifica-se a atuação da movimentação higrotérmica, provocada pelos agentes climáticos, causando contrações e dilatações no plano da fachada, que geram tensões de tração ou compressão, dependendo das restrições existentes neste plano, que podem resultar em fissuras, deslocamentos ou deformações (ZANONI, 2015).

A chuva dirigida é um dos agentes que pode comprometer a durabilidade das fachadas, já que afeta o desempenho higrotérmico e é a fonte de umidade mais importante deste subsistema (BLOCKEN; CARMELIET, 2004). Por este motivo, a ABNT NBR 15575-4 coloca a estanqueidade à água da chuva como um dos parâmetros de desempenho de uma edificação, solicitando a estanqueidade de todos os elementos construtivos e suas interfaces. No entanto, a umidade por infiltração não ocorre apenas quando há falhas, mas acontece devido à capacidade que a fachada tem de absorver a água, o que está relacionado aos materiais que constituem os componentes e o grau de exposição à chuva dirigida (Marsh, 1977<sup>7</sup> apud Zucchetti, 2016).

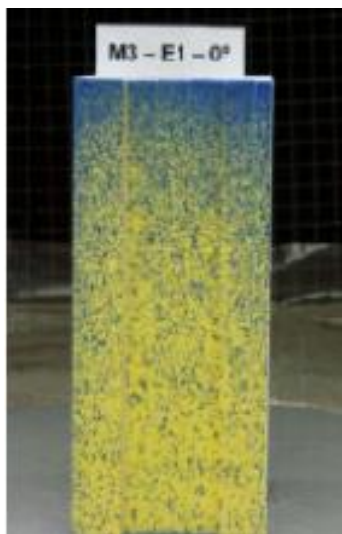
A chuva dirigida é resultado da interação da chuva e do vento, componente vertical e horizontal, respectivamente. Caso não houvesse o vento, a água cairia verticalmente, assim, os beirais seriam suficientes para a proteção das fachadas (BAUER, 1987).

Poyastro (2011) demonstrou o que alguns pesquisadores já afirmavam, que quando uma edificação se encontra isolada, a chuva tende a atingir principalmente a parte superior e laterais, criando um formato de parábola de umedecimento, como mostra a Figura 2, onde em azul está a região umedecida, predominando as extremidades (topo e laterais), e em amarelo a região seca.

---

<sup>7</sup> MARSH, P. Air and rain penetration of buildings. London: The Construction Press, 1977.

Figura 2 – Molhamento de uma edificação isolada. Em azul a região umedecida e em amarelo a região seca



(fonte: Poyastro, 2011)

Entre os principais efeitos que o vento causa relacionado à degradação da edificação está o direcionamento da água da chuva, ou seja, a chuva dirigida e a condução de materiais sólidos particulados (HAAGENRUD, 2004). Assim, estes elementos particulados fixam-se nas superfícies umedecidas, causando os manchamentos.

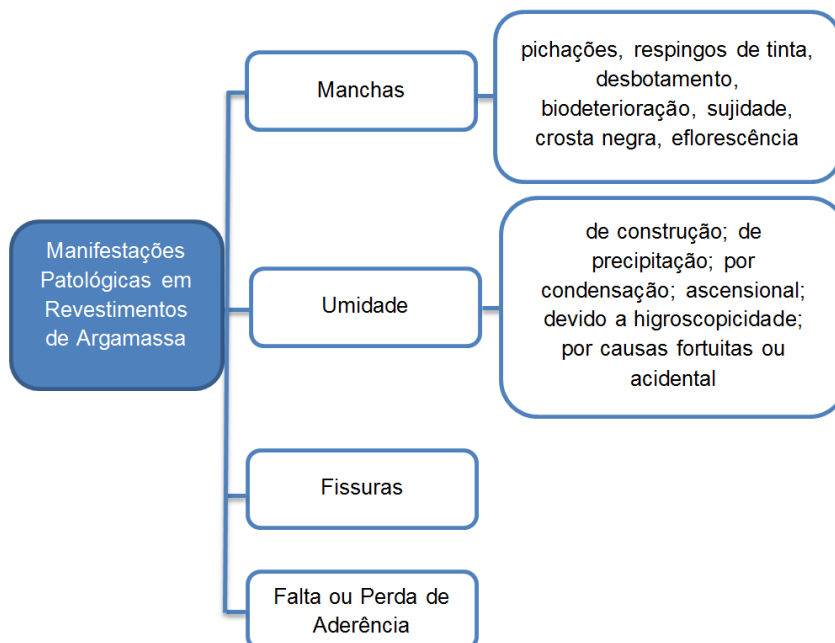
## 2.2 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM REVESTIMENTO DE ARGAMASSA

Os materiais de construção apresentam diferentes fragilidades conforme as solicitações e exposições às quais estão sujeitos. Sendo em sua maioria porosos, estão submetidos a processos mecânicos, físicos, químicos e biológicos que agem concomitantemente ou sequencialmente, causando a deterioração destes materiais (TORRACA, 2009). As manifestações patológicas são os sinais de que a edificação apresenta problemas a serem reparados. Para compreender a degradação de um revestimento, é necessário identificar as manifestações presentes e buscar a causa de suas ocorrências.

Algumas manifestações patológicas são consequências dos agentes agressivos externos, mas a presença destas acaba, muitas vezes, sendo a causa de outras. Buscando definir as manifestações patológicas e seu grau de gravidade, a seguir são descritas as que se manifestam em revestimentos de argamassa (Figura 3).



Figura 3 – Organograma das manifestações patológicas em revestimentos de argamassa.

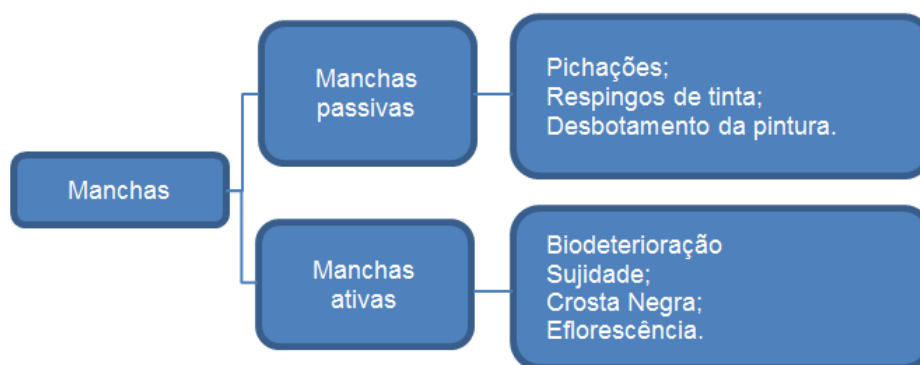


(fonte: elaborado pela autora)

### 2.2.1 MANCHAS

As manchas abrangem uma grande gama de manifestações sem diferenciar as que podem causar outras manifestações (como eflorescência, sujidade, ou umidade) das que não podem (como respingos de tinta e pichações). Neste trabalho, as manchas são definidas como alterações de cor ou tom em uma área da fachada, quando comparada ao seu entorno, e podem ser removidas ou solucionadas através de limpeza ou pintura da superfície. As manchas podem ser de dois tipos, passivas ou ativas, conforme a Figura 4. As manchas passivas não apresentam tendências de deterioração ou aumento de danos ao revestimento, como por exemplo, pingos de tinta, desbotamento da pintura ou pichações. As manchas ativas podem ser causa de outros danos quando não tratadas, como as manchas por biodeterioração, sujidade, crosta negra e eflorescência (sais). Para Gaspar e Brito (GASPAR; BRITO, 2013) mesmo que o desempenho das fachadas permaneçam inalterados, as manchas são chamadas de manifestações “estéticas”, e podem causar danos sérios à imagem externa do edifício. A desfiguração da fachada devido a manchas acaba levando à intervenções na fachada para que a mesma volte a ter configurações aceitáveis.

Figura 4 – Tipo de manchas existentes nos revestimentos.



(fonte: elaborado pela autora)

A seguir serão explicadas as manifestações consideradas como manchas ativas neste trabalho. As manchas por eflorescência serão explicadas na sequência, junto às criptoflorescências, já que as causas são as mesmas, resultando em consequências diferentes.. Ainda existem as manchas por umidade, mas todos os tipos de umidade que causam danos à fachada serão explicados separadamente no item 2.2.3.

#### a) Manchas por Biodeterioração

A biodeterioração ocorre quando as atividades vitais de um organismo provocam alterações indesejadas nas propriedades dos materiais (ALLSOPP *et al.*, 2016). Uma das formas de manifestações da biodeterioração dos revestimentos é a alteração de cor ou tom destas superfícies.

As manchas por biodeterioração podem ser devidas ao crescimento de diferentes estruturas biológicas, principalmente microrganismos, que liberam pigmentos e substâncias que resultam na composição de biofilmes. De acordo com Coutinho *et al.* (2015), o biofilme é composto por uma ou várias camadas de células microbianas envoltas em uma matriz polimérica extracelular hidratada. As substâncias extracelulares (EPS) são secretadas pelas células e promovem a aderência microbiana ao substrato, além de favorecer a adesão de partículas de poeira e fuligem presentes na atmosfera (COSTERTON *et al.*, 1995). Outro aspecto importante relacionado à composição dos biofilmes é a retenção de grandes quantidades de água, que por fim protegem as estruturas biológicas do ressecamento. Agentes biológicos como líquens, bactérias, fungos e briófitas são reconhecidos pela composição de biofilmes em diferentes substratos

O crescimento fúngico, bacteriano, por líquens ou micro-organismos fototrópicos, que afetam a resistência dos materiais, causam problemas de saúde (principalmente em ambientes internos) e estéticos (ALLSOPP *et al.*, 2016). Muitos fungos são causadores de doenças, principalmente em ambientes internos frequentados por seres humanos que possam estar com o sistema imunológico comprometido (CHEN *et al.*, 2017; GUERRA *et al.*, 2019).

A colonização biológica está associada à presença de umidade nos revestimentos, sendo que independe se for em forma de vapor ou líquida, permanente ou cíclica. (PEREIRA; BRITO; SILVESTRE, 2018). Entre os diferentes microrganismos capazes de alterar os materiais de construção, os fungos são reconhecidos como um dos mais ativos neste processo. Para Allsopp *et al.* (2016), os fungos promovem a podridão seca verdadeira e a podridão úmida, além de espécies que promovem de forma predominante o manchamento superficial. Na podridão seca verdadeira, apesar do nome, para que ocorra o desenvolvimento inicial do fungo e seu crescimento, além da disponibilidade de matéria orgânica como nutriente, é necessário que o elemento esteja úmido, no entanto é suscetível ao desenvolvimento em teores de baixa umidade, cerca de 25%, e o fungo pode transportar a água das partes úmidas para as mais secas, e avançar conforme o umedecimento. Ocorre geralmente em madeira, mas quando o crescimento deste fungo é acentuado, torna-se capaz de penetrar e crescer em materiais como tijolos e argamassas de assentamento e revestimento. Já nos casos de podridão úmida, para crescer, os fungos precisam de altos teores de umidade, acima de 50%. O crescimento de fungos em substratos inorgânicos, como os revestimentos de argamassa, pode ser favorecido em regiões onde ocorre a condensação, resultante de zonas de maior perda de calor e consequente resfriamento superficial.

Em um estudo desenvolvido por Chen *et al.* (2017), foi constatado, através de um modelo matemático validado, que o aumento da umidade relativa afeta principalmente os ambientes internos, aumentando o risco de germinação do fungo. Já a temperatura do ar interno afeta o lado interno e o lado externo da parede, sendo que o aumento da temperatura leva ao aumento do risco de germinação do mofo no lado interno, mas diminui no lado externo da parede. Em relação a radiação solar, quanto menor, maior será o risco de germinação de fungos.

Guerra *et al.* (2019) verificou o pH de amostras de argamassas de revestimento, sendo em torno de 9 nas amostras estudadas, valor favorável ao crescimento de muitas espécies de fungos. A autora identificou que o crescimento fúngico com maior diversidade de agentes identificados foi em áreas onde a umidade era predominantemente de infiltração. Herrera e Videla (2004)

ainda explicam que a alta umidade relativa (UR) e, de forma geral, o tratamento destas manifestações patológicas, corresponde à limpeza e aplicação de biocidas. No entanto, para evitar a recorrência, faz-se necessário o controle dos fatores que favorecem o crescimento biológico, principalmente os relacionados ao microclima, buscando aumentar a ventilação e consequente renovação do ar e redução da umidade (ALLSOPP *et al.*, 2016). Além disso, é possível realizar o tratamento das superfícies com substâncias hidrofugantes. Desta forma, a menor absorção e disponibilidade de água podem inibir a biodeterioração. Atualmente, vários estudos têm avaliado a aplicação de materiais nanométricos e fotocatalisadores capazes de promover a autolimpeza e, por vezes, agir inibindo ou mesmo reduzindo o crescimento biológico, tais como em Fonseca *et al.* (2010), Ruffolo *et al.* (2010), La Russa *et al.* (2012) e Ruffolo *et al.* (2017).

#### **b) Manchas por Sujidade e Crosta Negra**

Os manchamentos por sujidade, exemplificados na Figura 5 podem ocorrer devido a contaminantes atmosféricos, onde partículas sedimentáveis se depositam sobre detalhes das fachadas pela ação da gravidade; componentes dos aerossóis, que são carregadas pelo vento e, ao atingir uma superfície, permanecem aderidos; e, ainda, os agentes climáticos como vento, chuva, temperatura e umidade do ar podem favorecer a deposição e adesão das partículas nas fachadas (CARRIÉ; MOREL, 1975).

Figura 5 – Mancha de sujidade no edifício 07 da UFSM, que comporta o Centro de Tecnologia.



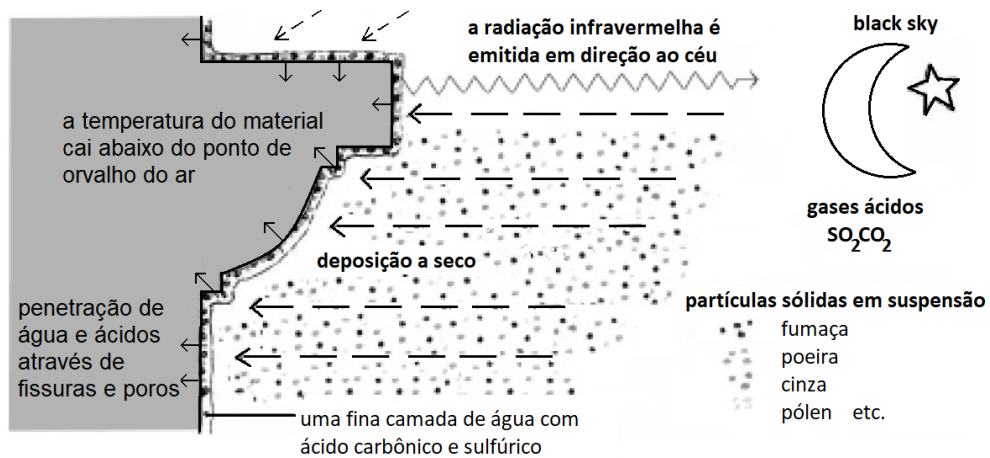
(fonte: da autora)

Vallejo (1990) explica que os mecanismos principais de adesão das partículas é a ação gravitacional e a tensão superficial ligada ao fenômeno de adsorção devido à presença de

umidade do ar sobre a superfície da fachada. Conforme Petrucci (2000), a gravidade é o agente predominante quando partículas que estão em queda são interceptadas pela plataforma do detalhe construtivo (horizontal, inclinado ou de alta rugosidade) e podem permanecer na superfície dependendo do choque produzido no contato entre a superfície e a partícula. A tensão superficial (ou tensão capilar), conforme Carrié e Morel (1975) e Petrucci (2000), ocorre quando a umidade do ar está elevada (superior a 65%), contendo umidade nos poros das superfícies das fachadas e favorecendo a fixação das partículas. Independente da forma como a partícula entra em contato com a superfície da fachada, Vallejo (1990) explica que, se ela não retorna ao ar, tende a se manter de forma estável pela adesão mecânica.

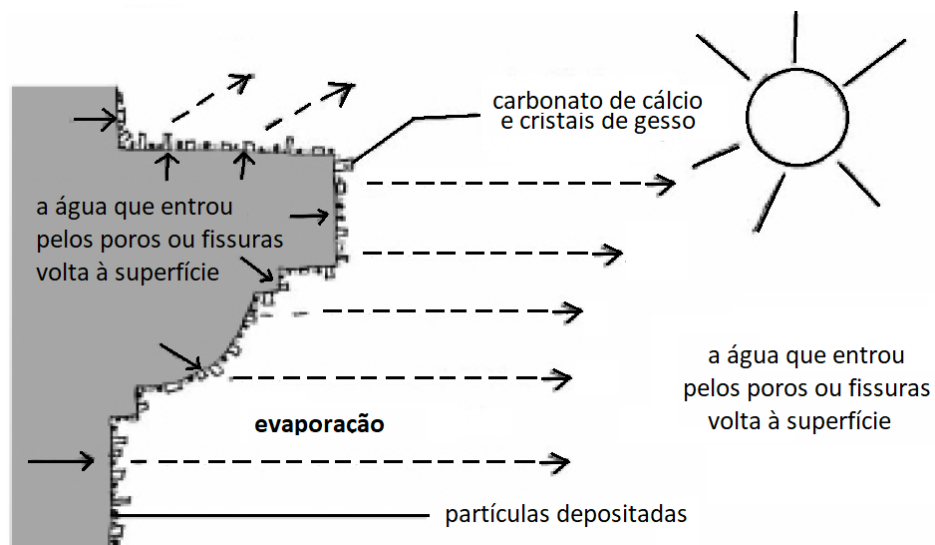
Os mecanismos de condensação da água nas superfícies da edificação serão explicados no item 2.2.3 (subitem c), mas antecipa-se que a água condensada, que é proveniente do orvalho, pode promover ciclos de molhagem e secagem das fachadas dos edifícios. Torraca (2009) explica que, durante à noite, quando as superfícies externas dos edifícios esfriam, em condições específicas, a umidade do ar pode condensar na face externa das paredes e penetrar alguns milímetros pelos poros capilares ou fissuras. Esta umidade junto às partículas atmosféricas poderão formar o manchamento, conforme apresentado na Figura 6 e Figura 7 - Molhamento - ciclo de secagem, fase de evaporação. A cor do manchamento será conforme a natureza das partículas, comumente pretas, mas mais claras quando predominarem as de origem natural, como o solo e o pólen. Ainda conforme o autor, os gases ácidos presentes na atmosfera podem reagir com o oxigênio da superfície úmida resultando em líquidos ácidos que podem penetrar no revestimento e reagir com o substrato, reduzindo sua resistência. Durante o dia a superfície da parede pode secar, permanecendo as partículas sólidas na superfície do revestimento e, conforme Vallejo (1990), Torraca (2009) e Kloppmann *et al.* (2011), estas partículas (que permanecem nas áreas protegidas) podem aglutinar e encapsular, formando as crostas negras a partir da reação química dos carbonatos com os gases ácidos. Na (Figura 7), pode-se visualizar a representação esquemática dos materiais depositados como carbonato de cálcio (secundário) e gesso (TORRACA, 2009).

Figura 6 - Condensação Noturna.



(fonte: adaptado de Torraca, 2009)

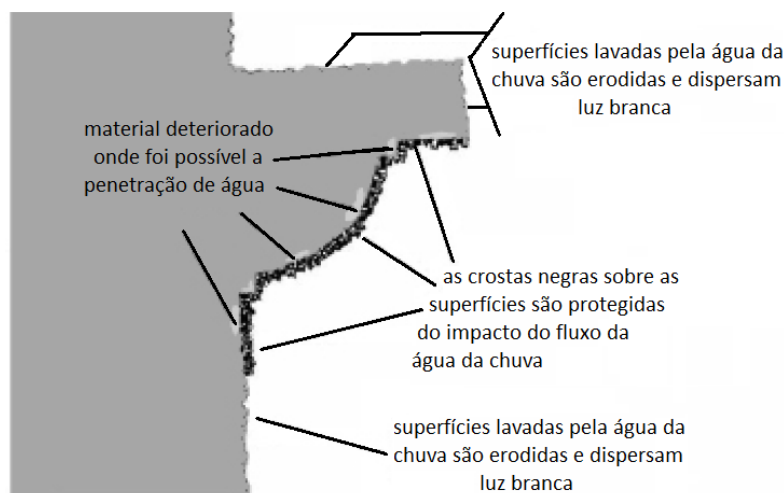
Figura 7 - Molhamento - ciclo de secagem, fase de evaporação.



(fonte: adaptado de Torraca, 2009)

Este processo acaba consolidando as partículas sólidas na superfície e os ciclos de molhagem e secagem tendem a aumentar a espessura da camada escura, no entanto, as áreas expostas à água da chuva podem ser lavadas e, se estiverem corroídas, podem ser danificadas (Figura 8) (SENESI *et al.*, 2018; TORRACA, 2009).

Figura 8 - Resultado final de um grande número de ciclos de condensação/chuva.

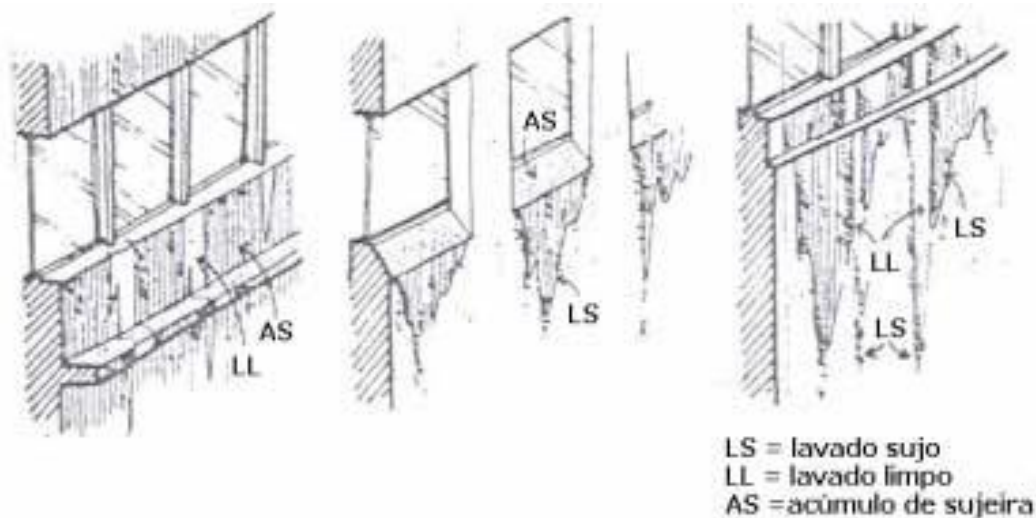


(fonte: adaptado de Torraca, 2009)

O efeito da umidade por precipitação sobre as fachadas será explicado no item 2.2.3 (subitem b), mas quando a chuva atinge fachadas com sujeidade, poderá carregar junto as partículas, dependendo da geometria dos detalhes construtivos desta superfície. Vieira (2005) observou que detalhes acima de 100 mm, independente da forma geométrica, proporcionam plataforma suficiente para deposição de sujidades. Mas Petrucci (2000) explica que estas sujidades estão relacionadas com a quantidade de água de precipitação escorrida e sua trajetória, e esta água pode ser descolada ou conduzida conforme os detalhes arquitetônicos. Vallejo (1990) explica que a lavagem das fachadas é determinada pela intensidade da chuva, a qual, quanto maior, mais eficaz será a limpeza.

Vallejo (1990) e Robinson e Baker (1975) explicam que conforme a trajetória da água nas fachadas é possível identificar três tipos principais de manchamentos: Lavado Sujo (LS), Lavado Limpo (LL) e Acúmulo de Sujeira (AS). A Figura 9 ilustra os escorrimentos sujos, perceptíveis abaixo dos elementos horizontais que sequenciam as janelas ou de outras plataformas que possibilitem o acúmulo de sujidades e que permitam o deslizamento da água suja pela superfície da fachada. O lavado limpo é observado em áreas onde a água consegue carregar as partículas de sujeidade sem obstáculos, conforme sua intensidade (ROBINSON; BAKER, 1975; ZUCCHETTI, 2016).

Figura 9 - Tipos de manchamento conforme o escoamento da água.



(fonte: adaptado de Robinson e Baker (1975))

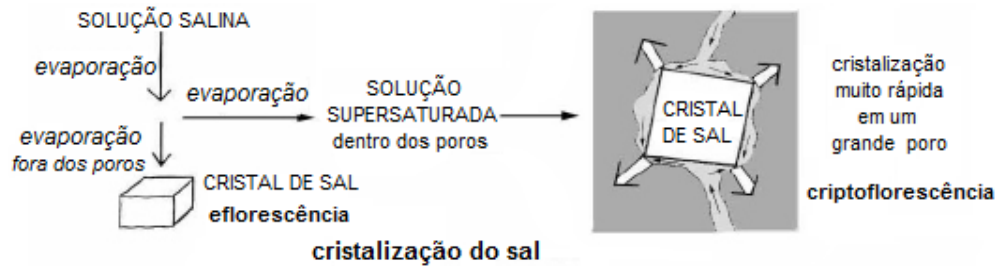
Apesar de existirem diversas pesquisas sobre detalhes construtivos, como Robinson e Baker (1975), Vallejo (1990), Petrucci (2000), Vieira (2005), Freitas e Alves (2015) e Zucchetti (2016), ainda faltam estudos que apontem quantitativamente a área protegida conforme a geometria dos diversos detalhes existentes em um edifício, ou a área degradada devido à presença de detalhes que podem intensificar os danos.

## 2.2.2 EFLORESCÊNCIA E CRIPTOFLORESCÊNCIA

A presença de sais solúveis e água no sistema de vedação vertical, possibilita que ocorra a eflorescência ou criptoflorescência. Os sais são transportados através dos poros por um veículo líquido (FERREIRA; BERGMANN, 2011). Assim, quando há presença de sais e disponibilidade de água, estes podem solubilizar e migrar através dos poros dos materiais, cristalizando novamente quando encontrarem as condições ambientais com menores teores de umidade (FARMER, 2004). A eflorescência ocorre quando a solução salina migra pelos poros atingindo a face externa do do revestimento e pós a evaporação da água, o sal permanece depositado na superfície, expandindo e causando um manchamento esbranquiçado (CHWAST *et al.*, 2015; PEREIRA; BRITO; SILVESTRE, 2018). A criptoflorescência ocorre quando estes sais, após solubilizados e transportados através dos poros capilares dos materiais, assim como nas eflorescências, no entanto, sua cristalização ocorre no interior da parede (GEWEHR, 2004), sendo uma das principais causas da degradação de materiais porosos (SILVA, 2013) e que pode causar descolamentos, os quais serão discutido posteriormente (Figura 10).



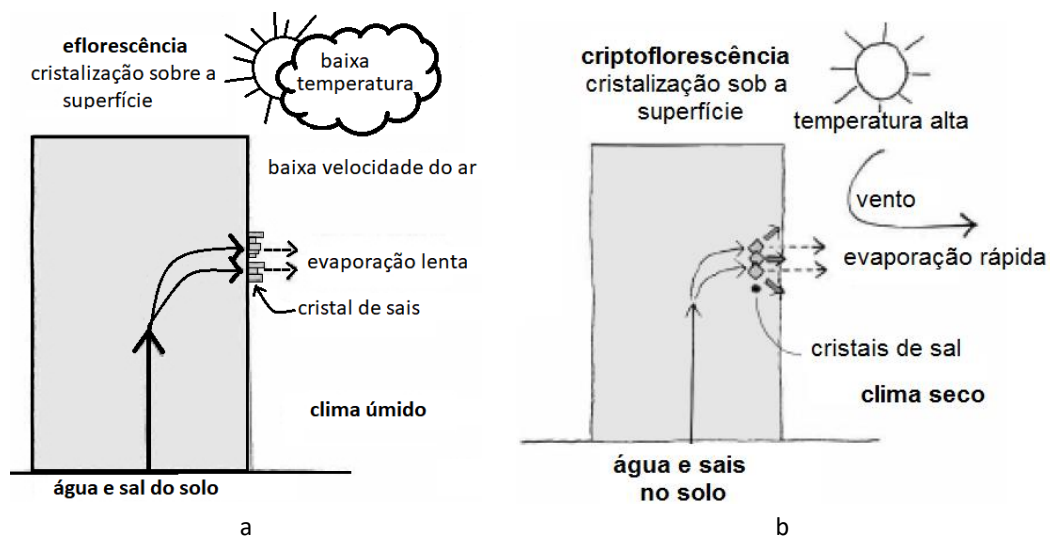
Figura 10 – Formação de eflorescências e criptoflorescência.



(fonte: Torraca, 2009)

Torraca, (2009) explica que o que determinará se o sal migrará para a superfície ou cristalizará no interior da parede serão, principalmente, as condições ambientais, como exemplificado na Figura 11.

Figura 11 - Cristalização dos sais provenientes do solo



(fonte: adaptado de Torraca, 2009)

Ribeiro *et al.* (2018) comentam que os sais solúveis podem causar danos aos materiais porosos, diminuição da habitabilidade da edificação, além de impactos estéticos. O autor aponta que as fontes de sais podem ser a água do solo que entra em contato com a edificação, os poluentes atmosféricos ou até mesmo o próprio material de construção. Conforme FREEDLAND (1999), as partículas secas, que se depositam sobre as fachadas devido à poluição atmosférica ou à chuva ácida, podem introduzir íons de sulfato ou nitrato no edifício e, em locais próximo ao mar, a maresia ou até mesmo areias contaminadas podem carregar junto íons de sódio, que poderão reagir e formar o sulfato de sódio. FREEDLAND (1999) acrescenta que, em locais em

que há atividade biológica, é comum serem encontrados nitratos e que é possível que os sais já estejam presentes na constituição dos próprios materiais de construção, como sulfatos em materiais cimentícios ou em tijolos, carbonato de cálcio em cimento e cal. Uemoto<sup>8</sup> (1984, apud GEWEHR, 2004) sintetiza, na Tabela 1, os principais sais causadores de eflorescências nos edifícios, bem como a fonte provável:

Tabela 1 - Natureza dos principais sais causadores de eflorescências

Composição química	Fórmula química	Solubilidade em Água	Fonte provável
Carbonato de Cálcio	CaCO <sub>3</sub>	Pouco solúveis	Carbonatação da cal lixiviada da argamassa ou concreto e de argamassas de cal não carbonatada
Carbonato de Magnésio	MgCO <sub>3</sub>		Carbonatação da cal lixiviada da argamassa de cal não carbonatada
Carbonato de Potássio	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Muito solúveis	Carbonatação dos hidróxidos alcalinos de cimentos de elevado teor de álcalis
Carbonato de Sódio	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>		
Hidróxido de Cálcio	Ca (OH) <sub>2</sub>	Solúvel	Cal liberada na hidratação do cimento
Sulfato de Cálcio Dihidratado	CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	Parcialmente solúvel	Hidratação do sulfato de cálcio do tijolo
Sulfato de Magnésio	MgSO <sub>4</sub>	Solúvel	Tijolo, água de amassamento
Sulfato de Cálcio	CaSO <sub>4</sub>	Parcialmente solúvel	
Sulfato de Potássio	K <sub>2</sub> SO	Muito solúvel	Reação tijolo-cimento agregados, água de amassamento.
Sulfato de Sódio	Na <sub>2</sub> SO		
Cloreto de Cálcio	CaCl <sub>2</sub>		Água de amassamento
Cloreto de Magnésio	MgCl <sub>2</sub>		
Nitrato de Potássio	KNO <sub>3</sub>		Solo adubado ou contaminado
Nitrato de Sódio	NaNO <sub>3</sub>		
Nitrato de Amônia	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>		

(fonte: Uemoto<sup>9</sup> (1984, apud GEWEHR, 2004)

Ao cristalizar, os sais aumentam de volume, podendo chegar a um aumento de 360%, no caso do sal anidro Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>.H<sub>2</sub>O em relação ao hidratado (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>.10 H<sub>2</sub>O), ou a 420%, no caso do

<sup>8</sup> UEMOTO, K. L. Patologia: danos causados por eflorescência. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1984 (separada dos encartes publicados na revista A Construção, ago/84). p.95-98

<sup>9</sup> UEMOTO, K. L. Patologia: danos causados por eflorescência. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1984 (separata dos encartes publicados nas revistas A Construção, ago/84). p.95-98

sal anidro  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  em relação ao  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$  (WILIMZIG<sup>10</sup>, 2003 apud POSSER, 2004) O aumento de volume provoca pressão nos poros, desagregação dos materiais e perdas superficiais, podendo romper a estrutura interna, provocando a pulverização (AIRES-BARROS, 2001; SILVA, 2013). A pressão de cristalização gerada depende do sal e da condição de saturação da solução, podendo chegar a valores bastante elevados como no caso do sal  $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , e  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  que possuem uma pressão de cristalização de 184,5, 112, 97 e 93,5 N/mm<sup>2</sup>, respectivamente (ARENDETT e SEELE<sup>11</sup>, 2001 apud POSSER, 2004). Esta solubilização, migração e solidificação pode ocorrer de forma periódica, conforme as oscilações de umidade e temperatura do ar (AIRES-BARROS, 2001), tanto em edificações antigas como nas mais modernas (RODRIGUEZ; GONÇALVES, 2007).

Os revestimentos contaminados por sal modificam sua absorção da água quando comparados aos não contaminados. A higroscopicidade do material reflete a capacidade que este tem de armazenar umidade sob diferentes condições. Um material inicialmente seco, quando em um ambiente úmido, absorve a umidade do ar até um determinado tempo e, quando o teor para de aumentar, este atingiu a umidade de equilíbrio. Quanto maior o teor de umidade de equilíbrio, maior é a higroscopicidade do material. O estudo que investigou a higroscopicidade da argamassa contaminada por sal, utilizando diferentes teores, apontou que a presença do sal aumenta a absorção de água do material e, quanto maior a umidade do ambiente, mais significativa é a influência do sal no teor da umidade de equilíbrio, e quanto maior for o teor de sal na argamassa, maior será o tempo necessário para atingir este equilíbrio (BAI *et al.*, 2021).

Quando o sal está presente no solo, pode ser transportado até as paredes pela ascensão da água (MENEZES *et al.*, 2006). Quando isso ocorre, após a evaporação da água os sais ficam nela depositados e podem potencializar a ascensão de águas nas paredes, já que são materiais higroscópicos. Caso haja maior concentração de sais na parede do que no solo, a ascensão da água será intensificada devido à pressão osmótica (ALFANO *et al.*, 2006; DEPARTMENT OF ENVIRONMENT AND NATURAL RESOURCES, 2008). Gewehr (2004) além de descolamentos do revestimento, quando há umidade ascensional, as criptoflorescências, por causar a obstrução dos poros capilares, aumentam os níveis atingidos pela ascensão capilar, e assim, a degradação que a umidade acarreta.

---

<sup>10</sup> WILIMZIG, M. Danos Causados por Sais e Microorganismos nas Edificações. In: **PALESTRAS SOBRE RECUPERAÇÃO DE EDIFICAÇÕES HISTÓRICAS** – IAB/MARGS, Porto Alegre, 2004. 20p.

<sup>11</sup> ARENDETT, C.; SEELE, J. **Feuchte und Salze in Gebäuden**. Deutschland. Deutschland: Alexander Koch GmbH, 2201, 166p.

Esta manifestação patológica indica que há acesso de água no sistema, o que deverá ser investigado e solucionado (FARMER, 2004; ZANONI, 2015). Assim, o tratamento para revestimento com eflorescência inicialmente é a eliminação da fonte de umidade, passando para a secagem do revestimento, limpeza da camada de sal através da escovação e, caso o revestimento se apresente pulverulento, deve ser reparado (CINCOTTO, 1988). Para remover a eflorescência é necessária a limpeza periódica até cessar o manchamento, indicando que os sais solúveis foram eliminados (FARMER, 2004) ou utilizar alguma técnica, como a utilização de compressas de cal ou o processo de eletro osmose forese (GEWEHR, 2004). Cabe ressaltar que, dependendo do tipo de sal e do teor presente na zona contaminada da parede, necessariamente devem ser removidos, pois mesmo cessando a presença de umidade, pela higroscopicidade do sal, a simples umidade relativa é capaz de gerar a eflorescência. No entanto, nem sempre é possível uma solução definitiva, sendo necessário periodicamente realizar processos paliativos de forma a não permitir que esta manifestação evolua, reduzindo a vida útil do revestimento (NAPPI; LALANE, 2010).

No caso da criptoflorescência, que gera o descolamento devido ao rompimento das ligações entre a camada de revestimento e o substrato (criptoflorescências), como pode ser observado na Figura 12, será necessário a substituição do revestimento antigo após a retirada dos sais.

Figura 12 - Criptoflorescência



(fonte: elaborado pela autora)

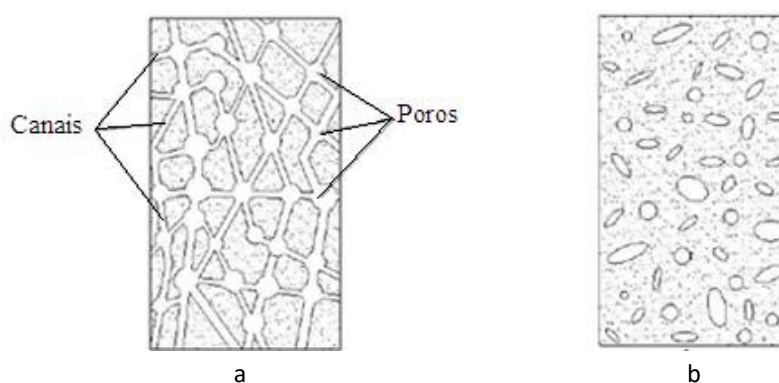
Dessa forma, entende-se que a presença de sais, seja na forma de eflorescência ou criptoflorescência, além de ser a própria manifestação patológica, é causadora de outras manifestações no momento em que aumenta a permeabilidade de água do revestimento, possibilitando a entrada de agentes agressivos.

### 2.2.3 UMIDADE

A água está presente na atmosfera, no solo, nas instalações de uma edificação, sendo considerado o principal agente de degradação de diversos materiais de construção (RIBEIRO *et al.*, 2018) e, por isso, segundo Palha *et al.* (2012) e Pereira, Brito e Silvestre (2018), a água é a causa de cerca de 78% das manifestações patológicas em um sistema de revestimento de parede, como é o caso dos revestimentos de argamassa. Entre as manifestações causadas pela umidade podem ser destacadas o acúmulo de sujeiras, as alterações de cor, as bolhas, a desintegração do revestimento, a biodeterioração, a eflorescência e a criptoflorescência, além de alguns tipos de fissuras (PALHA *et al.*, 2012; PEREIRA; BRITO; SILVESTRE, 2018), onde alguma destas podem provocar a perda de aderência de revestimentos (DAL MOLIN, 1988).

A relação entre o volume dos vazios e o volume total do material é denominado de porosidade (BERGER, 2014; BERTOLINI, 2010). Esta porosidade pode ser classificada como porosidade fechada, quando os vazios não possuem comunicação, sendo estes considerados materiais impermeáveis; e aberta, quando estes vazios estão interligados por canais, exemplificado na Figura 13 (BERGER, 2014; FREITAS; TORRES; GUIMARÃES, 2008; VEGA *et al.*, 2018). A maioria dos materiais de construção possuem porosidade aberta, permitindo a migração de água e outros materiais gasosos através da rede de vazios internos (CARDEIRA, 2010).

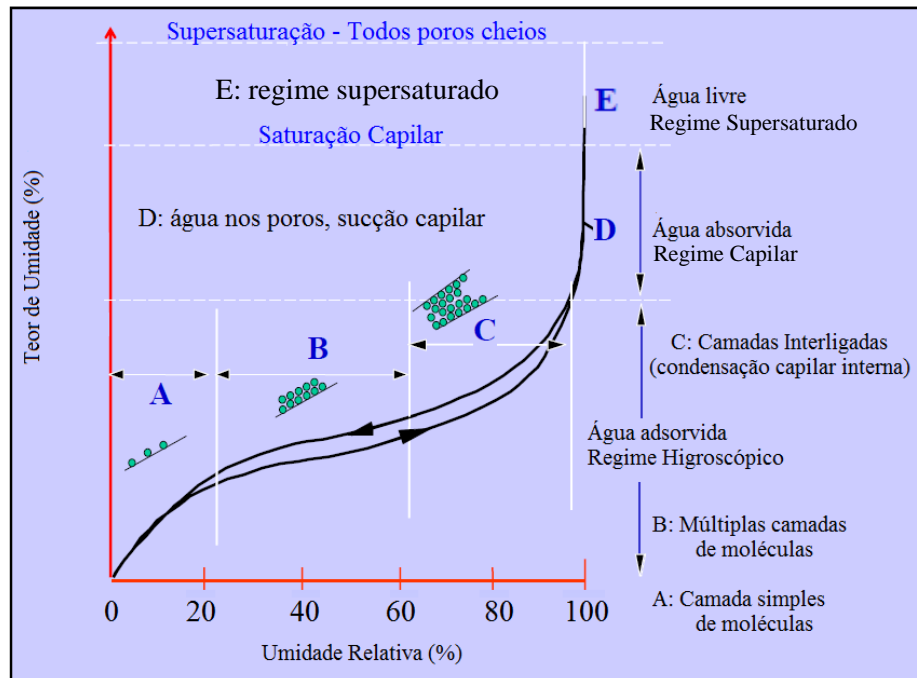
Figura 13 - Tipos de Porosidade: (a) aberta e (b) fechada.



(fonte: Freitas, Torres e Guimarães, 2008)

A capacidade que um material possui de armazenar água em seus poros, seja na forma líquida ou na forma de vapor, está relacionada com as condições ambientais, sendo que a curva de sorção reflete esta capacidade (BERGER, 2014). A Figura 14 apresenta as fases de armazenamento da água nos poros capilares dos materiais higroscópicos.

Figura 14 - Fases de armazenamento de água nos poros e capilares dos materiais.



(fonte: adaptado de Straube, 2005)

Os materiais de construção com porosidade aberta, como tijolos e argamassas, podem permitir o transporte de substâncias gasosas ou líquidas presentes no ambiente, e algumas substâncias transportadas pelos poros dos materiais são agressivas e causam a degradação destes materiais, tanto na superfície, quanto em áreas mais internas. (BERTOLINI, 2010).

A presença de água causa, além de mudança de coloração do revestimento, outras manifestações patológicas frequentes, inclusive em edificações recentes, como eflorescência, deposição de sujeira e biodeterioração, causando a degradação do revestimento (Flores-Colen, Brito e Freitas; 2008).

Desta forma, Marreiros (2007) esclarece que uma das formas para evitar as manifestações patológicas é proteger as paredes da água, além de facilitar a saída deste agente quando estiver presente em algum sistema da edificação. A preocupação com as fundações está entre as medidas de prevenção do acesso da água do solo para as paredes, além do cuidado com o sistema de drenagem, de forma a garantir o escoamento da água.

Ao analisar-se as diversas formas de umidade e como elas se originam, pode-se propor uma classificação em duas categorias, as permanentes e as ocasionais:

- Umidade permanente: umidade ascensional quando a fonte corresponde às águas freáticas e há falha ou é inexistente a impermeabilização das fundações. A umidade permanece em uma área específica da parede até que seja interrompido o contato entre a fonte de umidade e a parede;
- Umidade ocasional: quando a mancha é proveniente de fontes como chuva ou vazamentos, onde as zonas úmidas são típicas, mas variam conforme o volume de chuva ou tempo de vazamento (quanto maior o tempo, mais tende a se espalhar a umidade).

Entre as causas da umidade das paredes, estão (HENRIQUES, 2007):

- a) umidade de construção;
- b) umidade de precipitação;
- c) umidade de condensação;
- d) umidade ascensional;
- e) umidade devido a fenômenos de higroscopicidade;
- f) umidade devida a causas fortuitas.

Cada uma delas será abordada a seguir, de forma a colaborar com a identificação das características, causas e mecanismos envolvidos.

#### **a) Umidade de Construção**

A umidade de construção tem como fonte a água que é utilizada durante o processo de construção do edifício, como a da mistura da argamassa e concreto e da execução da alvenaria. Esta manifestação patológica tende a agravar-se conforme a diminuição do prazo de finalização da obra, já que muitas vezes não é respeitado o tempo necessário de secagem dos materiais e elementos entre as etapas construtivas. A água precisa ser eliminada através da evaporação e o tempo para este processo dependerá da umidade relativa do ar, sendo este processo de secagem com três fases: a evaporação da água superficial; a evaporação da água contida nos poros de maiores diâmetros; e a liberação de água dos poros de menores dimensões (HENRIQUES, 2007; MARINHO, 2014).

Conforme a EN 16322 (2013) a maneira determinar a secagem dos materiais é através de uma curva de secagem composta experimentalmente, que indica a perda de peso da massa de água no interior da amostra, em função do tempo. O ensaio é realizado sob temperatura e umidade

relativa controladas, sendo  $23 \pm 1^\circ\text{C}$  e  $50 \pm 3\%$  respectivamente, e o fluxo de ar deve ser mantido constante e reproduzível. De forma geral, conforme a EN 16322 (2013) os materiais saturados possuem duas fases de secagem, a primeira é quando a água líquida é transportada para a superfície e evaporada logo em seguida. Essa evaporação possui uma taxa constante devido a velocidade da movimentação da água até a superfície suficiente para compensar a água perdida, sendo que a evaporação irá depender das condições de contorno da amostra (temperatura, umidade relativa e velocidade do fluxo de ar do ambiente), que irá refletir na a inclinação durante a primeira fase da curva de secagem. Quando a quantidade de água trazida para a superfície do material não é mais suficiente para manter a água superficial, reduz a taxa de evaporação. Quando não for mais possível o transporte de água líquida para a superfície, permanece apenas o mecanismo de difusão do vapor.

O comportamento de secagem é registrado por medição de massa periódica das amostras, onde a primeira leitura de peso em  $t = 0$  registra o  $m_{\text{max}}$  (massa do corpo de prova selado saturado). A quantidade de água residual presente na amostra por unidade de área especificada (expressa em  $\text{kg} / \text{m}^2$ ) ao longo do tempo  $t$  é calculado pela equação 2:

$$M_i = \frac{m_i - m_f}{A}$$

**equação 1**

Onde:

$M_i$  = quantidade residual de água da amostra no tempo  $t_i$  por unidade de área em  $\text{kg}/\text{m}^2$ ;

$m_i$  = massa do corpo de prova selado no tempo  $t_i$  em kg;

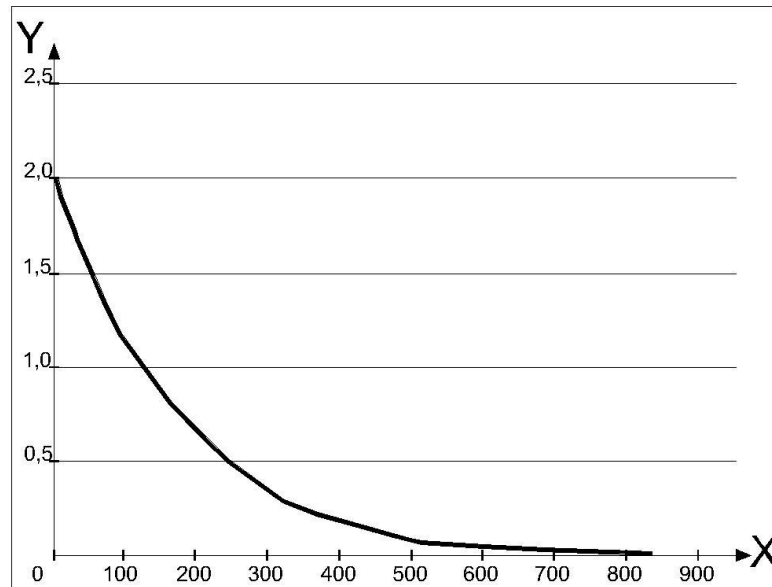
$m_f$  = massa final do corpo de prova selado no tempo  $t_f$ , em kg;

$A$  = área da face de secagem, em  $\text{m}^2$

A partir dos resultados é possível compor a curva de secagem, como no exemplo da Figura 15.



Figura 15 - Exemplo de curva de secagem



Legenda:  
 X - tempo [h]  
 Y - teor de água [kg/m²]

(fonte: adaptado de EN 16322, 2013)

O tempo de secagem varia conforme as dimensões do elemento e das características climáticas onde está inserido, sendo que, como esperado, o ambiente úmido dificulta a evaporação de água e o ambiente seco facilita. Segundo Carrió (2010), o tempo de secagem de um revestimento e elementos de espessura "e", em ambiente natural não controlado, pode ser calculado pela equação 2:

**equação 2**

$$t = \frac{1,6 \times Cd \times e^3 \times Wr}{T + 10}$$

*Onde:*

t = tempo para secagem em dias

Cd = constante de dessecação

e = espessura do elemento construído em cm

Wr = umidade relativa do ar

T = temperatura média diurna

Marinho (2014) e Henriques (2007) ainda explicam que a umidade de construção pode ter consequências generalizadas quando a água permanece no interior do elemento construtivo, o que pode provocar expansões e problemas de aderência entre os componentes. Ainda podem

ocorrer condensações superficiais devido à diminuição da temperatura superficial durante o processo de secagem.

Desta forma, entende-se que a melhor maneira de eliminar a umidade de construção é através da ventilação nos primeiros anos de uso, que pode ser natural ou mecânica se o clima não for favorável; ou, ainda, com o aquecimento do ambiente, de alguma forma, durante a obra. (HENRIQUES, 2007; MARINHO, 2014).

### **b) Umidade de Precipitação**

A umidade proveniente da água da chuva pode infiltrar em diferentes áreas da parede, desde que tenha um meio de acesso, como fissuras ou problemas de estanqueidade. Ao molhar a fachada de uma edificação, a água pode causar danos como a alteração da cor dos revestimentos, manchamentos de forma geral e outros tipos de deterioração, principalmente em regiões mais expostas, como platibandas e próximo aos peitoris de janelas, onde algumas vezes não é suficiente para limpar por completo a superfície, causando escorrimento com sujidade (MELO JÚNIOR; CARASEK, 2014).

A água da chuva precipita em direção perpendicular ao solo, porém, muda sua trajetória conforme a incidência de força e direção do vento, resultando em chuva dirigida. Assim, conforme for a exposição da superfície da edificação à chuva dirigida, será o molhamento Petrucci (PETRUCCI, 2000). A infiltração da água da chuva está condicionada ao local da edificação, ou seja, em cada cidade haverá a predominância de uma ou mais orientações cardeais onde o ângulo de chuva provocará maior molhamento das fachadas de um edifício.

A formação de manchas devido à chuva dirigida nas fachadas, na maioria dos casos, é resultado das características climáticas, do entorno urbano e dos detalhes construtivos, como peitoris de janelas, pingadeiras, frisos, entre muitos outros que protegerão ou contribuirão para os processos de deterioração dos elementos construtivos (MELO JÚNIOR; CARASEK, 2014). Assim, entender como as formas da edificação, bem como seus detalhes interferem no molhamento das faces, é importante para que, na fase de projeto, sejam encontradas soluções de proteção das fachadas mais adequadas.

Blocken, Derome e Carmeliet (2013) explicam que as pesquisas sobre a ação da chuva dirigida ainda são necessárias, visto que o escoamento desta pelas fachadas pode interferir na durabilidade da edificação pois maior parte das pesquisas existentes são de campo, com pouca

informação experimental. A forma como a água da chuva escoar pela fachada é complexa e pode sofrer interferência de diversos fatores, como os materiais que compõem o revestimento das fachadas, entorno, e questões climáticas (BLOCKEN; DEROME; CARMELIET, 2013). Poyastro (2011) analisou em laboratório como a forma da edificação e diferentes entornos influenciam no molhamento das fachadas e conseguiu comprovar que a área de topo é a que umidifica de forma mais intensa, seguido da região de canto, e por último a região central da edificação.

As regiões próximas às esquadrias também são pontos vulneráveis ao umedecimento (PETRUCCI, 2000; ROBINSON; BAKER, 1975; VALLEJO, 1990). Desta forma, foram conduzidos estudos, tais como os realizados por Vieira (2005), Zucchetti (2016) e Silva (2020), que avaliaram a influência dos detalhes construtivos das fachadas. Destaca-se, ainda, a necessidade de atendimento das exigências da Norma de Desempenho NBR 15.575-4 (ABNT, 2013) referente a previsão de detalhes construtivos nas interfaces e juntas dos componentes, de forma a afastar o fluxo de água das superfícies verticais.

Ao analisar a influência de detalhes construtivos na conservação de edificações construídas entre o final do séc. XIX e início do séc. XX, localizadas no Centro Histórico da cidade de Porto Alegre, Vieira (2005) constatou que, mesmo após 17 anos sem manutenção preventiva, estas edificações encontram-se em condições satisfatórias de conservação. Os resultados apontam que os detalhes de proteção foram grandes responsáveis pela preservação, quando se refere ao envelhecimento natural. A Figura 16 fator de danosevidencia isso, quando aponta áreas mais degradadas devido à ação climática e a influência dos detalhes construtivos nas áreas mais preservadas da fachada de uma edificação histórica analisada por Vieira (2005).

Figura 16 – Influência dos detalhes construtivos na preservação das fachadas



(fonte: Vieira (2005))

Vieira (2005) enfatiza a importância extrema da função técnica exercida pelos detalhes arquitetônicos para a durabilidade e conservação das fachadas das edificações e explica que, para isso, devem ser observadas a geometria e as dimensões destes detalhes. A Figura 17 - Detalhes que descolam ou conduzem a água para fachada mostra que, onde há acabamento reto na imagem, a área inferior está mais preservada do que onde o detalhe é com acabamentos côncavos e convexos, os quais redirecionam a água para a superfície da fachada.

Figura 17 - Detalhes que descolam ou conduzem a água para fachada



(fonte: Vieira (2005))

A partir disso, Zucchetti (2016) analisou como a geometria de peitoris de janelas interferem no molhamento do entorno destas aberturas frente à chuva dirigida. Para isso, utilizou um aparato que projeta água com gotas na escala do protótipo, junto à emissão de vento, com pressão e

velocidade controladas, simulando uma situação para a cidade de Porto Alegre. As geometrias testadas foram de peitoris sem projeção lateral e projeção de 10 cm; sem inclinação, inclinação de 6% e de 20%; sem projeção frontal, projeção de 5 cm e projeção de 12 cm. Os melhores resultados foram com a inclinação de 6%, a projeção frontal de 5 cm e projeção lateral de 10 cm.

Dessa forma, percebe-se a tendência de manifestações patológicas na região próxima das esquadrias, além da importância da existência dos detalhes construtivos projetados para o descolamento da lâmina d'água das superfícies verticais das edificações, de forma a diminuir a possibilidade de infiltração da umidade.

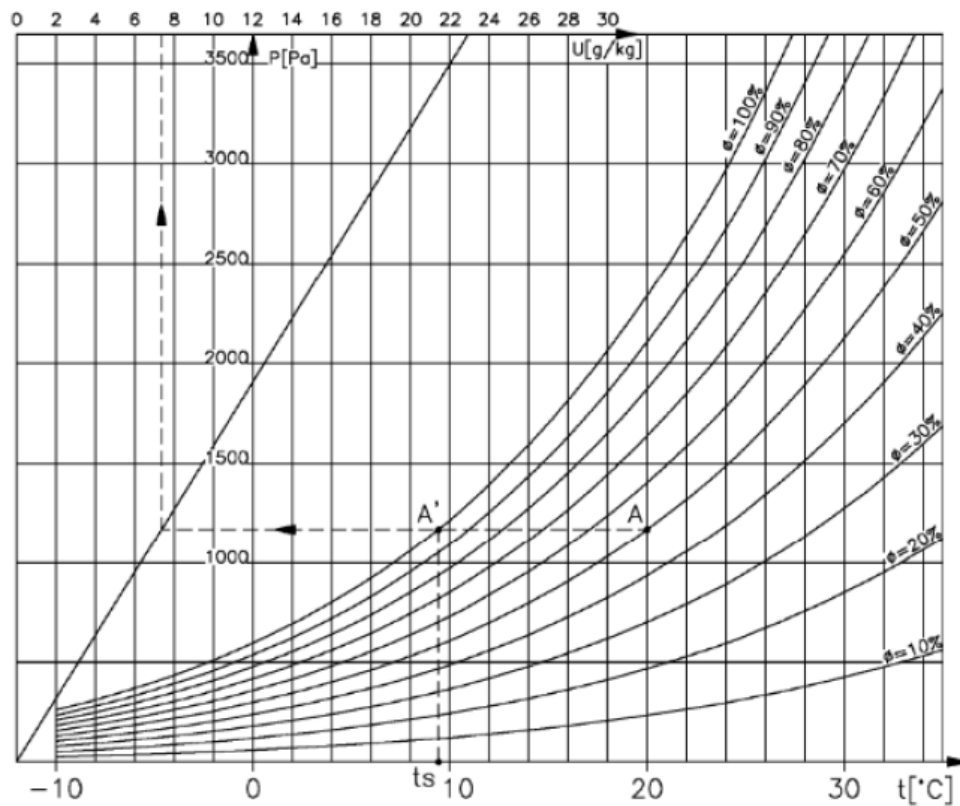
### c) Umidade de Condensação

O vapor de água, que faz parte da constituição do ar, é variável conforme a temperatura. A quantidade desse vapor no ar é denominada de Umidade Absoluta ( $W$ ). Para cada temperatura há uma quantidade máxima de vapor de água suportada pelo ar, denominada de Limite de Saturação ( $W_s$ ). Assim, quando a quantidade limite de vapor de água é excedida, ocorre a condensação, que geralmente acontece, quando há diminuição brusca da temperatura do ar. A relação entre a quantidade de água em forma de vapor no ar ( $W$ ) e a quantidade máxima de vapor de água suportada pelo ar para a temperatura ( $W_s$ ), é denominada Umidade Relativa ( $UR$ ). Quando a Umidade Absoluta ( $W$ ) e o Limite de Saturação ( $W_s$ ) se igualam, tem-se a  $UR$  de 100%, o ar não suporta maior quantidade de vapor de água, ou diminuição de temperatura, passando a ocorrer a condensação.

Outra característica importante relacionada à análise de condensação é a pressão do vapor de água. A pressão parcial do vapor de água ( $P$ ) é a pressão que o vapor teria caso preenchesse sozinho todo o volume ocupado pela massa de ar do qual faz parte. Para a pressão também há um limite máximo, que é a pressão de saturação ( $P_s$ ), e caso a pressão parcial do vapor de água ( $P$ ) se iguale a pressão de saturação ( $P_s$ ), ocorrerá a condensação (HENRIQUES, 2007; MARINHO, 2014; RIBEIRO, 2013).

Marinho (2014), Catumba (2009), Henriques (2007) e Freitas *et al.* (2008) utilizam o diagrama psicométrico (Figura 18) para relacionar a Umidade Relativa ( $\phi$ , %), a Umidade Absoluta ( $U$ , g/kg), Pressão Parcial ( $P$ , Pa) e a Temperatura do ambiente ( $t$ , °C), possibilitando compreender visualmente o que poderá ocorrer quando um desses parâmetros variarem e determinar a temperatura de orvalho para cada caso.

Figura 18 - Diagrama psicrométrico.



(fonte: Catumba, 2009)

Desta forma, compreende-se que a condensação da água nas vedações das edificações ocorre quando a superfície do edifício está fria (abaixo do ponto de orvalho do ar) e a umidade relativa do ar circundante está alta, formando um véu de água na superfície da parede. Geralmente, o volume de água condensado é pequeno e não escorre pelas paredes, contudo, é possível que ocorra a penetração em curta distância no caso de fissuras ou poros abertos (TORRACA, 2009). É importante ressaltar a influência da orientação cardinal das fachadas, visto que no caso de edificações no hemisfério sul, as fachadas voltadas para sul geralmente possuem temperaturas mais baixas. Esta situação provoca problemas de condensação também externa, que ao longo do tempo podem provocar o aparecimento de fantomes. (MELO JÚNIOR; CARASEK, 2014).

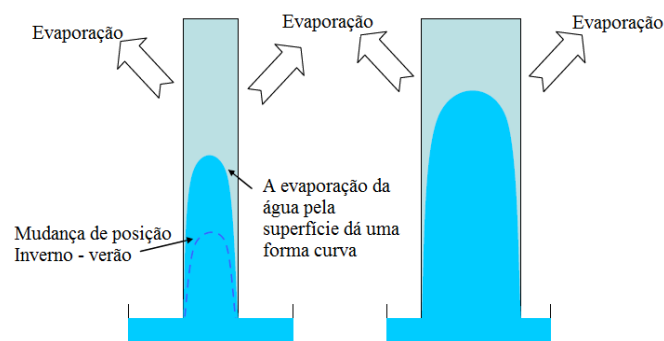
Esta umidade, apesar de não ser em grandes volumes, é suficiente para provocar manifestações patológicas como as descritas anteriormente, como biodeterioração, manchamentos por sujidade e crostas negras. A mitigação destas manifestações pode ser possível mediante o controle da porosidade dos materiais utilizados nos revestimentos e pelo fechamento das fissuras, para que a umidade não seja absorvida.

#### d) Umidade Ascensional

A umidade ascensional é definida por como um fluxo de água no sentido vertical direcionado para cima em uma parede permeável (ALFANO *et al.*, 2006) em que o teor de umidade diminui com a altura, produzindo uma fronteira característica horizontal (GRINZATO; BISON; MARINETTI, 2002). Este tipo de umidade ocorre no sistema de vedação vertical quando não há barreiras ou estas já não cumprem mais o papel de inibir a migração da umidade proveniente do solo através das paredes constituídas de materiais porosos, como problemas de impermeabilização das fundações ou ainda de águas superficiais que, nos dias de chuva, entram em contato com as vedações e ascendem por capilaridade (FREITAS; TORRES; GUIMARÃES, 2008; HENRIQUES, 2007). Segundo Henriques (2007), a umidade ascensional é uma das causas de umidade mais difícil de tratar, o que ainda vale para os dias atuais, e é uma das principais causas de deterioração das alvenarias, causando grandes desgastes quando junto a altas concentrações de sais, que podem ser provenientes da própria água que vem do solo, produzindo depósitos salinos como eflorescências e criptoflorescência nas paredes (ALFANO *et al.*, 2006; I'ANSON; HOFF, 1986).

Este tipo de umidade faz com que a mancha fique concentrada na base das paredes até uma certa altura, que dependerá da velocidade de absorção e evaporação da água. Quando estas velocidades entram em equilíbrio a altura estaciona. (MASON, 1974; RIRSCH; ZHANG, 2010). Desta forma, quando se comparam duas paredes de mesmas características, em um mesmo local, variando apenas as espessuras, em paredes mais espessas a frente de umidade atinge maiores alturas do que as menos espessas, já que a taxa de absorção será maior que a de evaporação a mesma (FREITAS; TORRES; GUIMARÃES, 2008; MORAIS, 2011), como esquematizado na Figura 19.

Figura 19 - Esquema de paredes com diferentes taxas de ascensão capilar, com mesmas condições de secagem



(fonte: adaptado de Rirsch e Zhang, 2010)

### e) Umidade Devido à Higroscopicidade

Como explicado no item 2.2.1 subitem 2.2.2, a higroscopicidade a capacidade de um material armazenar água sob diferentes condições de umidade (BAI *et al.*, 2021).

Grande parte dos materiais utilizados na construção civil e alguns tipos de solo (em especial os ricos em matéria orgânica) apresentam sais solúveis em sua constituição. A presença destes sais anidros nas paredes não causa danos. No entanto, quando estes sais são solubilizados pela água, migram e, ao evaporar a água, cristalizam novamente, formando as eflorescências ou criptoflorescências. Alguns desses sais têm a capacidade de, captar moléculas de água (por adsorção) quando a umidade relativa estiver alta e de libertar essa água quando a umidade relativa diminui, sendo denominados de sais higroscópicos (HENRIQUES, 2007; FREITAS; TORRES; GUIMARÃES, 2008; MARINHO, 2014; BAI *et al.*, 2021)

Assim, os sais podem provocar o umedecimento das paredes, dando origem a diversas manifestações patológicas e fenômenos de degradação causados pela união de água e sais, como ciclos de solubilização e cristalização, que podem ocorrer diversas vezes em um mesmo dia. Estes ciclos exercem uma ação de degradação devido à expansão cíclica dos sais nos materiais de construção. (HENRIQUES, 2007).

### f) Umidade por Causas Fortuitas ou Acidental

Marinho (2014) explica que a umidade por causas fortuitas ou acidental está associada à falta de cuidado na execução, no uso ou falta de manutenção. As manifestações patológicas causadas por umidade acidental podem estar no local onde há a falha do sistema, mas também pode ocorrer migração da água pelos elementos, tornando a localização da origem da falha mais difícil (Figura 20).

Figura 20 - Mancha de umidade no edifício 07 da UFSM, que comporta o Centro de Tecnologia



(fonte: elaborado pela autora)



## 2.2.4 FISSURAS

Entre as manifestações patológicas mais recorrentes em revestimentos externos de argamassa, encontram-se as fissuras (BASTOS *et al.*, 2002), que são aberturas lineares que ocorrem em uma região do material devido ao rompimento do mesmo. Estas aberturas podem afetar a superfície de um elemento ou estar em toda sua espessura (GASPAR; CASALS; GANGOLELLS, 2016). A ABNT NBR 15575-2 (2013c) classifica as fissuras como ativas, quando apresentam variação de espessura de abertura, e passivas, quando a abertura se mantém constante. Gaspar, Flores-Colen e Brito (2006) e Antunes (2010) ressaltam que estas aberturas propiciam a penetração de agentes agressivos externos como a ar e água, por exemplo, diminuindo a durabilidade da construção, pois possibilitam o surgimento de novas manifestações patológicas como biodeterioração, eflorescências, manchamentos, corrosão de armadura, ou até mesmo o descolamento do revestimento.

Os revestimentos externos devem ter como característica a capacidade de absorver deformações, sendo que os materiais cimentícios possuem elevada rigidez (ANTUNES, 2010). Conforme Torraca (2009), as ligações atômicas dos materiais de construção porosos não permitem a deformação plástica dos cristais, o que os torna rígidos e quebradiços. Como o revestimento de argamassa é composto, geralmente, por camadas de pouca espessura, possui pouca capacidade de suportar tensões originadas pelas variações dimensionais que podem ocorrer no próprio revestimento ou na edificação como um todo e refletir no revestimento (CARASEK, 1996; BARROS, 2010, GASPAR; BRITO, 2013; RECENA, 2014; RIBEIRO). Gaspar, Flores-Colen e Brito (2006) explicam que, como o edifício é uma estrutura heterogênea, as variações dimensionais podem repercutir em toda a edificação e, no caso dos revestimentos, as fissuras surgirão se estas variações dimensionais ultrapassarem a capacidade de absorver as deformações. As principais causas de variações dimensionais na edificação, que possibilitam o aparecimento de fissuras nos revestimentos de argamassa, estão na Tabela 2:

Tabela 2 - Causas das variações dimensionais do todo ou de parte dos edifícios

(continua)	
Variações térmicas	Cíclicas (ex. Verão/Inverno) Ocorrência de gelo nos materiais porosos
Variações de umidade	Cíclicas (ex. Verão/Inverno, seco/molhado) – no edifício ou na envolvente (ex. no solo) Irreversíveis (secagem dos materiais, retração de materiais cimentícios) – no edifício ou na envolvente.

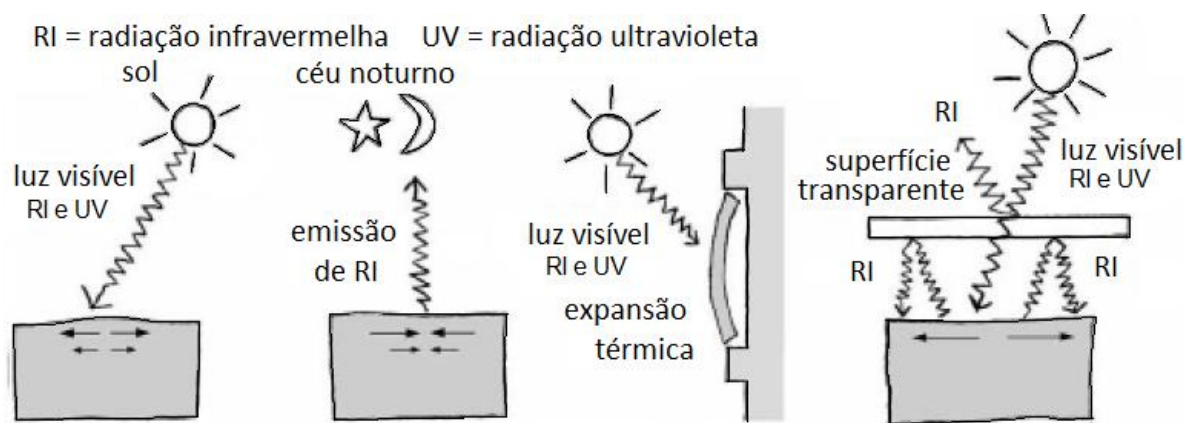
(conclusão)

Fenômenos químicos	Corrosão Carbonatação Ataque de Sais
Causas macroestruturais	Variação das condições de apoio (sobretudo fundações) Sismos e fenômenos vibratórios Fluência de elementos portantes Cargas e sobrecargas de utilização

(fonte: Gaspar, Flores-Colen e Brito, 2006)

Os componentes e os elementos de uma edificação estão sujeitos a variações de temperaturas e umidade, que, conforme a Gaspar, Flores-Colen e Brito (2006) podem ser cíclicas sejam diárias ou sazonais. Torraca (2009) exemplifica através da Figura 21 a movimentação dos componentes construtivos devido à expansão térmica dos materiais causada pela absorção e liberação da energia solar.

Figura 21 - Ciclos térmicos diurnos (dia-noite) e as mudanças das dimensões dos materiais.



(fonte: Torraca, 2009)

A ação da temperatura e da umidade, juntas ou separadas, podem provocar variações dimensionais movimentando os componentes e elementos de uma edificação devido à dilatação, contração, expansão ou retração. Normalmente, materiais com características distintas possuem coeficientes de dilatação térmicos diferentes. Ao serem submetidos a variações térmicas, ocorrerá uma variação dimensional e, quando estas movimentações ocorrem de forma diferenciada, ou seja, quando os elementos que conectam-se, dilatam ou contraem, expandem ou retraem de formas diferentes, havendo restrições de movimentação, como através dos vínculos rígidos entre os componentes e elementos, desenvolvem-se tensões, e estas poderão provocar o aparecimento das fissuras. A umidade, segundo Ribeiro e Barros

(2010), promove a variação do conteúdo dos poros dos materiais, ou seja, promove movimentos higroscópicos quando há absorção ou dessorção da água, resultando na expansão ou retração do material, respectivamente. Ribeiro e Barros (2010) ainda explicam que argamassa em seu estado endurecido pode movimentar-se em pequena magnitude, expandindo ou retraindo conforme a umidade, podendo retornar às dimensões anteriores, mas estes movimentos, mesmo que reversíveis, podem causar fissuras, já que ocorrem de maneira cíclica. Conforme Thomaz (2020), a magnitude da tensão está relacionada ao grau de restrição imposto pelos vínculos no entorno dos componentes e elementos construtivos e pela intensidade desta movimentação.

Corroborando com Gaspar, Flores-Colen e Brito (2006), Ribeiro e Barros (2010), explicam que as movimentações dos materiais com a variação de umidade podem ser irreversíveis. Estas ocorrem logo após a fabricação da argamassa, quando o material diminui de volume, ou seja, retrai. Esse movimento é irreversível porque, uma vez secos, os materiais não retornam às suas dimensões iniciais. Bastos (2001) explica a retração de produtos cimentício quanto ao estado físico das argamassas:

- por perda de água da pasta antes da pega do cimento, também conhecida por retração plástica, que diminui o volume do sistema de acordo com o volume de água perdido.
- por secagem, no estado endurecido, quando a perda d'água ocorre após a pega do cimento, causando diminuição do volume. Nem sempre o volume de água perdido para o meio corresponderá ao volume retraído, já que parte da água poderá corresponder aos vazios internos do material cimentício.

Bastos (2001) também classifica a retração quanto à natureza do fenômeno:

- por perda de água, pode ocorrer tanto no estado fresco quanto endurecido. A mistura perde água para o meio quando este apresentar uma umidade relativa menor que 100%, momento em que a água de amassamento excedente é liberada e evapora, sendo esta a principal causa de retração plástica. Quando no estado endurecido, a perda da água capilar ou da água adsorvida é a principal causa da retração por secagem;
- hidratação química que ocorre devido à reação química do cimento com a água, causando a redução do volume em torno de 10% em relação ao seu volume inicial, chamada de contração de *Le Chatelier*. Nem sempre o

volume aparente terá a mesma redução que o compósito, já que parte poderá corresponder aos vazios da mistura;

- por carbonatação ocorre devido a reação química entre o hidróxido de cálcio, liberado na hidratação do cimento, com o gás carbônico, formando carbonato de cálcio na forma de calcita, onde o ganho de massa é cerca de 35%, ocorrendo aumento de volume absoluto mas com efeito de retração por diminuir os espaços entre as partículas sólidas das estruturas internas.
- por retração autógena quando, em um sistema fechado, sem trocas com o meio externo, diminui o volume de pasta de cimento. Ocorre devido ao consumo de água dos capilares no processo de auto-secagem, quando a fração anidra remanescente é hidratada, resultando na diminuição da quantidade de água líquida por transformação em água combinada.
- por retração térmica quando ocorrer a diminuição da temperatura no compósito cimentício. Essa redução pode ocorrer pela liberação de calor na reação de hidratação do cimento ou após o aquecimento por exposição à fonte de calor externa, causando variação dimensional nos compósitos.

Em relação às fissuras devido aos fenômenos químicos, além das que causam a retração por carbonatação ou pelas reações do aglomerante, há fissuras devido à expansão de sais, conforme já explicado no item 2.2.2, dependendo da localização da cristalização, pode causar fissuração e descolamento do revestimento.

Santos (2017) organizou as principais causas das fissuras em três grupos: estruturais; de ações naturais; ou devido ao processo (falhas no projeto e/ou execução). As causas estruturais abrangem todas as deformações, da estrutura, das alvenarias, ou do conjunto, devido a sobrecargas, vibrações ou deformações e ainda variações de condições de apoio, como recalques de fundação, e, muitas vezes acabam manifestando-se no revestimento. As causas naturais podem ser físicas quando são resultantes da ação do vento, chuva, movimentações térmicas e higrotérmicas; químicas quando resultam de reações como carbonatação, sais, poluição e etc; e as biológicas quando causadas, por exemplo, por crescimento de vegetações. Por fim Santos (2017) aponta as causas pelo processo, que pode ser pelo projeto ou execução, que incluem o projeto do sistema de vedação como um todo, incluindo a previsão e dimensionamento de vergas e contravergas, dosagem e preparo da argamassa, detalhes e especificações na região de ligação entre os diferentes sistemas da fachadas, respeito ao tempo

de espera entre as camadas de revestimento; atenção devido ao excesso de desempenho da argamassa; bem como cuidados com a espessura de cada camada.

Diante do exposto, percebe-se que, quando o revestimento de argamassa não suportar os diferentes esforços aos quais é submetido, seja no estado fresco ou endurecido, independentemente da origem, surgirão as fissuras (ANTUNES, 2010; ZANONI, 2015).

A ABNT NBR 15575-4 (2013b) estabelece que são toleráveis fissuras em revestimentos aderidos, desde que não sejam perceptíveis a olho nu quando o observador está posicionado a 1,0 m (um metro) da superfície analisada, considerando um cone visual com ângulo igual ou inferior a 60°, em iluminação natural sem nebulosidade. Ou seja, considera que a argamassa que apresentar fissuras visíveis não atende mais os requisitos de desempenho, e dessa forma, atingiu o fim de sua vida útil.

Estas aberturas podem surgir nas primeiras idades, muitas vezes logo após a execução, afetando a durabilidade dos compostos cimentícios (JING *et al.*, 2021; YU *et al.*, 2021). E, diante do exposto, entende-se que a fissura em argamassa é uma manifestação patológica que não está relacionada diretamente com a idade do revestimento, mas afeta sua durabilidade e seu desempenho. Quando o revestimento possui fissuras e estas não são tratadas, o revestimento torna-se mais permeável (HALL; RAYMOND YAU, 1987), permitindo a entrada de agentes agressivos e ainda, com a penetração da água, pode levar ao surgimento de novas manifestações patológicas (BAUER; CASTRO; ANTUNES, 2010; MAHABOONPACHAI; KUROMIYA; MATSUMOTO, 2008; ZANONI, 2015). Quando as fissuras são ativas, geram movimentações que podem causar os descolamentos entre o revestimento e o substrato (MAHABOONPACHAI; KUROMIYA; MATSUMOTO, 2008) e, estes sim, segundo Gaspar e Brito (2013) representa o fim da vida útil dos revestimentos.

### 2.2.5 FALTA OU PERDA DE ADERÊNCIA DO REVESTIMENTO DE ARGAMASSA

Entre as características mais importantes de uma argamassa, seja de assentamento ou utilizada em revestimentos, é a capacidade de aderência ao substrato diante das solicitações, como impactos, movimentações diferenciadas, choques térmicos, entre outros (RECENA, 2014). A falta, ou perda de aderência dos revestimentos de argamassa pode afetar a integridade das edificações, acarretando prejuízos econômicos, estéticos e principalmente implicações na vida dos seres, comprometendo a habitabilidade e a segurança da edificação (CARASEK, 1996),

uma vez que representam perigo para os pedestres e propriedades do entorno quando há risco de queda (MAHABOONPACHAI; KUROMIYA; MATSUMOTO, 2008).

Quando há falha na continuidade de um revestimento na parede, podendo ser resultado de falha de adesão entre os componentes do revestimento e a base, ou ainda resultante da degradação constante de um material (GASPAR; CASALS; GANGOLELLS, 2016), pode ocorrer o descolamento ou o deslocamento. O primeiro é caracterizado pelo vazio entre as partes, no entanto não há o desprendimento do componente da fachada. O segundo ocorre na sequência do descolamento, quando o revestimento descolado, ou parte dele, se desprende do sistema de revestimento. Além disso, o deslocamento provoca maior exposição do substrato e do próprio revestimento, que permaneceu no sistema, aos agentes agressivos.

A resistência de aderência dependerá de características tanto da argamassa quanto do substrato, de forma dependente, ou seja, é da interação entre estes dois componentes que resultará uma boa união, somados às condições de umidade que interage com ambos (CARASEK, 1996; STOLZ, 2015), por isso entende-se que é uma consequência do comportamento de um sistema. Ao encontro disso, Pagnussat (2013) constatou que, mesmo quando uma argamassa está bem dosada e com boa qualidade, se o substrato não tiver porosidade adequada, não ocorrerá interação entre o conjunto, comprometendo o desempenho do sistema.

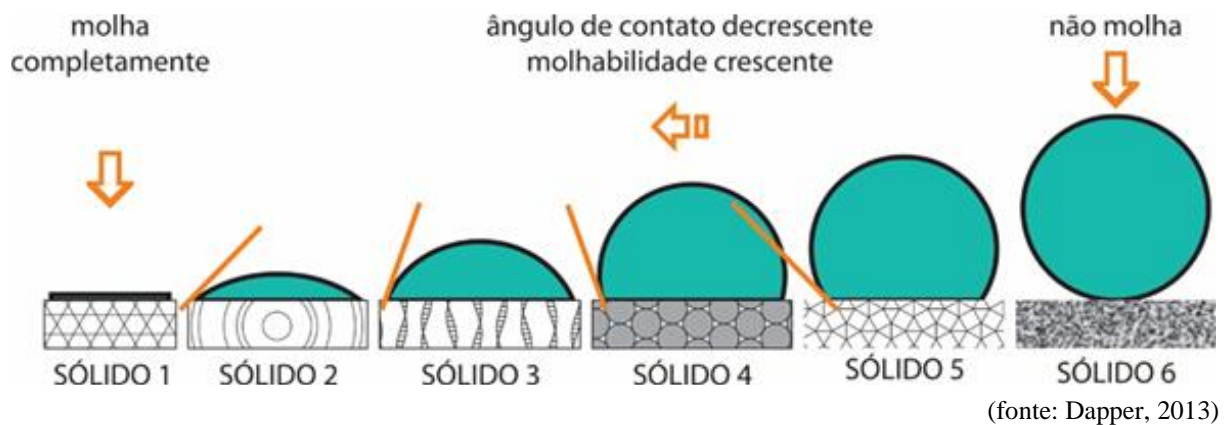
Recena (2014) aponta a existência de 3 mecanismos envolvidos, sendo eles a aderência instantânea; a micro aderência; e a macro aderência. Carasek (1996) explica que a aderência instantânea também é denominada adesão inicial, e a aderência pode ser utilizada tanto para argamassas no estado fresco quanto no estado endurecido.

Em relação à execução, a adesão inicial da argamassa é obtida pelo vácuo formado durante a projeção da mesma sobre o substrato. Sem o vácuo a argamassa retornaria, já que parte da energia tende a ser dissipada. Este período em que o vácuo existe é o suficiente para que se inicie o mecanismo de micro aderência, o qual dependerá das características reológicas da argamassa (RECENA, 2014).

A aderência instantânea, ou adesão inicial, segundo Recena (2014), “é a capacidade da argamassa se manter aderida ao substrato em um curto espaço de tempo”, e está relacionada às características reológicas da pasta aglomerante e a capacidade hidrófila do substrato. Stolz (2015) explica que o ângulo de contato entre os componentes determinam a área de molhamento da argamassa. O ângulo formado dependerá das características desse substrato (DAPPER,

2013; STOLZ, 2015), sendo que ângulos menores podem proporcionar maior molhabilidade e, assim, maior aderência (Figura 22). Segundo Stolz e Masuero (2015), a capacidade de molhabilidade do substrato é inversamente proporcional a porcentagem de falhas na interface substrato/argamassa causada pela hidrofobicidade da superfície, que é a característica que impede o espalhamento da argamassa.

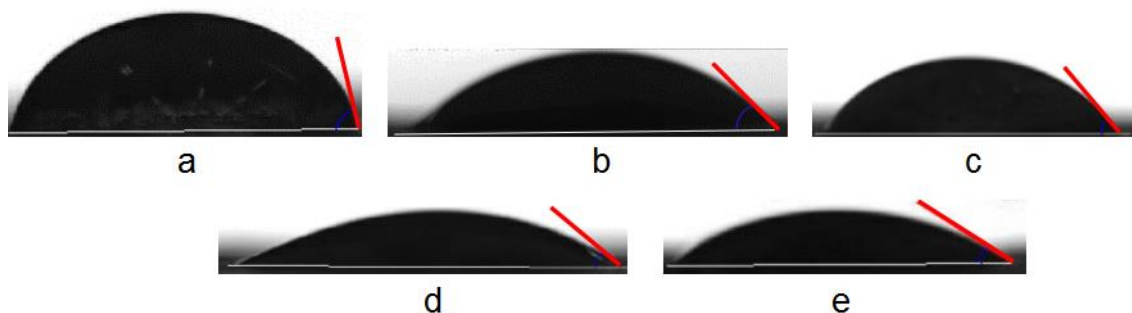
Figura 22 - Esquema de diferentes ângulos de contato de uma gota d'água quando depositada sobre diferentes superfícies de sólidos.



Na sequência, Recena (2014) explica que micro aderência, também chamada de micro ancoragem, é o preenchimento dos poros do substrato com a pasta da argamassa que formando pequenos insertos, que fixam mecanicamente a argamassa ao substrato, e acontecem de acordo com a capacidade do substrato em absorver a pasta. Esta capacidade será em função da predisposição da pasta de ser absorvida (características reológicas), além da quantidade e diâmetro dos poros do substrato (RECENA, 2014; STOLZ *et al.*, 2016; STOLZ; MASUERO, 2018). Conforme Stolz e Masuero (2018), as características reológicas da argamassa também são importantes, uma vez que a fluidez adequada pode aumentar a área de contato desta com o substrato, o que interfere na aderência entre as partes.

Cappelari *et al.* (2020) confirmam estas teorias no momento em que produziram concretos com diferentes relações água/aglomerante resultando em resistências mecânicas e porosidades diferentes. As misturas com menores relações água/cimento aumentaram a resistência à compressão e diminuíram a porosidade capilar, resultando em concretos com superfícies mais hidrofóbicas e de menor molhabilidade, como demonstrado pela medição do ângulo de contato da gota na superfície de concreto (Figura 23). Conforme Cappelari *et al.* (2020), os resultados demonstraram em laboratório o que acontece na prática, nos canteiros de obra.

Figura 23 - Ângulo de contato de uma gota na superfície do concreto com a) traço 1 – 118,60 MPa, 58,7°; b) traço 2 – 108,26 MPa, 47,6°; c) traço 3 – 102,89 MPa, 49,8°; d) traço 4 – 91,10 MPa, 31°; e) traço 5 – 48,48 MPa, 31,1°.



(fonte: adaptado de adaptado de Cappelari *et al.*, 2020)

Já a macro aderência é um processo exclusivamente mecânico, possível através do preenchimento das reentrâncias e saliências do substrato pela argamassa, formando uma ancoragem mecânica (RECENA, 2014). Stolz *et al.* (2016) explicam que a textura do substrato interfere na área de contato entre as partes, sendo que algumas podem formar ângulos que dificultam o fluxo ou a penetração da argamassa, prejudicando o contato interfacial.

Além das características dos componentes do sistema de vedação, as características climáticas durante a execução do revestimento, como temperatura, velocidade do vento e umidade do ar, influenciam no desempenho do sistema (RECENA, 2014). Como explicado no item sobre fissuras (2.2.4), a variação térmica e de umidade geram movimentações que, quando restringidas, levam a fissuras. Assim como nas fissuras, as movimentações higroscópicas geram tensões no revestimento que podem causar o cisalhamento entre as camadas e resultar no descolamento das interfaces que não suportaram os esforços (ZANONI, 2015). No caso de revestimentos aderidos, justamente a camada de aderência é um dos vínculos que restringem a movimentação. Dessa forma, estes movimentos introduzem tensões de compressão e tração na camada de interface entre o revestimento e o substrato, o que ocorre, frequentemente, de forma cíclica. Tal fenômeno pode resultar em fadiga na união entre as camadas quando as argamassas não forem capazes de se deformar o suficiente para absorver as tensões, causando a perda de aderência (CARASEK, 1996; RIBEIRO; BARROS, 2010).

Dessa forma, percebe-se que a durabilidade da aderência está relacionada à capacidade de deformação da argamassa endurecida. Quando o revestimento não é capaz de se deformar de forma adequada, os pequenos movimentos serão capazes de romper as ligações, produzindo



microfissuras e comprometendo, além da aderência, a estanqueidade e a durabilidade do revestimento (CARASEK, 1996).

Por estes motivos, Ribeiro e Barros (2010) destacam a importância da realização do projeto de fachada onde, além de ser verificada a compatibilidade dos componentes, sejam previstas as juntas de dilatação de forma estratégica, considerando tanto as características do clima, quanto as características dos materiais empregados.

Além das causas de perda de aderência relacionadas ao projeto e execução dos revestimentos e à compatibilidade do sistema, ainda existe a possibilidade de descolamento da base quando há processos de degradação dos componentes, como a presença de sais capazes de romper as ligações entre a camada de revestimento e o substrato (criptoflorescências), como explicado no item 2.2.2

Assim, percebe-se que a perda de aderência pode resultar de muitas causas, desde o projeto e execução do revestimento, quanto do resultado do aumento da degradação destes revestimentos, causados pela umidade, manchas e fissuras, que promovem a perda de coesão, desagregação dos materiais, movimentações que causam fissuras e expansões que causam o descolamento entre a argamassa e o substrato.

Gaspar e Brito (2013) afirmam que a perda de aderência representa o fim da vida útil dos revestimentos, uma vez que perdem as funções de proteção do sistema, colocando inclusive em risco a vida dos usuários em casos de desprendimentos de suas partes.

A ABNT NBR 15575-4 estabelece como tolerável a ocorrência de descolamentos, desde que não ocorram entre as placas de revestimento e o substrato (destacamentos), e que não sejam detectáveis a olho nu por um observador posicionado a 1,0 m (um metro) da superfície analisada, considerando um cone visual com ângulo igual ou inferior a 60°, em iluminação natural sem nebulosidade. Já os descolamentos de revestimentos localizados, podem ser detectados pelo som cavo através do exame de percussão, e são toleráveis quando não ultrapassam área individual de 0,10 m<sup>2</sup> ou área total correspondente a 5% do pano de fachada.

## 2.3 MÉTODO DE MENSURAÇÃO DA DEGRADAÇÃO

O método de mensuração da degradação (MMD) foi desenvolvido por pesquisadores da universidade de Brasília, Antunes (2010), Silva (2014), Pinheiro (2016) e Piazzarollo (2019),

sob orientação do professor Elton Bauer (UNB). A mensuração da degradação das fachadas permite avaliar este comportamento da degradação ao longo do tempo, o que subsidia os métodos de previsão de vida útil. O MMD é composto por procedimentos que envolvem a composição de um banco de dados, a análise e a quantificação da degradação. A análise da degradação será mais confiável quanto maior a quantidade e qualidade das informações obtidas. A seguir serão explicadas as etapas da composição do banco de dados e a avaliação da degradação propostos pelo MMD.

### 2.3.1 BANCO DE DADOS

A composição do banco de dados é realizada de forma organizada e sistemática. A seguir será explicada cada etapa:

#### a) Investigação documental

Nesta etapa, busca-se registros e informações a respeito de características arquitetônicas, ano de execução dos projetos dos edifícios, sistemas estrutural e construtivo, especificações do sistema de revestimento e registros de manutenções e reparos. Aqui buscam-se plantas baixas, desenhos de fachadas e cortes que possam colaborar com o entendimento do projeto e suas possíveis alterações.

#### b) Investigação de Campo

Através da investigação de campo são levantados os danos das edificações. São realizadas inspeções visuais e registros das detecções. A inspeção visual tem o intuito de identificar detalhes importantes das fachadas, materiais, manifestações patológicas e suas possíveis causas. Durante as inspeções, devem ser realizados registros (desenhos e fotografias) que servirão de base para o mapeamento de danos.

Recomenda-se que as imagens fotográficas sejam feitas com câmeras que proporcionem registros de alta resolução e qualidade, de forma a permitir a utilização de softwares de edição de imagens como auxílio no mapeamento dos danos.

No entanto, a inspeção visual e o registro fotográfico estão limitados às manifestações patológicas visíveis, não abrangendo o descolamento e alguns tipos de umidade. Para estes, existem técnicas como a percussão e a termografia por infravermelho, que permitem a detecção das áreas afetadas.

A técnica da percussão tem a característica de ser não destrutiva e avalia a aderência dos revestimentos com a base. Ela consiste em produzir impactos leves, com martelo de madeira, borracha, ou outro instrumento rijo, sobre o revestimento em análise, a fim de perceber o som que esta ação produz. As áreas do revestimento que apresentam som cavo sob percussão indicam que há descontinuidades de aderência entre as partes do sistema. Assim, determinam-se as áreas descoladas e com risco de projeção do material. Este teste está de acordo com a norma ABNT NBR 13749 (2013d). A limitação desta técnica encontra-se no acesso a todas as áreas do revestimento, sendo necessários andaimes, balancins, entre outros recursos, quando se tratam de edifícios altos ou de difícil acesso.

A termografia também é uma técnica (não destrutiva) que auxilia no diagnóstico de manifestações patológicas não detectáveis a olho nu, como descolamentos e fontes de umidade, como vazamentos de água. A câmera termográfica é capaz de detectar as temperaturas da edificação de forma genérica ou pontual. No estudo de Lourenço *et al.* (2017), verificou-se a capacidade da técnica da termografia em detectar anomalias em revestimentos cerâmicos, percebendo-se que descolamentos e presença de umidade são definitivamente possíveis de serem identificados através do método. Apesar de não conseguirem identificar a profundidade dos danos, os pesquisadores conseguiram verificar claramente as áreas abrangidas por cada manifestação patológica. Lourenço *et al.* (2017) ainda indicam o método para o monitoramento dos revestimentos das fachadas para a prevenção de manifestações patológicas mais graves.

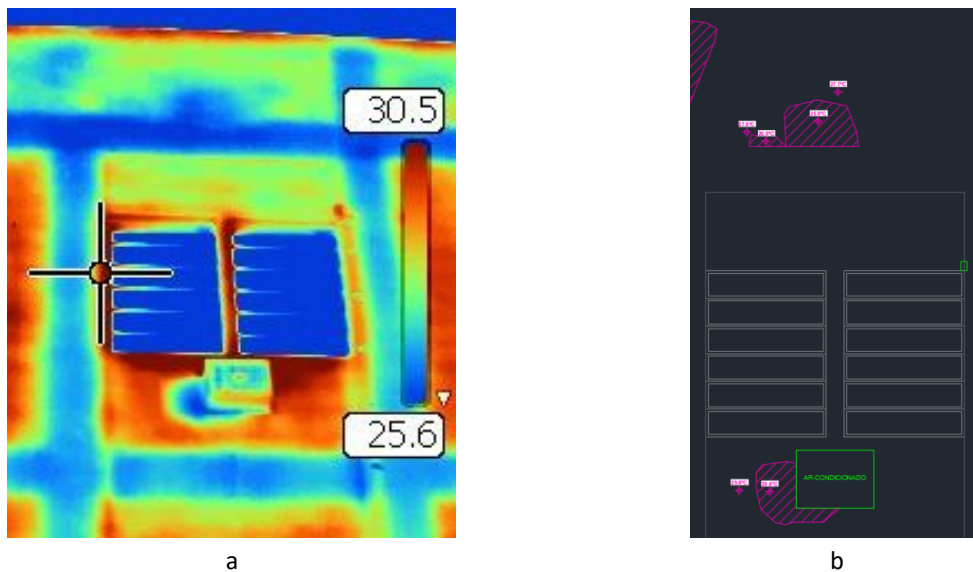
Bauer e Leal (2013) destacam a importância de existir um fluxo de calor para que a distribuição de temperaturas possa ser detectada por este método. Dessa forma, recomenda-se que as imagens sejam realizadas durante o início da manhã, quando a edificação está recebendo calor do ambiente, ou no final da tarde, início da noite, quando ela transfere calor para o ambiente. Menezes (2015) explica que, para serem visíveis as zonas que perderam a adesão na imagem termográfica, é necessário que as superfícies tenham sido expostas à radiação solar por um tempo.

A análise das imagens termográficas podem ser qualitativas ou quantitativas, sendo sempre importante estar atento se o observado na imagem visualmente e pela diferença de temperatura é uma manifestação patológica ou um elemento com temperatura diferenciada (ar condicionado, por exemplo) ou um material com emissividade diferente (BAUER *et al.*, 2015). Os autores ainda salientam que a análise qualitativa não requer grande precisão de medição, sendo que

compara os diferentes gradientes ou pontos de temperatura, sendo necessário definir padrões para comparação e associação das manifestações patológicas às diferenças térmicas

Alguns elementos da fachada, ou próximos a ela, podem causar sombra, gerando regiões mais frias. Desta forma, as imagens termográficas devem ser analisadas com cuidado. A Figura 24 exemplifica o caso, a imagem foi realizada em horário de resfriamento da parede, e logo abaixo da janela apresenta uma região fria que indicaria uma possível área descolada. As imagens foram geradas no final de semana, quando os aparelhos estavam desligados, assim, estes não geravam alteração de temperatura devido ao uso do motor, mas causavam o sombreamento. Assim, as imagens devem ser analisadas considerando o uso da edificação no momento do registro, bem como o horário da imagem, para minimizar os enganos. Nessa mesma imagem observa-se a estrutura de concreto e algumas manchas mais frias que seu entorno, logo acima da estrutura, indicando áreas possivelmente danificadas.

Figura 24 – Comparação da imagem termográfica e graficação das manchas mais frias. (a) imagem termográfica; (b) graficação das manchas para o mapeamento de danos.



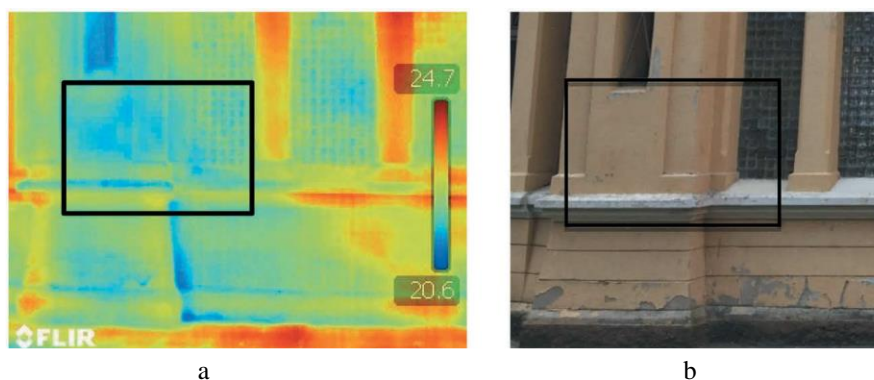
(fonte: da autora)

A análise quantitativa é sempre precedida da qualitativa, no entanto as temperaturas são medidas com precisão. Entre os critérios mais utilizados está a variação de temperatura entre a anomalia e seu entorno (BAUER et al., 2015; CERDEIRA et al., 2011).

Pavon (2017) e Freitas *et al.* (2014) explicam que o descolamento de uma parte do revestimento, gera uma camada de ar entre as partes. Esta camada de ar apresenta comportamento térmico

diferente das áreas aderidas, com maior resistência aos fluxos de calor, impactando na distribuição da temperatura. Assim Freitas *et al.* (2014) detectaram que durante a fase de aquecimento do sistema, quando o calor está sendo absorvido, as áreas não aderidas do revestimento apresentam temperatura mais alta que seu entorno aderido, já durante o resfriamento, em uma condição reversa, quando a edificação estiver perdendo calor, a temperatura é mais baixa. Esta segunda situação foi observada por Verdum *et al.* (2021) e Bersch *et al.* (2021). A Figura 25 demonstra o descolamento de argamassa detectado por Bersch *et al.* (2021), verificado na região mais fria da termografia, em imagem registrada no fim do dia, e confirmado pelo teste de percussão.

Figura 25 – Imagem que demonstra as áreas do revestimento descoladas, confirmadas pela percussão. (a) Imagem termográfica, (b) imagem fotográfica.



(fonte: Bersch *et al.*, 2021)

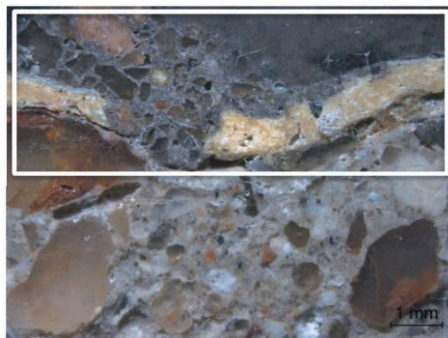
### c) ensaios laboratoriais;

Quando necessário, e permitido, ensaios laboratoriais são realizados para determinação da aderência do revestimento à tração (pull-out) e/ou caracterização dos materiais. Com a retirada de amostras, podem ser realizados os ensaios de absorção de água, reconstituição de traço, entre outros, que auxiliam no entendimento do estado de degradação e possíveis causas das manifestações patológicas.

Através da extração de amostras da fachada por Bersch *et al.* (2021), foi possível a análise das camadas do revestimento. Na amostra da Figura 26 identificou-se uma camada de argamassa cinza escuro sobre o revestimento preexistente original, o qual estima-se que fosse à base de cal, uma vez que se tratava de uma edificação histórica. Além de observações visuais e em lupa estereoscópica, a extração de amostras de diferentes áreas possibilitou às pesquisadoras a realização de diversos ensaios como de avaliação qualitativa de sais solúveis, termogravimetria

e fluorescência de raio X, que colaboraram para caracterização do revestimento e detecção de substâncias agressivas.

Figura 26 – Amostra de revestimento analisada por Bersch *et al.* (2021)



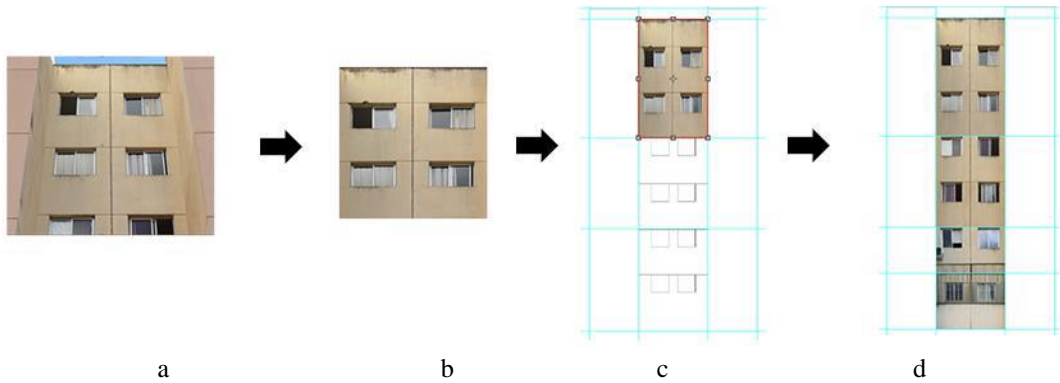
(fonte: Bersch *et al.*, 2021)

#### d) Mapeamento de danos

O Mapa de Danos se trata de um documento gráfico da compilação de informações levantadas sobre os danos do objeto em estudo. Nele devem constar todas as manifestações patológicas encontradas no elemento componente do edifício. Estas manifestações devem estar desenhadas e identificadas de acordo com uma legenda, e podem ser acompanhadas de observações como a condição ou risco de cada uma, possibilitando a utilização como um catálogo de referência que auxiliará na compreensão e diagnóstico (GASPAR; BRITO, 2013).

A partir da inspeção visual e dos registros (desenhos e imagens) são realizados os mapeamentos de danos, ou seja, o desenho da fachada com os danos detectados, de forma mais precisa possível da localização e área afetada. Macêdo (2017) realiza ortogonalização (ou planificação) através do software Adobe Photoshop das imagens para a sobreposição da malha e contabilização dos danos (Figura 27). Mas também há a opção de realizar o mapeamento de danos sobre as imagens registradas e planificadas através da utilização do software Adobe Photoshop associado ao AutoCad. A autora faz o registro das imagens e realiza a montagem com diversas fotografias e as planifica com o auxílio de desenhos em escala, com os de Autocad. Assim os danos que as imagens fotográficas registram podem ser transferidos para o desenho da fachada com maior precisão da localização e área de abrangência.

Figura 27 – Exemplo da ortogonalização das imagens. (a) foto original de parte da fachada, (b) foto ortogonalizada de parte da fachada, (c) sobreposição da foto ortogonalizada no desenho da porção da fachada correspondente, com o auxílio de linhas guias; (d) resultado final da fachada ortogonalizada.



(fonte: Macêdo, (2017))

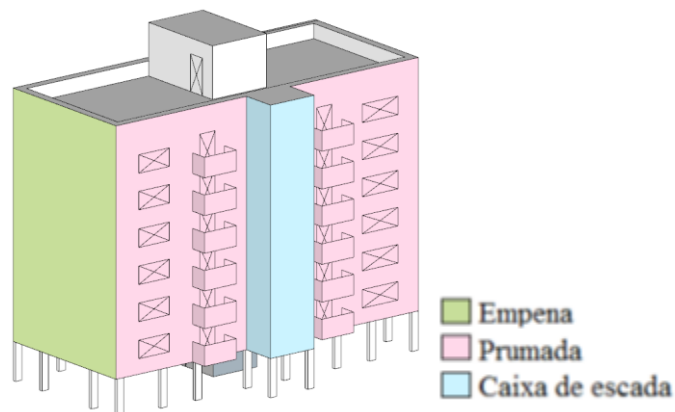
#### e) Classificação das amostras

Baseada nas informações coletadas, o diagnóstico é realizado estabelecendo as possibilidades relacionadas aos mecanismos de degradação, suas causas e consequências.

Com o levantamento em mãos, as fachadas são separadas por amostras, para posterior mensuração da degradação. A separação das amostras conforme a classificação de Silva (2014) seguem os seguintes critérios:

- idade da edificação, onde é contada a partir da data de inauguração do edifício até o momento do levantamento;
- classificação entre prumada (fachadas de maiores dimensões) ou empena (fachadas de menores dimensões) como na Figura 28.

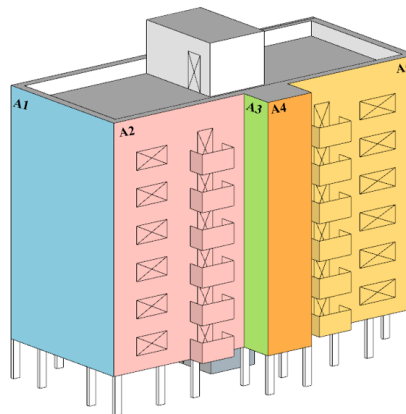
Figura 28 – Exemplo da prumada e empena das edificações



(fonte: Piazzarollo, (2019))

Silva (2014) explica que as prumadas podem ser ainda subdivididas. No caso de sua pesquisa, a divisão foi feita nas divisas das juntas de movimentação estruturais (Figura 29). Conforme Piazzarollo (2019), as fachadas devem ser divididas em amostras quando existir alguma uma reentrância no edifício que se estenda por todos os andares.

Figura 29 – Divisão das prumadas em amostras. (a) exemplo de piazzarollo; (b) divisão pelas juntas de dilatação utilizadas por Silva (2014)



(fonte: Piazzarollo, (2019)



(fonte: Silva, 2014)

Souza (SOUZA, 2016) realiza a divisão por elementos de arquitetura, como por exemplo, um volume de reentrância, um volume de saliência, como mostra a Figura 30.

Figura 30 – Divisão das prumadas por elementos de arquitetura



(fonte: Souza, 2016)



No Quadro 1, Piazzarollo (2019) propõe uma forma de organizar a divisão das amostras de fachadas:

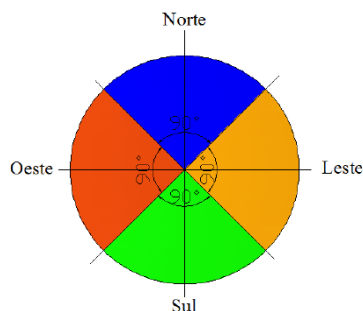
Quadro 1 - Instruções para divisão das amostras de fachadas

<b>Em juntas de movimentações verticais.</b>	
<b>Onde fazer a divisão</b>	Em discontinuidades Em caso de a fachada ser interrompida por reentrâncias ou por uma quebra no plano de avanços
<b>Instruções para a divisão das amostras</b>	Uma amostra não deve apresentar diferenças de orientação em sua área.
	Áreas revestidas sobre elementos não habitáveis acima da cobertura devem ser divididas em suas próprias amostras, que terão suas áreas inteiramente consideradas zona de topo na fase de mapeamento. É o caso caixas d'água, casas de máquinas de elevadores, depósitos de materiais, cercado de jardins, entre outros.
	Na existência de uma caixa de escada deve-se dividir os lados da caixa em amostras diferentes, assim como em outros planos que causem uma discontinuidade em um dos lados do edifício.
	Caso exista uma reentrância no edifício que se estenda por todos os andares, deve-se dividir as fachadas nessa região em amostras diferentes, de acordo com as suas orientações.
<b>Nomenclatura</b>	Elementos revestidos do prédio que se projetam para fora do plano das fachadas, como sacadas, devem ter os seus lados contabilizados em amostras.
	Para a identificação de cada amostra do edifício adota-se um prefixo "A", seguido de um número para identificar o edifício inspecionado, um ponto e, por fim, o número da amostra da fachada inspecionada. (Ex.: A1.4).

(fonte: Piazzarollo, (2019))

- orientação cardinal, que é obtida através da imagem de satélite Google Maps, e posteriormente verificado o ângulo conforme a Figura 31.

Figura 31 - Amplitude dos quadrantes para a classificação da orientação cardinal das amostras de fachadas.



(fonte: Silva, 2014)

Através da Figura 31, percebe-se que a mesma foi dividida entre quatro quadrantes, um para cada ponto cardinal, delimitados pelos azimutes: saber:

- norte compreendida entre os azimutes  $315^\circ$  e  $44^\circ$  (em azul).
- leste compreendida entre os azimutes  $45^\circ$  e  $134^\circ$  (em amarelo);
- sul compreendida entre os azimutes  $135^\circ$  e  $224^\circ$  (em verde);
- oeste compreendida entre os azimutes  $225^\circ$  e  $314^\circ$  (em laranja);

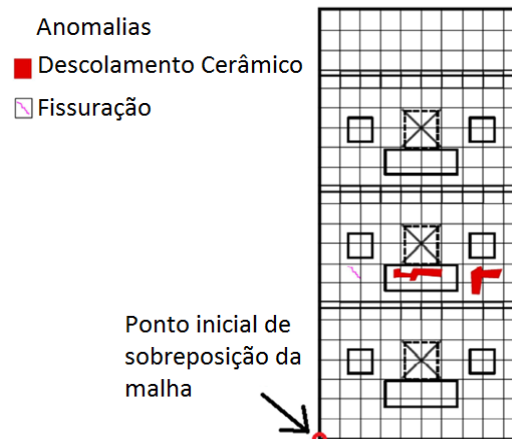
f) quantificação das áreas danificadas

Com o levantamento realizado, é necessário quantificar os danos das fachadas de forma padronizada. Este método, explicado por Souza (2016) é uma evolução das propostas metodológicas de Gaspar e Brito (2005) e de Antunes (2010) e consiste em:

- 1) sobrepor uma malha sobre o mapeamento de danos;
- 2) dividir da malha por andares;
- 3) dividir por regiões da fachada;
- 4) contabilizar o número de quadrados abrangidos pelos danos;
- 5) preencher a ficha de danos de cada amostra.

A malha, conforme Silva (2014) e Souza (2016), deve ter aberturas de  $0,50\text{m} \times 0,50\text{m}$ , procedendo em áreas de  $0,25\text{m}^2$  e ser sempre iniciada na parte inferior esquerda de cada amostra, como ilustrado na Figura 32. Tem-se considerado que a dimensão dessa malha é adequada para diversos estudos posteriores como o de Bauer, Souza e Mota (2021), incluindo edifícios históricos como nos estudos de Verdum (2021).

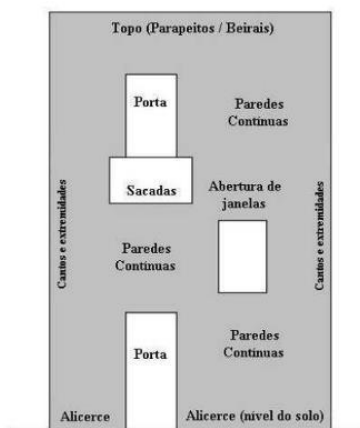
Figura 32 – Representação esquemática de amostra da fachada com sobreposição da malha de 0,50m x 0,50m



(fonte: Souza, (2016))

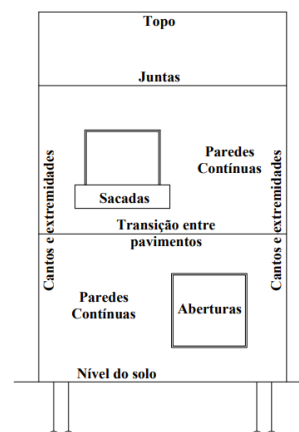
No estudo de Gaspar e Brito (2005), observa-se a possibilidade de divisão da fachada em regiões, onde as manifestações patológicas têm maior ou menor possibilidade de incidência. Posteriormente, Antunes (2010) e Silva (2014), adaptaram as regiões para a aplicação do método para edifícios estudados na cidade de Brasília, assim conseguiram associar as manifestações patológicas com as regiões de incidência nas fachadas. As Figura 33, Figura 34 e Figura 35 demonstram as definições das regiões dos trabalhos realizados respectivamente por Gaspar e Brito, (2005), Antunes, (2010), Silva *et al.* (2014) e Pinheiro (2016). Percebe-se algumas diferenças, essas devido a necessidade de adaptações ao caso que será aplicado o método.

Figura 33 - Representação esquemática das regiões de análise das fachadas desenvolvida por Gaspar e Brito.



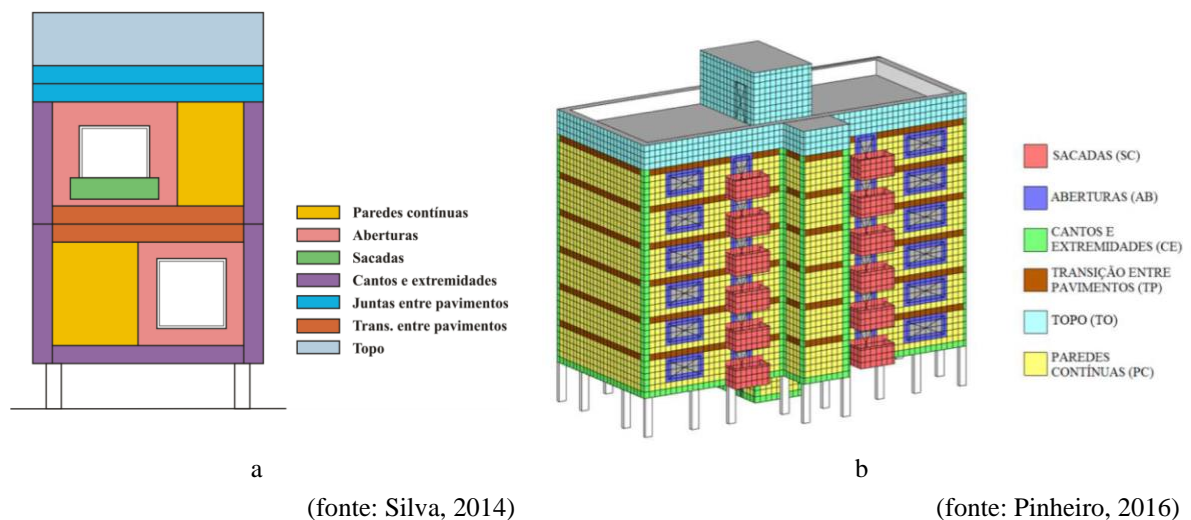
(fonte: Gaspar e Brito, 2005)

Figura 34 - Representação esquemática das regiões de análise das fachadas desenvolvida por Antunes.



(fonte: Antunes, 2010)

Figura 35 - Representação esquemática das regiões de análise das fachadas desenvolvida por Silva



a

(fonte: Silva, 2014)

b

(fonte: Pinheiro, 2016)

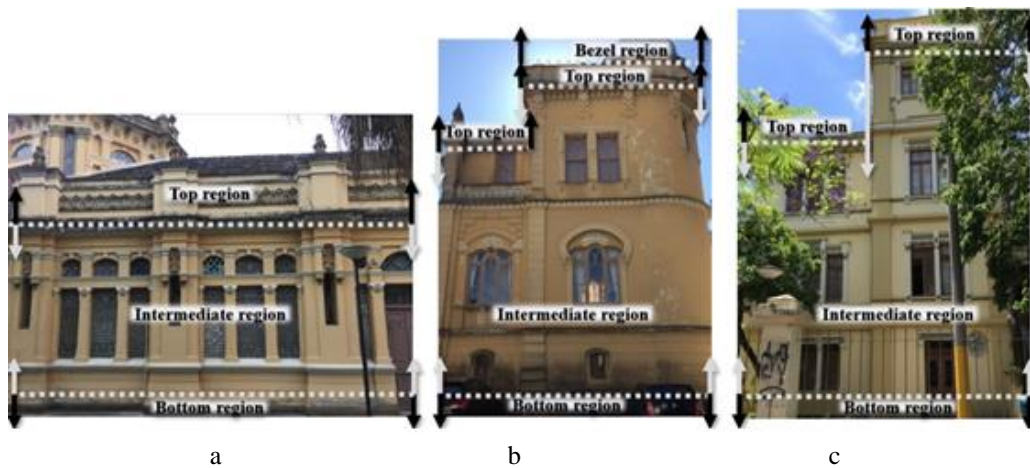
As regiões propostas por Silva (2014) são definidas por Pinheiro (2016) e Santos (2018), para contabilização após a sobreposição da malha conforme segue:

- Sacadas (SC) – áreas de paredes de guarda corpo que se sobressaem do plano de fachada, tem como particularidade o balanço do volume;
- Transição entre Pavimentos (TP) – áreas entre os andares, a cada pé direito. Na malha, serão consideradas as unidades que estiverem sobre a divisão entre dois pavimentos;
- Topo (TO) – área de platibanda, está acima do último pavimento. Na malha, serão consideradas as unidades que estiverem acima da TP do último andar, incluindo caixas-d'água, casas de máquina de elevadores, depósitos de materiais;
- Aberturas (AB) – áreas em torno das portas e janelas. Serão contabilizadas as primeiras unidades de malha que contornarem as extremidades das aberturas;
- Cantos e Extremidades (CE) – áreas que contornam o plano da fachada, ou ainda, onde há descontinuidades. Serão contabilizadas as primeiras unidades de malha que contornarem as extremidades da fachada (recuos e avanços também são considerados).

- Paredes Contínuas (PC) – áreas do plano de fachada que não foram classificadas em nenhuma das regiões acima e apresentam continuidade. Geralmente, representa a maior área de extensão, sendo classificada por último.

Verdum (2021) não conseguiu aplicar a divisão das fachadas em regiões similares às exemplificadas devido à arquitetura das edificações estudadas serem diferenciadas, e adaptou conforme possibilitou a aplicação do método de mensuração de danos para três regiões, ou quatro, no caso do observatório astronômico. A Figura 36 demonstra as regiões analisadas, como a base, região superior, região intermediária e região inferior, além do bisel, no caso do observatório astronômico.

Figura 36 - Três regiões principais de divisão das fachadas dos edifícios estudados para a quantificação dos danos, e a região do bisel. (Château, Observatório Astronômico e edifício da Rádio da UFRGS)



(fonte: Verdum *et al.*, 2021)

Com o mapeamento de danos pronto, sobrepõe-se a malha e inicia-se a quantificação das manifestações patológicas, já classificando por regiões. Na sequência, para cada amostra, preenche-se a ficha para quantificação das manifestações patológicas por andar e região. Como resultado, é possível analisar a incidência das manifestações patológicas nas diferentes regiões.

### 2.3.2 DIAGNÓSTICO

A análise dos levantamentos e mensuração dos danos é realizada através de cálculos de indicadores de degradação das fachadas, que serão explicados a seguir. Estes indicadores são analisados e possibilitam comparações entre as amostras e entre as fachadas, onde é possível analisar a frequência, proporções e gravidade das manifestações patológicas encontradas.

O Fator Geral de Danos, proposto por Souza (2016) é uma etapa do método de mensuração da degradação (MMD) que teve como embasamento o Nível Geral de Danos, proposto por Gaspar e Brito (2008). Dessa forma, ambos indicadores serão explicados a seguir.

### 2.3.3 NÍVEL GERAL DE DANOS (NGD)

O NGD é uma proposta de Gaspar e Brito (2008), onde os autores consideraram que, por serem expostas a diversos agentes agressivos de formas distintas, as fachadas apresentam uma combinação de diferentes fenômenos de degradação, que geram manifestações patológicas diversas que ocorrem simultaneamente, o que dificulta a quantificação da degradação de fachadas inteiras. (GASPAR; BRITO, 2008, 2013).

Para buscar determinar de forma numérica o estágio de degradação das fachadas, Gaspar (2009) desenvolveu um método, que é uma evolução de seus estudos anteriores e apresenta diversos indicadores de degradação para, enfim, chegar ao indicador S, o qual considera a área de fachada afetada, o tipo de manifestação patológica e o respectivo nível de condição, comparando com pior nível de condição para todos os tipos de defeitos. Mas para calcular este indicador S, se faz necessário explicar o significado dos parâmetros os quais o autor utiliza, que devem ser levantados em campo:

- área opaca da fachada (A) - expressa em  $m^2$  – considera-se, no caso do estudo de revestimentos de argamassa, apenas a área analisada que estiver coberta por este revestimento;
- área ou extensão de fachada degradada, por tipo de anomalia, expressa em  $m^2$  – por exemplo, neste estudo: perda de aderência, ou descolamento, ou ainda destacamento (Ad), fissuração (Af) e manchamento (Am);

Para compreender os indicadores, é importante explicar que Gaspar (2009) organiza as manifestações patológicas em três grandes grupos, sendo estes: “manchas”, “fissuração” e “perda de aderência”, o qual correspondem:

- manchamento - sujidade da fachada, manchas de umidade, termoforese, escorrimento de água da chuva, manchas de eflorescências, entre outros;
- fissuras - anomalias decorrentes do comportamento da argamassa, e deformações do suporte ou da estrutura;

- perda de aderência – descolamento, destacamento (ou deslocamento) e perda de coesão da argamassa.

O primeiro indicador de degradação proposto por Gaspar (2009) é a área degradada ponderada ( $A_w$ ), obtida pelo produto da área afetada por cada anomalia por uma constante ( $k_n$ ) que traduz a sua condição e pela importância relativa do tipo de anomalia, que será explicado posteriormente. A determinação de  $A_w$  é dada pela equação 3:

$$A_w = \sum (A_n \times k_n)$$

equação 3

Onde:

$A_w$ : somatório ponderado da área de fachada afetada por anomalias detectadas, em  $m^2$ ;

$A_n$ : área de fachada afetada por uma anomalia  $n$ , em  $m^2$ ;

$k_n$ : constante de ponderação das anomalias  $n$ , em função da sua condição, tomando os valores pertencentes ao espaço  $k_n \in \{1,2,3,4\}$ .

Neste trabalho de Gaspar (2009) não fica claro os valores e critérios de  $K_n$ , no entanto em pesquisa anterior, Gaspar e Brito (2005) exemplificam conforme a Tabela 3.

Tabela 3 - Níveis de desempenho para argamassas externas e rebocos propostos Gaspar e Brito (2005).

(continua)		
Nível 0	Sem degradação visualmente detectável	Nenhuma intervenção necessária
Nível 1 – bom estado	Manchas superficiais	Avaliações visuais
	Fissuras visíveis com lentes de aumento	
Nível 2 – degradação leve	Pichação	Limpeza de superfícies (escovação e lavagem)
	Presença localizada de fungo	
	Possíveis vias de entrada para água ou sinais de luz de eflorescência	
	Mancha leve de umidade e umidade	
Nível 3 –degradação ampla	Fissura localizada (visível a olho nu)	Reparo e proteção
	Cantos ou bordas danificados	
	Infiltrações localizadas	
	Eflorescência	
	Danos superficiais (cor e textura)	

<b>Quebra extensa</b>	
<b>Nível 4 – degradação extensa</b>	Esmagamento ou desintegração da superfície
	Infiltração extensa e danos à superfície
	Elementos de aço quebrados ou corroídos
	Perda de adesão entre camadas
	Separação da parede

**Substituição parcial ou total**

(fonte: Gaspar e Brito, 2005)

Assim, tem-se como exemplo uma amostra que apresenta 20m<sup>2</sup> de área opaca degradada do primeiro grupo em condição 1, 5 m<sup>2</sup> de área opaca degradada do segundo grupo em condição 2 e 10 m<sup>2</sup> de área opaca degradada do segundo grupo em condição 3. Assim, tem-se 60 m<sup>2</sup> de área degradada, conforme demonstrado:

$$A_w = (20m^2 \times 1) + (5m^2 \times 2) + (10m^2 \times 3) = 60m^2$$

É importante salientar que a área degradada da fachada pode ser maior que a área opaca total, visto que pode ocorrer a sobreposição dos danos, e que este conceito não traz respostas de forma isolada, mas sim quando permite o estudo dos indicadores apresentados na sequência. (GASPAR, 2009).

O segundo indicador é a extensão da degradação da fachada (E), calculada pelo somatório das áreas afetadas pelas anomalias e a área opaca total do revestimento na amostra (GASPAR, 2009). A extensão da degradação da fachada (E) é calculada pela equação 4:

**equação 4**

$$E = \frac{\sum A_n}{A} = \frac{A_d + A_f + A_m}{A}$$

*Onde:*

*E:* extensão da degradação da fachada, expressa em percentagem;

$\sum A_n$ : somatório da área de fachada afetada pelas anomalias detectadas, em m<sup>2</sup>;

*A<sub>d</sub>*: área de fachada com anomalias do tipo destacamento, em m<sup>2</sup>;

*A<sub>f</sub>*: área de fachada com anomalias do tipo fissuração, em m<sup>2</sup>;

*A<sub>m</sub>*: área de fachada com anomalias do tipo mancha, em m<sup>2</sup>;

*A:* área opaca da fachada, em m<sup>2</sup>.



Este indicador é interessante, principalmente por apresentar uma proporção da área opaca afetada com a área opaca total, e, nitidamente, quando o valor de  $E$  for superior a 100% indica a sobreposição das anomalias. Entretanto não há nenhuma indicação da condição da fachada, apenas a extensão afetada.

Para relacionar a extensão da área afetada com a condição da degradação, isso foi desenvolvido o terceiro indicador, que é a extensão ponderada da degradação de fachada ( $E_w$ ), que pode ser calculado através da equação 5:

$$E_w = \frac{A_w}{A} = \frac{\sum(A_n \times k_n)}{A}$$

equação 5

Onde:

$E_w$ : extensão ponderada da degradação da fachada, expressa em percentagem;

$A_w$ : somatório ponderado da área de fachada afetada por anomalias detectadas, em  $m^2$ ;

$A_n$ : área de fachada afetada por uma anomalia  $n$ , em  $m^2$ ;

$k_n$ : constante de ponderação das anomalias  $n$ , em função da sua condição, tomando os valores pertencentes ao espaço  $k_n \in \{1,2,3,4\}$ ;

$A$ : área da fachada, em  $m^2$ .

Este indicador permite a análise da extensão degradada da fachada, levando em consideração a condição da degradação, assim, é um indicador ponderado. Seu valor limite varia de 0%, quando não há degradação, até o somatório das áreas deterioradas multiplicadas pelos seus respectivos fatores de degradação. É importante salientar que  $E$  e  $E_w$  não possuem relações diretas, visto que, ao comparar duas amostras distintas, uma pode ter uma degradação extensa, mas com uma condição 1 e outra com pequena área degradada, na condição 4, assim não se pode relacionar estes indicadores (GASPAR, 2009).

Percebendo que o indicador  $E_w$  apresenta uma interpretação complicada, visto que pode resultar em valores muito acima dos 1200% (os três grupos de anomalias em condição 4, a pior condição), foi desenvolvido um quarto indicador que indica a severidade da degradação da fachada ( $S$ ) (GASPAR, 2009), calculado conforme a equação 6 (BRITO; SILVA, 2018; GASPAR; BRITO, 2013; GASPAR, 2009):

$$S = \frac{\sum(A_n \times k_n \times k_{a,n})}{A \times k_{m\acute{a}x}}$$

equação 6

*Onde:*

S: severidade da degradação da fachada, normalizada, em %;

$A_n$ : área de fachada afetada por uma anomalia n ( $m^2$ );

$k_n$ : constante de ponderação da degradação detectada -  $k_n \in \{1,2,3,4\}$ ;

$k_{a,n}$ : constante de ponderação do peso relativo das anomalias detectadas, em que  $K_{a,n} \in R^+$ ; caso não exista qualquer especificação, dever-se-á assumir  $K_{a,n} = 1$ ;

$k_{máx}$ : nível de condição mais elevada da degradação de uma fachada de área A;

A: área total da fachada.

Os fatores de ponderação surgem da necessidade de diferenciar a importância entre as manifestações patológicas, caso não fosse realizada a ponderação, considerar-se-ia que as anomalias possuem igual importância (GASPAR, 2009). Quando se compara manchas por sujidade ao destacamento, percebe-se que a necessidade de diferenciar, já que destacamento está relacionado diretamente com a segurança dos utentes.

Gaspar (2009) compara dois cenários, um com a avaliação da degradação com todas as manifestações patológicas considerando a mesma importância, outro considerando a ponderação, hierarquizando as anomalias. O autor verificou que, geralmente, o segundo cenário apresenta valores de  $E_w$  maiores que o primeiro, além disso, ao incluir a ponderação, os resultados apresentam-se mais coerentes, já que diminui as penalidades em amostras onde foram detectadas apenas com manchamento. A distinção, do ponto de vista físico, crescente da gravidade, entre os três grupos: manchas, fissuração e perda de aderência que geram os valores das constantes de ponderação da degradação  $K_{a,n}$ . Estes valores foram atualizados e apresentados por Gaspar e Brito (2013), considerando também uma comparação dos custos de reparo numa realidade local, em Portugal, e podem ser verificados na Tabela 4.

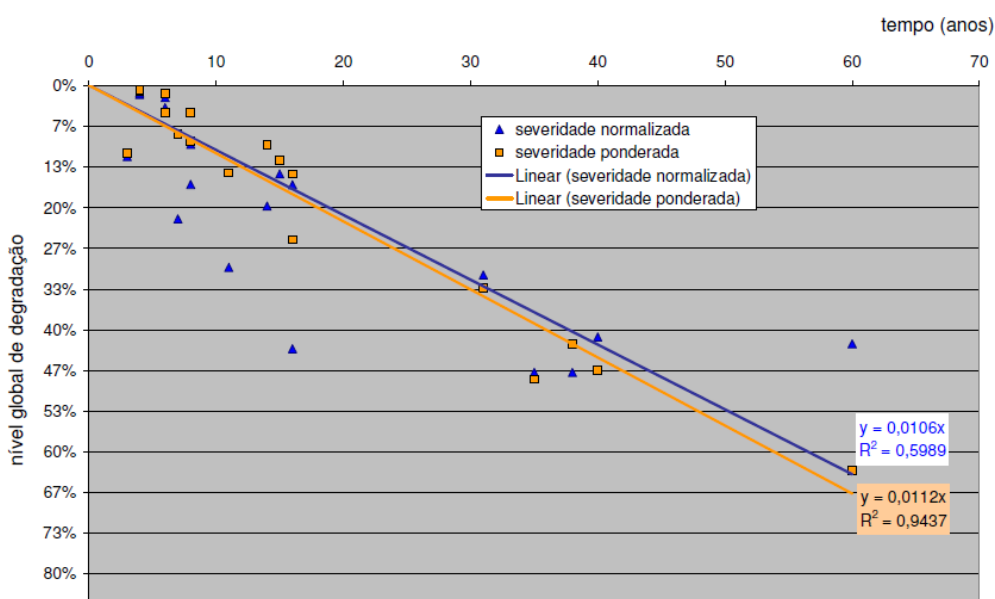
Tabela 4 - Peso relativo dos defeitos para cada nível de condição, de acordo com custos de reparação de rebocos (Mercado Português)

Condição	Manchas	Fissuração	Perda de aderência
<b>0 (melhor)</b>	0,00	0,00	0,00
<b>1</b>	0,12	0,95	1,53
<b>2</b>	0,53	0,95	1,53
<b>3</b>	0,53	1,12	1,53
<b>4 (Pior)</b>	0,53	1,53	1,53

(fonte: Gaspar e Brito (2013))

Os resultados obtidos no estudo de 18 casos por Gaspar (2009) estão representados na Figura 37, onde também compara as retas de regressão correspondentes aos dois cenários estudados, um (linha azul) corresponde os resultados onde se consideram todas as anomalias com igual importância; outro (linha laranja) com a distinção da importância das anomalias através de pesos.

Figura 37 - Degradação global de fachadas com revestimento de argamassa, ao longo do tempo.



(fonte: Gaspar (2009))

Apesar das linhas próximas, percebe-se a grande diferença de confiabilidade da regressão, ou seja, a grande variabilidade dos resultados do primeiro cenário leva a um  $R^2$  de 0,599, já, no segundo cenário, onde há ponderação, ocorre o contrário, sendo que atinge um  $R^2$  de 0,944, ou seja, os resultados correspondem maior proximidade com a realidade.

### 2.3.4 FATOR DE DANOS

O Fator de danos (FD), conforme Souza (2016), é um índice que quantifica a degradação dos elementos em estudo que pode ser calculado de forma geral, incluindo todas as manifestações para toda a edificação, toda a fachada, ou ainda de forma mais restrita, por amostra. Estas análises são interessantes quando relacionadas a faixa de idade e orientação cardinal.

O Fator de Danos Total ( $FD_{Total}$ ) é um parâmetro inicial que mensura a degradação e relaciona a área danificada com a área total da amostra de fachada. Ele não considera, neste momento, as influências de cada tipo de anomalia causadora da degradação medida, apenas aponta a área

danificada em uma amostra, mas possibilita relações de distribuição e frequência ocorrência de danos e é influenciado diretamente pelo tamanho da área de cada região da amostra. (PIAZZAROLLO, 2019; SANTOS, 2018; SOUZA, 2016, 2019). O  $FD_{Total}$  é calculado conforme a equação 7.

equação 7

$$FD_{Total} = \sum \frac{A_{d(n)}}{A_t}$$

Onde:

$FD_{Total}$ : Fator de Dano Total;

$A_{d(n)}$ : Área danificada de determinada anomalia (n);

$A_t$ : Área total da amostra.

Silva (2014) e Souza (2016) propõem um indicador que considera a influência e a importância de cada tipo de anomalia presente nas amostras para o fenômeno de degradação em revestimentos cerâmicos, o Fator Geral de Danos (FGD). Souza (2019) ressalta que este é um indicador de degradação aplicado à realidade das condições de construção, exposição e uso de edifícios do Distrito Federal, onde realizaram as pesquisas.

O Fator Geral de Danos (FGD) é um índice de degradação ponderado, onde, baseado nas inspeções das fachadas, se atribui pesos referentes aos diferentes tipos de anomalias apontadas no levantamento e mapeamento de danos. O FGD é calculado através da razão entre a área degradada ponderada e a área de referência, conforme a equação 8 (SOUZA, 2016, 2019).

equação 8

$$FGD = \frac{\sum A_{d(n)} \cdot k_n \cdot k_{cn}}{\sum k_{m\acute{a}x} (A_t)}$$

Onde:

$FGD$ : Fator Geral de Danos;

$A_{d(n)}$ : Área danificada por uma manifestação patológica n ( $m^2$ );

$k_n$ : constante de ponderação das manifestações patológicas, em função do nível de condição, onde  $k_n \in \{1,2,3,4\}$ ;

$k_{cn}$ : constante de ponderação da importância relativa das anomalias detectadas;

$\sum k_{m\acute{a}x}$ : somatório das constantes de ponderação equivalente ao nível da pior condição;

$A_t$ : Área total da amostra de fachada ( $m^2$ );

n: é a referência do tipo de anomalia

As variáveis de ponderação  $K_{c(n)}$  e  $K_n$  são pesos relativos à gravidade de cada manifestação patológica. As formas como foram estabelecidos os valores evoluíram ao longo dos estudos dos pesquisadores da UNB. O nível da condição de gravidade de cada dano ( $K_n$ ) foi baseado em função da extensão de ocorrência, e  $K_{máx}$ , equivale ao padrão máximo de degradação, que no caso dos estudos em Brasília, assume o valor 4,0. Eles foram determinados por Souza (2016), através da análise da frequência de ocorrência do FDTtotal. A autora estabeleceu uma escala de degradação conforme sua extensão de ocorrência das edificações analisadas, assim, conformando uma hierárquica. Esta escala de degradação está dividida em cinco níveis de condição, onde os critérios adotados para divisão entre os níveis foram baseados na distribuição de frequência de FDTtotal, analisando a frequência de ocorrência de cada tipo de anomalia nas amostras. O nível 0 quando não há degradação visível; níveis 1 e 2, situações intermediárias; nível 3 ao fim da vida útil do sistema; e nível 4 quando a degradação é generalizada.

As análises do FDTtotal levaram Souza (2016) a determinar, como limite do nível de condição 1 para o nível de condição 2, o percentual de área degradada de 50% das amostras. Já o limite entre os níveis 2 e 3, o percentual de área degradada é de 80% das amostras e o limite do nível de condição 3 para 4 equivale ao valor de FDTtotal de 90% das amostras.

Santos (2018) propõe ajustes nos valores de  $K_n$  indicados por Souza (2016), que eram para revestimentos cerâmicos, para o cálculo do FGD dos revestimentos de argamassa. Como explicado, os valores estabelecidos por Souza (2016) para  $K_n$  tem origem na análise da frequência de ocorrência das manifestações patológicas no universo de um banco de dados. Dessa forma, Santos (2018) explica que alterando as variáveis do banco de dados (região, sistema de revestimento, tipologia construtiva, quantidade e idade das amostras), os resultados para os valores de  $K_n$  também são alterados, sendo necessária uma nova análise. Assim, Santos (2018) realiza a análise da distribuição de frequências dos resultados das manifestações patológicas encontradas no banco de dados de sua pesquisa, definindo a escala de degradação em cinco níveis, sendo explicados na Tabela 5.

Tabela 5 - Níveis de condição definidos por Santos (2018)

(continua)

Nível de condição	Tipo de dano
Nível 0	Sem degradação visível
Nível 1	edifício considerado em boas condições, com FDTtotal $\leq$ 50%, ou seja, ocorrência de danos igual ou abaixo de 50%.

(conclusão)

<b>Nível 2</b>	<b>amostra que apresente degradação leve, com <math>50 &lt; \text{FDTotal} \leq 80\%</math>, ou seja, a extensão de danos abrange entre 80 e 90%.</b>
<b>Nível 3</b>	amostra que apresente degradação moderada, com $80 < \text{FDTotal} \leq 90\%$ , ou seja, a extensão de danos abrange entre 50 e 80%.
<b>Nível 4</b>	amostra que apresente degradação generalizada, com $90\% < \text{FDTotal}$ , ou seja, a extensão de danos abrange mais de 90%, sendo que o revestimento não atende mais aos requisitos impostos.

(fonte: Santos, 2018)

A partir destes limites, apresenta-se na Tabela 6, os níveis de condição (Kn) para cada manifestação patológica:

Tabela 6 - Critérios adotados na transição dos níveis de condição de cada anomalia para pesquisa de Santos (2018)

(continua)

<b>Patologias</b>	<b>Critério de Valor</b>	<b>Nível de Condição (Kn)</b>	<b>% área degradada</b>
<b>De.A</b>	FD ≤ 50%,	1	x ≤ 1,04%
	50 % < FD ≤ 80%	2	1,04% < x ≤ 2,24%
	80 % < FD ≤ 90%	3	2,24% < x ≤ 2,89%
	90 % < FD	4	2,89 % < x
<b>Fi.A</b>	FD ≤ 50%,	1	x ≤ 33,33%
	50 % < FD ≤ 80%	2	33,33% < x ≤ 51,40%
	80 % < FD ≤ 90%	3	51,40% < x ≤ 66,58%
	90 % < FD	4	66,58 % < x
<b>Pu.A</b>	FD ≤ 50%,	1	x ≤ 0,88%
	50 % < FD ≤ 80%	2	0,88% < x ≤ 2,79%
	80 % < FD ≤ 90%	3	2,79% < x ≤ 3,82%
	90 % < FD	4	66,58 % < x
<b>Ef.A</b>	FD ≤ 50%,	1	x ≤ 0,47%
	50 % < FD ≤ 80%	2	0,47% < x ≤ 0,60%
	80 % < FD ≤ 90%	3	0,60 % < x
<b>Ma.A</b>	FD ≤ 50%,	1	x ≤ 16,02%
	50 % < FD ≤ 80%	2	16,02% < x ≤ 28,73%
	80 % < FD ≤ 90%	3	28,73% < x
<b>DeP</b>	FD ≤ 50%,	1	x ≤ 2,31%
	50 % < FD ≤ 80%	2	2,31% < x ≤ 7,67%
	80 % < FD ≤ 90%	3	7,67% < x

			(conclusão)
	<b>FD ≤ 50%,</b>	<b>1</b>	<b>x ≤ 1,23%</b>
<b>Fi.P</b>	50 % < FD ≤ 80%	2	1,23% < x ≤ 11,61%
	80 % < FD ≤ 90%	3	11,61% < x
<b>Bo.O</b>	FD ≤ 50%,	1	x ≤ 1,92%
	50 % < FD ≤ 80%	2	1,92% < x ≤ 5,22%
	80 % < FD ≤ 90%	3	5,22% < x

Manifestações patológicas das argamassas: Descolamento (De.A); Fissuração (Fi.A); Pulverulência (Pu.A); Eflorescência (Ef.A) e Manchas (Ma.A).  
 Manifestações patológicas das pinturas: Descolamento (De.P); Fissuração (Fi.P); Bolhas (Bo.P).  
 Causas: CA falhas de projeto; CB falhas herdadas (oriundas do substrato); CC falhas de execução; CD falhas de uso e manutenção.

(fonte: Santos, 2018)

Santos (2018) considera que, eflorescência (Ef.A) e manchas (Ma.A) em argamassa, além de descolamento (De.P); fissuração (Fi.P) e bolhas (Bo.P) em pintura. não devem ser classificadas no pior nível de condição (nível 4), porque estas manifestações, quando agem de forma isolada, raramente podem acarretar na perda dos requisitos para estes revestimentos.

Assim como Souza (2016),  $K_{m\acute{a}x}$  nos estudos de Santos (2018) representa o maior nível de degradação. Sendo que, o denominador da equação para o cálculo de FD é a soma do  $K_{m\acute{a}x}$  de cada patologia, totalizando 27.

O coeficiente  $K_{c(n)}$ , proposto por Santos (2018) e Souza (2019) é calculado através da análise das causas de uma anomalia e do quanto esta afeta o desempenho do sistema, baseada nas matrizes propostas por Silvestre (2005)<sup>12</sup> apud Santos (2018). Os valores utilizados por Silvestre (2005) apud Santos (2018) nas matrizes são 0, quando não há relação, 1, quando há uma baixa relação, ou seja, causas indiretas, e 2 quando há uma forte relação, ou seja, representam as causas diretas.

A partir das análises das matrizes, Santos (2018) propõe a matriz de correlação entre as causas prováveis x manifestações patológicas em revestimentos de argamassa. A partir da análise desta matriz, o autor calcula o indicador de causa das anomalias  $I_c$ , através da equação 9:

equação 9

$$I_c = \frac{\sum_i^N = 1 \mu_{cj}}{\sum \mu_c}$$

<sup>12</sup> SILVESTRE, J. D. **Sistema de apoio à inspeção e diagnóstico de anomalias em revestimentos cerâmicos aderentes**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2005.

Onde:

$I_c$ : Indicador da importância relativa da causa de uma patologia  $i$ ;

$N$ : Quantidade de etapas analisadas;

$\mu_{ci}$ : Média dos índices das causas de ocorrência de uma patologia  $i$  em cada etapa;

$\mu_c$ : Média dos valores de  $\mu_{ci}$ , considerando todas patologias estudadas.

Santos (2018) explica que quanto maior o valor de  $I_c$ , maior a relevância destas causas no estudo da degradação, já que o indicador sintetiza a relevância de cada manifestação patológica, considerando suas possíveis causas. A Tabela 7 apresenta a síntese dos valores das etapas para o cálculo dos  $I_c$ .

Tabela 7 - Etapas para obtenção do indicador  $I_c$  (indicador da importância relativa da causa de uma patologia  $i$ ) propostas por Santos (2018)

Etapas		De.A	Fi.A	Pu.A	Ef.A	Ma.A	De.P	Fi.P	Bo.P
$\mu_{ci}$	CA	1,29	1,43	0,43	0,43	0,43	0,29	0	0,29
	CB	0,67	1,33	0,67	0,67	0,67	0,33	0	0,67
	CC	1,18	1,45	0,27	0	0	0,18	0,18	0,18
	CD	0	0,14	0,57	1,00	1,57	0,57	0,57	0,57
$\sum \mu_{ci}$		3,13	4,36	1,94	2,10	2,67	1,37	0,75	1,71
$\sum \mu_c$		18,03							
<b><math>I_c</math></b>		0,17	0,24	0,11	0,12	0,15	0,08	0,04	0,09

Manifestações patológicas das argamassas: Descolamento (De.A); Fissuração (Fi.A); Pulverulência (Pu.A); Eflorescência (Ef.A) e Manchas (Ma.A).

Manifestações patológicas das pinturas: Descolamento (De.P); Fissuração (Fi.P); Bolhas (Bo.P).

Causas: CA falhas de projeto; CB falhas herdadas (oriundas do substrato); CC falhas de execução; CD falhas de uso e manutenção.

(fonte: adaptado de Santos, 2018)

Pode-se observar que os maiores valores para as manifestações em argamassa foram os das fissuras, seguidas pelo descolamento, manchas, eflorescência e por último, pulverulência.

Para analisar a relação entre as manifestações patológicas e a queda de desempenho, Santos (2018) propõe outra matriz (Tabela 8) e o Indicador de importância relativa da queda de desempenho ( $I_d$ ) através da equação 10:

$$I_d = \frac{\sum_i^N = 1 d_{ki}}{d_{k \text{ total}}}$$

equação 10



Onde:

$I_d$ : Indicador da importância relativa da queda de desempenho de uma patologia  $i$ ;

$N$ : Número de patologias;

$d_{ki}$ : Índice da queda de desempenho de determinada patologia  $i$ ;

$d_{k\ total}$ : Soma dos valores de  $d_{ki}$  considerando todas patologias estudadas;

Tabela 8 -Matriz de correlação das patologias sobre a queda de desempenho e valores de  $I_d$  (indicador da importância relativa da queda de desempenho de uma patologia  $i$ )

Manifestações Patológicas	Queda de desempenho quanto à:			$\sum d_{ki}$	$\sum d_{k\ total}$	$I_d$
	Estrutura	Estanqueidade	Estética			
De.a	2	2	2	6	27	0,22
Fi.A	2	2	1	5		0,19
Pu.A	1	2	2	5		0,19
Ef.A	0	1	2	3		0,11
Ma.A	0	0	2	2		0,07
De.P	0	1	2	3		0,11
Fi.P	0	1	1	2		0,07
Bo.P	0	0	1	1		0,04

Manifestações patológicas das argamassas: Descolamento (De.A); Fissuração (Fi.A); Pulverulência (Pu.A); Eflorescência (Ef.A) e Manchas (Ma.A).  
 Manifestações patológicas das pinturas: Descolamento (De.P); Fissuração (Fi.P); Bolhas (Bo.P).

(fonte: adaptado de Santos, 2018)

Nesta análise, percebe-se que a ordem decrescente dos valores indica que descolamento é a manifestação de maior impacto, seguido pela fissura e pulverulência que apresentaram igualdade de valores. Na sequência estão as eflorescências e por último as manchas.

Santos (2018) explica que as manifestações patológicas em pintura não causam de forma direta queda de desempenho estrutural na edificação, mas estão muito relacionadas a danos superficiais e estéticos. O autor ainda destaca o descolamento de argamassa como o maior causador de perda de desempenho, já que afeta todos os aspectos analisados de forma significativa.

A partir dos valores de  $I_c$  e  $I_d$ , Santos (2018) propõe os valores de  $K_{c(n)}$  pela equação 11:

$$K_{cn} = \frac{I_c \cdot I_d}{\max(I_c, I_d)}$$

equação 11

Onde:

$I_c$ : indicador relacionado a causas de cada anomalia;

$I_d$ : indicador relacionado a queda de desempenho causado pela anomalia;

A Tabela 9 apresenta os valores de  $I_c$ ,  $I_d$  e o resultado para  $K_{c(n)}$  como a importância relativa das manifestações patológicas propostos por Santos (2018):

Tabela 9 - Constante de ponderação da importância relativa das anomalias detectadas ( $K_{cn}$ ) para as manifestações patológicas estudadas por Santos (2018)

Indicadores	De.A	Fi.A	Pu.A	Ef.A	Ma.A	De.P	Fi.P	Bo.P
<b>Ic (Tabela 7)</b>	0,17	0,24	0,11	0,12	0,15	0,08	0,04	0,09
<b>Id (Tabela 8)</b>	0,22	0,19	0,19	0,11	0,07	0,11	0,07	0,04
<b>IcxId</b>	0,039	0,045	0,020	0,013	0,011	0,008	0,003	0,004
<b>Kcn</b>	0,86	1,00	0,44	0,29	0,24	0,19	0,07	0,08
Manifestações patológicas das argamassas: Descolamento (De.A); Fissuração (Fi.A); Pulverulência (Pu.A); Eflorescência (Ef.A) e Manchas (Ma.A).								
Manifestações patológicas das pinturas: Descolamento (De.P); Fissuração (Fi.P); Bolhas (Bo.P).								

(fonte: adaptado de Santos, 2018)

Percebe-se que, a partir do  $K_{c(n)}$  proposto por Santos (2018), a ordem decrescente da importância relativa das manifestações patológicas coloca as fissuras como as mais importantes, seguidas pelo descolamento, pulverulência, eflorescência e manchas. Através dos valores é perceptível que fissuras e descolamento representam valores muito acima das demais manifestações, demonstrando que seus impactos na degradação dos revestimentos são muito superiores aos da pulverulência e demais manifestações, sendo que o destaque principal são as fissuras no revestimento de argamassa. Ainda é possível observar que qualquer valor para pintura é inferior aos resultantes das argamassas, sendo o de maior valor o descolamento, formação de bolhas e por último as fissuras. É importante ressaltar a distância entre os valores do descolamento de pinturas para as outras duas manifestações, demonstrando que o descolamento impacta de forma muito mais intensa.

Com estes valores dos coeficientes de ponderação, Santos (2018) calcula o FGD para 6 edificações, com 60 amostras no total, conforme a Tabela 10:

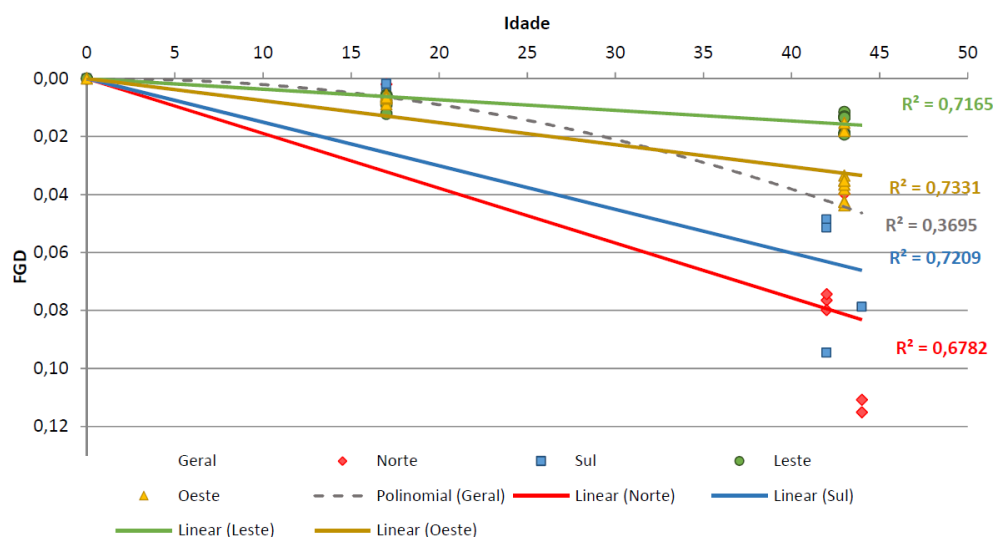
Tabela 10 - Relação das quantidades de amostras de Santos

Identificação	Idade	Quantidade de amostras				
		N	S	L	O	Total
Ed.1	17	1	1	6	6	14
Ed.2	17	1	1	3	3	8
Ed.3	43	1	1	7	7	16
Ed.4	43	3	3	1	1	8
Ed.5	43	1	1	3	3	8
Ed.6	44	3	3	-	-	6
<b>Total</b>		10	10	20	20	60

(fonte: Santos, 2018)

Com os FGDs calculados, Santos (2018) apresenta as curvas de degradação. A Figura 38 - Comportamento da degradação para diferentes orientações ao longo do tempo (Fator Geral de Danos vs. Idade) permite compreender como a degradação evolui conforme a idade para cada orientação cardinal, excluindo os resultados espúrios.

Figura 38 - Comportamento da degradação para diferentes orientações ao longo do tempo (Fator Geral de Danos vs. Idade)



(fonte: Santos, 2018)

Devido a grande diferença de idade das amostras, os resultados não são muito adequados, os quais podem melhorar quando o banco de dados for composto por edificações com idades intermediárias. No entanto, como esperado, a degradação aumenta conforme a idade, e de forma diferente para cada orientação, já que as solicitações provocadas pelos agentes agressivos são

diferentes. A partir das curvas, percebe-se que entre as orientações cardeais, a Norte apresentou os maiores valores de degradação, seguida pela Sul, Oeste e por último a Leste.

Quando Santos (2018) apresenta a curva geral da degradação (polinômio geral) através da Figura 38 permite perceber que o FGD geral para as amostras estudadas é de 0,011 para edifícios com 20 anos e de 0,039 para 40 anos. E que, como esperado, traduz-se na perda de desempenho ao longo do tempo. O autor destaca essas idades devido às exigências da ABNT NBR 15575-1 (2013a) de vida útil das fachadas, sendo 20 anos para revestimentos aderentes e 40 anos para os Sistemas de Vedação Vertical Externo (SVVE). Se analisar por orientação cardeal, há bastante diferença, sendo os valores expostos na Tabela 11.

Tabela 11 – Valores de Fator Geral de Danos por orientação cardeal para 20 e 40 anos.

Idade	FGD				
	Geral	Norte	Sul	Oeste	Leste
20 anos	0,011	0,038	0,030	0,016	0,008
40 anos	0,039	0,076	0,060	0,032	0,016

(fonte: Santos, 2018)

Estas discrepâncias de valores demonstram a importância do tratamento diferenciado para cada orientação cardeal, tanto na avaliação da tendência da degradação, quanto na forma que estas deveriam receber projetos e cuidados diferenciados, de forma que todas atinjam igualmente as exigências de desempenho no período estipulado de vida útil.

### 2.3.1 IMPACTOS DA TEMPERATURA E DA CHUVA DIRIGIDA NOS REVESTIMENTOS EXTERNOS

Entendendo a importância de mensurar os impactos diferenciados dos agentes agressivos, Nascimento (2016) propõe o Índice de intensidade de temperatura (*Iit*), Souza (2019) propõe o Fator de Impacto de Chuva (*FIC*). Para calcular estes indicadores, é necessário realizar primeiro a simulação higrotérmica através do WUFI®, que proporciona os dados necessários para calcular os índices.

O *Iit*, conforme Nascimento (2016) pondera as frequências e valores de temperaturas alcançadas nos elementos do SVVE. Para isso, extrai-se da simulação higrotérmica os valores de temperatura superficial externa da camada de revestimento. Na sequência, classificam-se as

variações térmicas superficiais diárias no ano típico - no período de estabilização dinâmica, - em 4 faixas, assim como. Para definição das faixas, adotaram-se como extremos o  $\Delta T$  diário máxima e o  $\Delta T$  diário mínimo encontrados, considerando todas as orientações solares. Com os valores, divide-se em 4 intervalos iguais entre estes extremos, determinando as 4 faixas que possibilitam calcular o  $I_{it}$  para o edifício em estudo, de acordo com a equação 12:

**equação 12**

$$I_{it} = \sum \left( \frac{\Delta T_{\text{médio}} \times f_n}{f_{\text{total}}} \right)$$

*Onde:*

$I_{it}$ : Índice de intensidade da temperatura;

$\Delta T$ : média da amplitude na faixa de ocorrência n correspondente (°C);

$f_n$ : frequência de ocorrência na faixa n (sendo que n varia de 1 a 4);

$f_{\text{total}}$ : frequência de todas as ocorrências nas quatro faixas, igual a 365.

A partir dos valores de  $I_{it}$ , determina-se o  $I_{it\text{total}}$  da edificação, que resulta da multiplicação do  $I_{it}$  pela idade do edifício, conforme a equação 13 (NASCIMENTO, 2016).

**equação 13**

$$I_{it\text{total}} = i \times I_{it}$$

*Onde:*

i: idade do edifício;

$I_{it}$ : índice de intensidade da temperatura;

Para definir parâmetros de projetos de vedações baseados no desempenho e prevenção de danos relacionados à umidade, diversos estudos em diferentes países, buscaram determinar as características da chuva dirigida e a exposição dos edifícios a este agente, como Pérez-Bella (2013) na Espanha, Sauer (1987) na China, Chand e Bhargava (2002) na Índia, Sahal (2006) na Turquia e Giarma e Aravantinos (2011) na Grécia. Isso demonstra a importância que a umidade nos elementos construtivos, causada pela chuva dirigida, tem em relação a degradação destas vedações.

O FIC (Fator de Impacto da Chuva), proposto por Souza (2019), representa o índice de umidade mensurado a partir da ação climática. O software WUFI® calcula a chuva dirigida considerando

a precipitação, velocidade e direção e disposição de dados horários relacionados a esses parâmetros, conforme a equação 14:

$$R_{wdr} = Rh \times (R1 + R2 \times V10 \times \cos\theta)$$

**equação 14**

*Onde:*

$R_{wdr}$ : quantidade de chuva dirigida em mm/h;

$Rh$ : intensidade de precipitação horizontal em mm/h;

$R1$ : coeficiente dependente do tipo de elemento construtivo;

$R2$ : coeficiente dependente da localização da fachada em s/m;

$V10$ : coeficiente dependente do tipo de elemento construtivo;

$\theta$ : ângulo entre a direção do vento e a normal à parede em °.

Para o cálculo do FIC é necessário extrair da simulação higrotérmica os valores de teor de umidade resultantes da chuva dirigida, na camada de revestimento externo de argamassa SVVE de cada orientação cardinal. Os valores dos teores de umidade consideram o dia com maior precipitação acumulada, dentro do mês com máxima precipitação acumulada, no ano típico após estabilização dinâmica da simulação higrotérmica. Para o cálculo do FIC é utilizada a equação 15, proposta por Souza (2019).

$$FIC = \frac{(\text{máx}_{t_1 \leq T \leq t_2+5} H(T))}{H(t_1 - 1)}$$

**equação 15**

*Onde:*

FIC: fator de impacto da chuva;

H: teor de umidade (kg/m<sup>3</sup>);

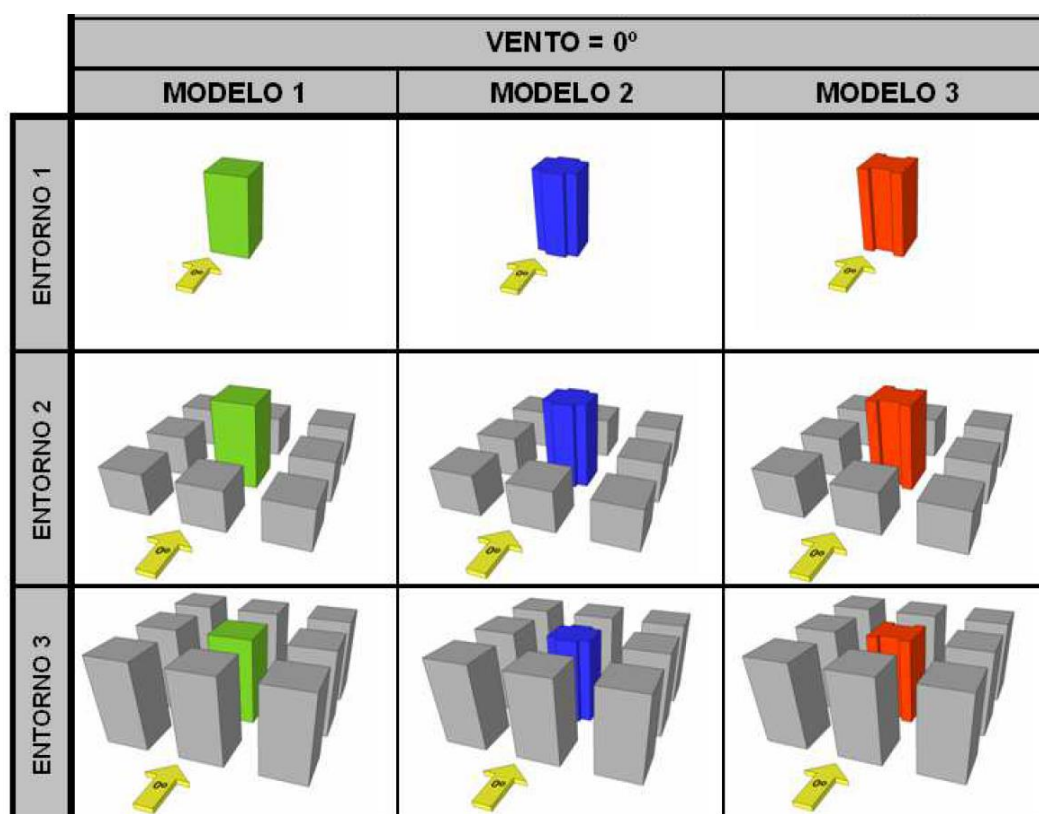
T: período de estudo da precipitação da chuva dirigida na fachada (horas), sendo  $t_1$  o horário de início da precipitação e  $t_2$  o horário de fim da precipitação;

A equação do FIC representa, portanto, a divisão do teor máximo de umidade do momento de início até 5 horas após o fim do período de precipitação, pelo teor de umidade na hora antecedente ao início.

Além de compreender o impacto da chuva, é importante salientar que as regiões da fachada estão expostas à chuva dirigida de forma desigual. Para compreender como é esta exposição,

Poyastro (2011) realizou análises de modelos reduzidos de edificações, ensaiados em túnel de vento com aspersão da água para formação da chuva dirigida em escala. Foram três modelos de planta - forma quadrada, forma de cruz e forma de H - com 3 situações de entorno - a primeira sem edificações próximas, a segunda com edificações no entorno, de altura igual à metade da altura do prédio principal e a terceira com edificações de mesma altura à do prédio principal -, como ilustrado na Figura 39.

Figura 39 – Formas de edificação e situações de entorno estudadas por Poyastro (2011)



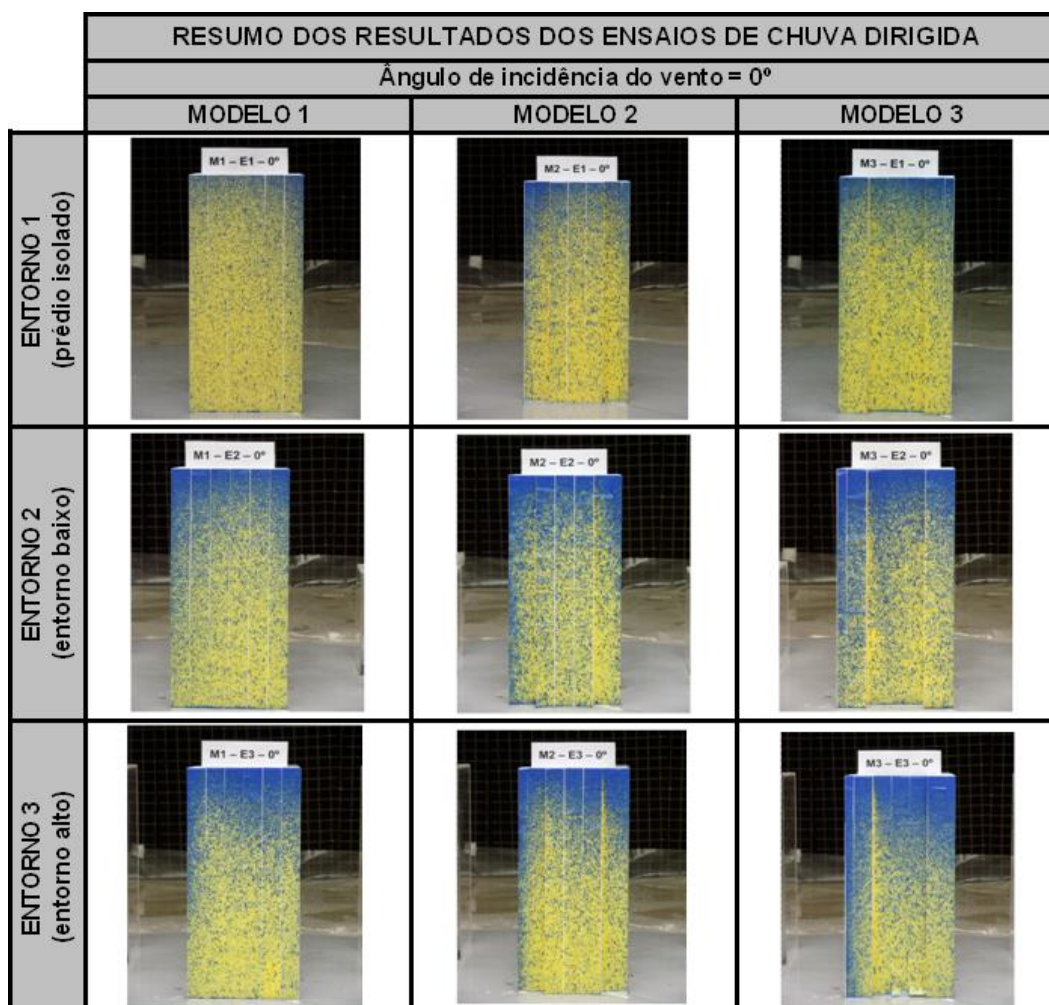
(fonte: adaptado de Poyastro, 2011)

Poyastro (2011) revestiu as maquetes com um papel especial sensível à água, que muda de cor, indo do amarelo, quando seco, para o azul, de forma imediata, ao umedecer. Além disso, não permite que as gotas se espalhem nem borrem no papel, possibilitando que fossem visualizadas apenas as áreas realmente afetadas pela chuva dirigida.

Após os testes, é possível observar, através da Figura 40, que os cantos e o topo dos modelos foram as regiões mais afetadas pelo molhamento em todos os casos, o que corrobora com Blocken, Derome e Carmeliet (2013), que analisaram diversos estudos sobre o escoamento da água da chuva nas fachadas e constataram que o umedecimento não é uniforme, sendo mais

intenso nos cantos e bordas superiores. No entanto, a extensão de área molhada modifica-se conforme se altera o entorno, sendo que, quanto mais altas são as edificações ao redor do modelo analisado, maior é a área molhada.

Figura 40 – Resultados dos ensaios de chuva dirigida quando o ângulo de incidência do vento é igual a 0°



(fonte: adaptado de Poyastro, 2011)

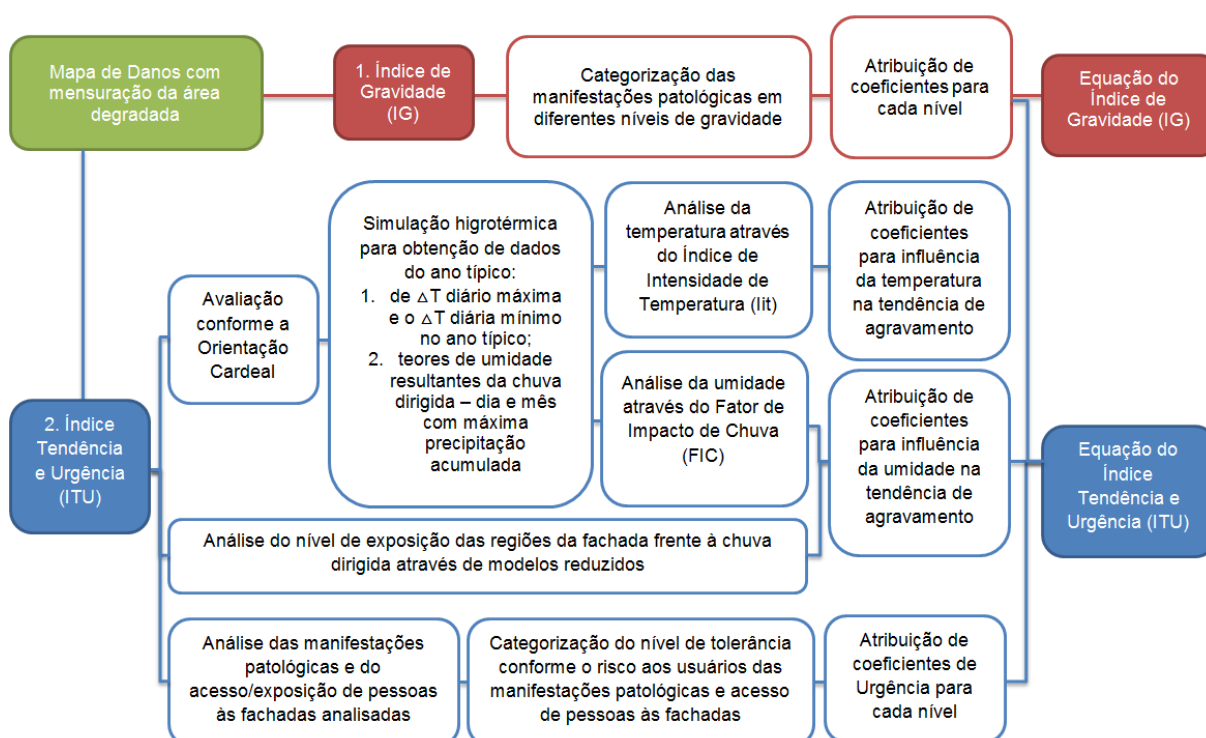
A partir do Iit e FIC e do trabalho de Poyastro (2011) é possível compreender quais as orientações cardiais e regiões das fachadas das edificações estão mais suscetíveis às agressões de agentes climáticos.



### 3 MÉTODO PROPOSTO

Este trabalho pretende propor um método de análise da degradação de fachadas com revestimento de argamassa de forma a auxiliar os gestores das edificações no acompanhamento das manifestações patológicas e na tomada de decisão das intervenções. O presente método baseia-se em dois indicadores, o primeiro para calcular o índice de gravidade (IG) em que se encontram as partes (amostras) das fachadas com revestimento de argamassa, e o segundo para calcular o índice de tendência de agravamento e urgência em intervir (ITU). Para isso é necessário ter, previamente, o mapa de danos completo das fachadas a serem analisadas, e a mensuração da área degradada por cada manifestação patológica. As manifestações podem ser diagnosticadas e mensuradas através de métodos abordados na revisão bibliográfica deste trabalho (capítulo 2). A partir do mapa de danos e da mensuração de danos pode-se dar prosseguimento para as demais etapas, conforme a Figura 41.

Figura 41 – Etapas que compõem a proposta dos indicadores: Índice de Gravidade (IG) e Índice de Tendência e Urgência (ITU).



As etapas para calcular o Índice de Gravidade (IG) e o Índice de Tendência e Urgência (ITU) serão detalhadas a seguir.

### 3.1 ÍNDICE DE GRAVIDADE

Para definição deste índice, inicialmente estabeleceu-se três níveis de gravidade: máximo, intermediário e baixo. Os níveis intermediário e baixo apresentam subdivisões em classes, de forma que, no total, categorizaram-se as manifestações patológicas em cinco níveis de gravidade. Para este trabalho, o entendimento de fim da vida útil de um revestimento de argamassa será quando a única solução para o sistema de vedação é a substituição do revestimento. Considerando que gravidade de uma manifestação patológica é a intensidade que esta pode causar sobre a perda de desempenho do revestimento de argamassa, baseado na revisão bibliográfica apresentada neste trabalho, entende-se que o grupo de manifestações patológicas mais graves é aquele que leva o revestimento a perda de suas funções de forma irreversível, sendo a substituição do revestimento como a solução apontada para o problema. Demais manifestações patológicas que permitam algum tipo de reparo que promova o retorno do desempenho das funções do revestimento serão consideradas menos graves, já que não é necessário substituir o revestimento, apenas intervir, para que o mesmo desempenhe suas funções de forma plena. A partir desse entendimento, categorizaram-se as manifestações patológicas em cinco níveis de gravidade, onde se traçou uma linha de gravidade, das mais graves para as menos graves, conforme as explicações a seguir:

#### 3.1.1 NÍVEL MÁXIMO DE GRAVIDADE

O revestimento descolado não desempenha mais sua função de proteção do sistema de vedação vertical, pois permite a maior exposição para a entrada de agentes agressivos, colocando em risco os usuários e seu entorno, caso ocorra uma queda desse revestimento (GASPAR; BRITO, 2013), e, quando ocorre, geralmente o revestimento é substituído. Dessa forma, consideram-se as manifestações patológicas do grupo de perda de aderência como o nível máximo de gravidade. A perda de aderência pode ocorrer por deslocamento ou descolamento, sendo diversas as causas, como falhas de execução que não permitiram a criação de vínculos entre as camadas do revestimento e o substrato; utilização de materiais inadequados ou proporcionamento incorreto; movimentação excessiva da base; criptoflorescência decorrente da precipitação de sais solúveis que migram pelos poros dos materiais e se depositam entre as camadas do revestimento e substrato com aumento de volume e provocando o descolamento das camadas do sistema; movimentações higrotérmicas; biodeterioração macro (raízes, formigueiro entre outros que provoquem o descolamento do revestimento).

### 3.1.2 NÍVEL INTERMEDIÁRIO DE GRAVIDADE

São classificadas como nível intermediário de gravidade, as manifestações patológicas que podem levar ao nível máximo de gravidade, ou seja, podem provocar a perda de aderência. São consideradas intermediárias, uma vez que ainda aceitam intervenções para evitar a substituição do revestimento. Nesse grupo estão contempladas manifestações do grupo de umidade, eflorescências e fissuras, explicadas e categorizadas a seguir.

O nível intermediário foi dividido em três classes, dependendo da causa e da consequência em relação ao desempenho. Na primeira classe são as manifestações de nível intermediário com solução pontual e com causa ou origem controlável. As de classe 2 são manifestações que permitem solução, e que são porta de entrada para agentes agressivos. Uma vez não controladas, estas manifestações patológicas podem evoluir rapidamente para nível de gravidade máximo. A classe 3 são manifestações que ainda não atingem o nível máximo de degradação (perda de aderência), mas podem evoluir para este nível, e a causa ou origem não são controláveis e devem ser prevenidas em nível de projeto e boas práticas de execução.

Ao analisar as manifestações patológicas, percebe-se que umidade das edificações é um problema grave, pois diminui o desempenho do ponto de vista térmico e pode ter consequências muito sérias como abertura de fissuras no caso de movimentações higrotérmicas e ainda perda de aderência do revestimento, bem como danos à estrutura de concreto armado. Além disso, é a causa de grande parte das manifestações patológicas encontradas nos revestimentos de argamassa (e da edificação como um todo), por isso problemas de umidade devem ser tratados como problemas graves, mas não no mesmo nível da perda de aderência, já que podem ocorrer intervenções que eliminem o problema antes de ocorrer a evolução para outras manifestações que promovam o desprendimento do revestimento.

A umidade pode causar alterações de tonalidade do revestimento, mas diferente de outros tipos de manchas, como sujidade e biodeterioração, não pode ser removida com limpeza ou pintura. A umidade pode se manifestar de forma permanente ou não, e as intervenções para sua solução podem ser diversas, como visto da revisão bibliográfica (FREITAS; TORRES; GUIMARÃES, 2008; HENRIQUES, 2007; MARINHO, 2014). Assim, dentro do nível de gravidade intermediário, entende-se que dependendo da origem da umidades devam estar em classes distintas., quais sejam:

- a) umidade exigem soluções mais complexas, onde a fonte de umidade é permanente ou não controlável, que devem ser prevenidas pelo projeto e boas práticas de execução são classificadas como Classe 3. Exemplo: umidade por condensação, umidade ascensional, umidade por infiltração da água da chuva.
- b) umidade de solução pontual, ou que não tem fonte permanente de água são classificadas como Classe 1. Exemplo: umidade de obra, que necessita de tempo de secagem e a fonte já não atua mais sobre a edificação; e a umidade acidental, que logo que diagnosticada, ocorre a intervenção, não atuando mais sobre a edificação.

Vale ressaltar que, mesmo os tipos de umidade em nível baixo de gravidade, se não tratadas as causas e as consequências, podem evoluir para níveis mais altos de degradação.

Nos níveis intermediários de gravidade também se encontram as fissuras. Por entender que as fissuras em revestimentos evoluem para manifestações patológicas mais graves quando há sinergia com outras manifestações patológicas, elas são classificadas em uma classe intermediária, entre os dois grupos de umidade, assim classificadas como Classe 2. As fissuras são problemas graves já que são consequências de movimentações diferenciais do revestimento onde houve o rompimento de parte de suas ligações. Muitas vezes a solução não é pontual, e a causa da fissura é complexa de ser determinada, sendo causada por diversos fatores. São sinais de que algum problema causou estes rompimentos e, caso não solucionado, pode ter como consequência a perda de aderência entre outros problemas. Esta manifestação por si só não causa maiores danos, mas é a porta de entrada de agentes agressivos, como a umidade.

Junto à classe das de fissuras, ainda encontram-se as eflorescências, vesículas e o desgaste superficial do revestimento de argamassa deixam o revestimento mais suscetível para a entrada de agentes agressivos, assim como as fissuras, podendo ser agravadas. No entanto, é possível intervir, de forma a devolver as funções do revestimento.

### 3.1.3 NÍVEL BAIXO DE GRAVIDADE

As manifestações com solução simples, que não levam a problemas mais graves, são consideradas manifestações com menor nível de gravidade. Nesse grupo encontram-se a maioria das manchas, que podem ser entendidas como as menos graves. São os primeiros sinais que há algum problema na edificação, no entanto, sua evolução não leva diretamente à perda de aderência, sem antes passar pelos estágios dos grupos intermediários, como fissuras,

eflorescências, desgastes superficiais e umidade. As intervenções em manchas podem ser tratadas devolvendo as funções do revestimento, além de não apresentarem grandes riscos de segurança aos usuários.

As manchas são percebidas através das alterações de cor ou tom e podem ser removidas ou solucionadas através de limpeza ou pintura. Apesar de ser comum a classificação da umidade como uma mancha, já que se percebe através da mudança do tom do revestimento, neste trabalho propõe-se que na categoria Manchas não esteja inclusa as manchas causadas por umidade por se tratar de uma das causas de diversas outras manifestações patológicas existentes no revestimento de argamassa, como visto no item 2.2.3 da revisão bibliográfica deste trabalho (PEREIRA; BRITO; SILVESTRE, 2018).

Da mesma forma que o nível intermediário de gravidade, dividiu-se o nível baixo de gravidade em duas categorias, porém estas baseadas na capacidade de provocar outros danos ou não, quais sejam:

- Manchas ativas - que podem levar a outros danos quando não tratadas, por exemplo, biodeterioração, crosta negra, sujidade e *fantomes* (fantasmas).
- Manchas passivas - não apresentam tendências de deterioração ou aumento de danos ao revestimento, como por exemplo, as pichações, desbotamento e alterações de cor devido a incidência solar, ou ainda, pingos de tinta;

A partir da revisão bibliográfica e com base nos critérios descritos anteriormente, dos níveis de gravidade, foram propostos coeficientes de gravidade (kn) para cada manifestação patológica, a partir da divisão em cinco níveis de gravidade:

- o nível máximo de gravidade, em que o revestimento não encontra-se mais aderido, necessitando a substituição;
- o nível intermediário de gravidade, o qual foi subdividido em três classes:
  1. umidade que não tem fonte permanente de água e de solução pontual; fissuras, eflorescências, vesículas;
  2. fissuras, eflorescências, vesículas; e

3. e umidade com fonte de água permanente ou não controlável, que exigem soluções mais complexas, e que devem ser prevenidas pelo projeto e boas práticas de execução
- o nível baixo de gravidade, onde encontram-se a maioria das manchas e manifestações patológicas de simples solução, que não levam a manifestações do nível máximo de gravidade sem antes passar pelo nível intermediário.

Os níveis propostos vão ao encontro do constatado por Gaspar e Brito (2011) que avaliaram 100 fachadas com revestimento de argamassa e verificaram que fissuras e manchamentos não são decisivos para determinar o limite de durabilidade destes revestimentos. Que as manchas indicam perda de desempenho, mas não comprometem os requisitos mais importantes dos revestimentos externos e geralmente estão associadas à degradação menos severa. O estudo ainda apontou que não há um padrão de degradação para fissuras, sendo que estas podem surgir nos revestimentos de argamassa independente de sua idade, sendo que em pequenas idades seguidamente estão associadas a perda de volume devido a retração por secagem. Os autores ainda afirmam que quando as fissuras podem ser vistas a olho nu, geralmente correspondem a nível de degradação médio, o que aumenta o nível de degradação das fachadas, mas não atingindo o estado limite de durabilidade. Assim como nesta pesquisa, os autores consideram que as fissuras são mecanismos de degradação no momento em que permitem a penetração da água no revestimento, o que pode contribuir para o aumento da degradação e surgimento de manifestações patológicas como eflorescências ou ainda perda de aderência entre o revestimento e a parede, que então, segundo os mesmos autores, afeta diretamente o desempenho, correspondendo ao limite de durabilidade dos revestimentos de argamassa.

A ISO 15686-8 (2008) recomenda que quando as informações não puderem ser quantitativas, deve ser feita uma classificação qualitativa (Tabela 12), correspondendo ao grau de consição em uso, de forma que a classificação seja um meio de quantificar informações. Caso não existam informações quantitativa ou qualitativa, é indicado pelo grau 0 e, se a categoria de fator não é aplicável, é indicada por NA.

Tabela 12 - Tradução da Tabela 1 da ISO 15686-8, com exemplo das notas e descrição das informações qualitativas.

Notas das condições de uso	Descrição (nível/efeito)	Diretrizes
0	Não disponível/	Nunca deve ser aplicado para a categoria de fator “nível de desempenho inerente”
1	Muito grave/ muito leve	
2	Grave/ leve	
3	Normal	
4	Leve/grave	
5	Muito leve/ muito grave	
N.A.		Não deve ser normalmente aplicado. Um caso em que pode ser apropriado designar o grau como N.A. está sob categoria de fator “nível de manutenção”, quando se trata de um elemento estrutural para o qual a manutenção não é possível.

(fonte: tradução 15686-8 (2008))

Deste modo, buscou-se classificar as manifestações nos 5 níveis sugeridos pela ISO 15686-8 (2008), e distribuir valores de gravidade dentro do intervalo entre 0,2 e 1, assim o valor de  $k_{\text{máx}}$  (coeficiente de gravidade máximo) será sempre igual a 1 e manifestações que não apresentam riscos de deterioração ou aumento de danos a edificação não possuem valor atribuído. A diferença entre os valores dos coeficientes de cada nível foi mantida em a mesma já que não há como mensurar o quanto uma manifestação impacta em relação a outra. Dessa forma, os níveis de gravidade, conforme, bem como os valores dos coeficientes são conforme o Quadro 2:

Quadro 2 - Níveis de gravidade das manifestações patológicas em revestimentos de argamassa e valores do coeficiente de gravidade  $k_n$  propostos

Nível	Grupo das manifestações patológicas	Exemplos	Coeficiente (K <sub>n</sub> )
-	Manchas passivas - não apresentam tendências de deterioração ou aumento de danos ao revestimento.	Pichações, desbotamento e alterações de cor devido a incidência solar, ou ainda, pingos de tinta.	-

(continua)

			(conclusão)
1	Manchas ativas - que podem levar a outros danos quando não tratadas.	Manchas por biodeterioração, crosta negra e sujidade, fantomes(fantasma).	0,2
2	Umidade pontual, sem fonte permanente de água.	Umidade de construção (obra) e umidade devida a causas fortuitas (acidental).	0,4
3	Fissuras e desgastes superficiais, que sirvam de abertura para o acesso de agentes agressivos; Eflorescências (depósitos salinos superficiais) -deixam o revestimento mais suscetível, mas não sem a ocorrência da perda de aderência.	Englobam todos os tipos de fissuras, desgastes superficiais (vesículas, desagregações por agentes biológicos) e manchas por eflorescências.	0,6
4	Umidade permanente ou com ocasional com fonte de umidade não controlável.	Umidade por condensação, devido a fenômenos de higroscopicidade, umidade ascensional, umidade por precipitação.	0,8
5	Perda de aderência	Engloba todos os tipos de perda de aderência como quebras, descolamentos, deslocamentos que podem ocorrer por incompatibilidade dos materiais, por expansão da argamassa; a criptoflorescência; a biodeterioração macro (raízes, formigueiro entre outros que provoquem o descolamento do revestimento).	1

(fonte: elaborado pela autora)

A partir do exposto, propõem-se o cálculo do índice de gravidade (IG). Este indicador considera a área total da amostra, em m<sup>2</sup>, coberta pelo revestimento de argamassa; a área de amostra afetada pela manifestação patológica constatada, em m<sup>2</sup>, que também deve considerar apenas a área opaca, ou seja, a área revestida pelo revestimento de argamassa; um coeficiente relacionado à gravidade da manifestação patológica (k<sub>n</sub>), e o coeficiente da condição mais elevada da degradação de uma fachada de área, conforme equação 16:

$$IG = \frac{\sum(A_n \times k_n)}{A_t \times k_{m\acute{a}x}}$$

**equação 16**

Onde:

IG: Índice de Gravidade;



$A_n$ : área da amostra afetada por uma manifestação patológica  $n$ ;

$k_n$ : coeficiente relacionado à gravidade da manifestação patológica-  $k_n \in \{0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1\}$ ;

$k_{m\acute{a}x}$ : nível de condição mais elevada da degradação de uma fachada de área  $A$  {1};

$A_t$ : área total revestida por argamassa.

Por exemplo, em uma edificação com uma amostra de 20m<sup>2</sup> de revestimento de argamassa, onde tenha sido constatado durante o levantamento de danos as seguintes manifestações patológicas: 10m<sup>2</sup> manchamento por sujidade; 5m<sup>2</sup> de fissuras; 2m<sup>2</sup> de umidade ascensional; 1m<sup>2</sup> de deslocamento de argamassa:

$$IG = \frac{\sum(A_n \times k_n)}{A_t \times k_{m\acute{a}x}}$$

$$IG = \frac{(10 \times 0,2) + (5 \times 0,6) + (2 \times 0,8) + (1 \times 1)}{20 \times 1}$$

$$IG = \frac{2 + 3 + 1,6 + 1}{20}$$

$$IG = \frac{(10 \times 0,2) + (5 \times 0,6) + (2 \times 0,8) + (1 \times 1)}{20 \times 1}$$

$$IG = 0,38$$

É importante entender que este valor não significa que 38% da área da amostra contém algum tipo de manifestação patológica, já que elas podem estar sobrepostas, mas é um valor que auxilia na comparação com outros que podem inclusive ter mais áreas degradadas, no entanto com manifestações mais brandas. Quanto maior este valor significa que a amostra está mais danificada, seja pelo aumento da extensão ou aumento da gravidade da manifestação patológica.

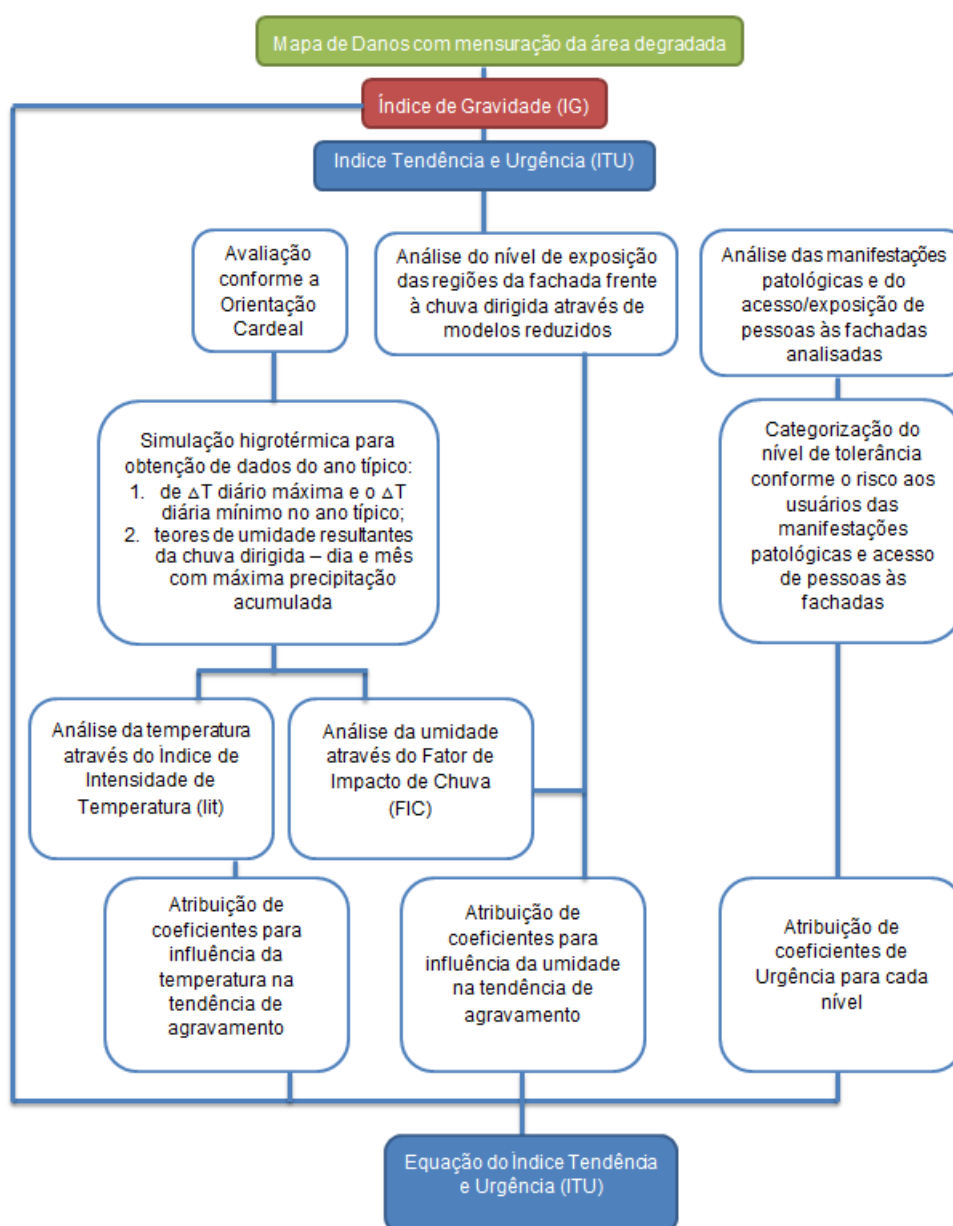
Este valor é um índice relacionado à gravidade no momento da vistoria, um valor para a comparação entre as amostras da fachada. Não considera um possível agravamento. Pode ser considerada uma fotografia do estado em que se encontra, com os pesos relativos das manifestações encontradas. Pode ser utilizado para vistorias periódicas que comparem a evolução da degradação das fachadas com o tempo.

### 3.2 TENDÊNCIA E URGÊNCIA

Assim como um índice que aponte o estado de gravidade em que se encontra uma fachada degradada, entende-se que é igualmente importante um indicador que auxilie no prognóstico,

ou seja, que aponte as amostras mais susceptíveis à evolução da degradação da fachada se nenhuma intervenção for realizada, ou seja, com maiores tendências de agravamento do problema existente, indicando quais são as amostras que necessitam receber intervenções de forma mais urgentes para a segurança dos usuários. Para isso, a seguir será explicada a análise da tendência e urgência, bem como as etapas (Figura 42) para compor a equação que calcula este indicador.

Figura 42 – Etapas que compõem a proposta do Índice de Tendência e Urgência (ITU), após a determinação do Índice de Gravidade (IG).



A partir do referencial teórico, percebe-se que os agentes agressivos que impactam sensivelmente os revestimentos das edificações são a incidência solar e a umidade de

infiltração, proveniente da água da chuva. As fachadas possuem diferentes solicitações de temperatura e umidade conforme a orientação cardeal, já que tanto os raios solares quanto a água da chuva incidem sobre a fachada de forma distinta conforme a orientação e são grandes influenciadores no comportamento higrotérmico das paredes no envelope da edificação (ABDUL HAMID; WALLENTÉN, 2017). O resultado da ação destes agentes pode ser mensurado através de simulações higrotérmicas em diferentes softwares para as diferentes orientações cardiais.

No entanto, também se sabe que existem regiões da fachada mais expostas à ação da chuva dirigida, e, portanto, mais susceptíveis à degradação pela ação desta umidade. Assim, quando se analisa a tendência de uma região ao agravamento das manifestações patológicas, além de impacto pela mensuração da umidade, conforme a orientação cardeal, é importante diferenciar as regiões das fachadas mais expostas a este fenômeno. Diversos autores analisaram que algumas regiões possuem maiores quantidades de incidência de manifestações patológicas, e, por isso, dividiram as fachadas por regiões, como Gaspar e Brito, (2005), Antunes, (2010), Silva *et al.* (2014) e Pinheiro (2016). Assim, neste trabalho considera-se que uma manifestação patológica tem um nível de gravidade fixo, conforme o Quadro 2, mas dependendo da região em que for diagnosticada e a orientação cardeal, poderá ter maior ou menor tendência para evoluir para outras manifestações com maior gravidade.

Como Gaspar e Brito (2011) afirmam, é importante considerar os efeitos sinérgicos dos mecanismos de degradação, já que uma manifestação patológica pode levar a uma outra de maior gravidade. Este fato foi considerado para a proposta dos níveis de gravidade das manifestações patológicas e, assim, cálculo do IG. No entanto, os autores explicam que se identifica critérios subjetivos em relação a estética e propriedades visuais das fachadas, sendo que os proprietários, usuários ou gestores, geralmente tomam consciência da degradação no momento em que as fachadas envelhecem e a deterioração aumenta, permitindo a perda gradual do desempenho. Os autores ainda explicam que a tomada de decisão pela intervenção pode ser imediata ou adiada conforme a percepção dos danos.

Pereira *et al.* (2020) referem-se à urgência do reparo como um conceito de valor estético onde considera que o mesmo defeito em superfícies diferentes deve ter diferentes níveis de urgência de reparo, conforme a fachada, sendo que para as mais visíveis ou hierarquicamente mais importantes devem ser considerados mais urgentes que as fachadas secundárias. No entanto, considerar uma fachada mais importante, ou atribuir à urgência a valor estético é bastante

subjetivo e recai ao julgamento e valor de uma população, não podendo ser aplicável sem julgamentos de valor.

Ainda é importante ressaltar que, para uma tomada de decisão de um gestor, acima de tudo deve estar a segurança dos usuários. Desta forma, este trabalho analisa a urgência em intervir sob este aspecto, do risco aos seres que possam se aproximar das fachadas em estudo. Para isso, devem ser consideradas as manifestações patológicas presentes na amostra de fachada analisada, se há maiores ou menores riscos de queda, e qual o acesso dos usuários às proximidades desta área da edificação.

A seguir será explicado como são realizadas as análises do impacto da temperatura e umidade da chuva, das regiões de fachada expostas à chuva dirigida, bem como da segurança que interferirá na urgência em intervir.

### 3.2.1 AVALIAÇÃO CONFORME A ORIENTAÇÃO CARDEAL

Para analisar as fachadas conforme as orientações cardeais, avaliam-se os impactos da temperatura e da chuva dirigida sobre cada orientação cardinal. Para isso, é necessária uma forma de mensurar a temperatura atingida pela superfície do revestimento bem como o teor de umidade durante o ano típico e após a umidade e temperatura da parede estabilizar (após a estabilização dinâmica). Essa avaliação é feita através de software de simulação higrotérmica, a qual neste trabalho sugere-se o WUFI®, no entanto pode ser utilizado outro software, desde que seja validado e que forneça os dados de saída necessários para o cálculo Índice de intensidade de temperatura (Iit), conforme Nascimento (2016), que pondera as frequências e valores de temperatura atingidas nas diferentes camadas do SVVE, e o Fator de Impacto de Chuva (FIC), baseado em Souza (2019), que é um índice que representa a umidade mensurada a partir da ação climática.

Conforme Nascimento (2016), para determinação do Iit, devem ser extraídos da simulação higrotérmica os valores de temperatura superficial externa do revestimento externo. Com os valores, devem ser calculadas as variações térmicas superficiais diárias ( $\Delta T$ ) no ano típico de simulação e classificadas em 4 faixas. Para a definição dessas 4 faixas, devem ser adotados como extremos o  $\Delta T$  máximo diário encontrado e o  $\Delta T$  mínimo, considerando todas as orientações solares, independente do substrato, já que o que está sendo avaliado é apenas o revestimento externo do sistema de vedação vertical externo. A partir destes valores, divide-se

em 4 intervalos iguais entre os extremos. Com as frequências de ocorrência de cada faixa, o Índice de Intensidade de Temperatura (Iit) é calculado conforme a equação 17:

$$I_{it} = \sum \left( \frac{\Delta T_{m\u00e9dio} \times f_n}{f_{total}} \right)$$

**equação 17**

*Onde:*

*Iit*: Índice de intensidade da temperatura (°C);

$\Delta T_{m\u00e9dio}$ : média da amplitude na faixa de ocorrência n correspondente (°C);

$f_n$ : frequência de ocorrência na faixa n (sendo que n varia de 1 a 4);

$f_{total}$ : frequência de todas as ocorrências nas quatro faixas ( $f_{total} = 365$ ).

A partir dos valores de Iit, determina-se o Iittotal da edificação, que resulta da multiplicação do Iit pela idade do edifício (NASCIMENTO, 2016), conforme a equação 18

$$I_{it\ total} = i \times I_{it}$$

**equação 18**

*Onde:*

*Iit total*: Índice de intensidade da temperatura total (°C);

*i*: idade do edifício (em anos);

*Iit*: índice de intensidade da temperatura(°C);

Para o cálculo do FIC, que mensura a ação climática relacionada ao teor de umidade pela ação da chuva, explicado por Souza (2019), é necessário os valores dos teores de umidade (kg/m<sup>3</sup>) do revestimento de argamassa para o dia com maior precipitação acumulada, dentro do mês com máxima precipitação acumulada, no ano típico (após estabilização dinâmica) da simulação higrotérmica. Com os valores, divide-se o valor do teor máximo de umidade do momento de início até 5 horas após o fim do período de precipitação, pelo teor de umidade na hora antecedente ao início, conforme a equação 19.

$$FIC = \frac{(m\u00e1x_{t_1 \leq T \leq t_2+5} H(T))}{H(t_1 - 1)}$$

**equação 19**

*Onde:*

FIC: fator de impacto da chuva;

H: teor de umidade ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

T: período de estudo da precipitação da chuva dirigida na fachada (horas), sendo  $t_1$  o horário de início da precipitação e  $t_2$  o horário de fim da precipitação;

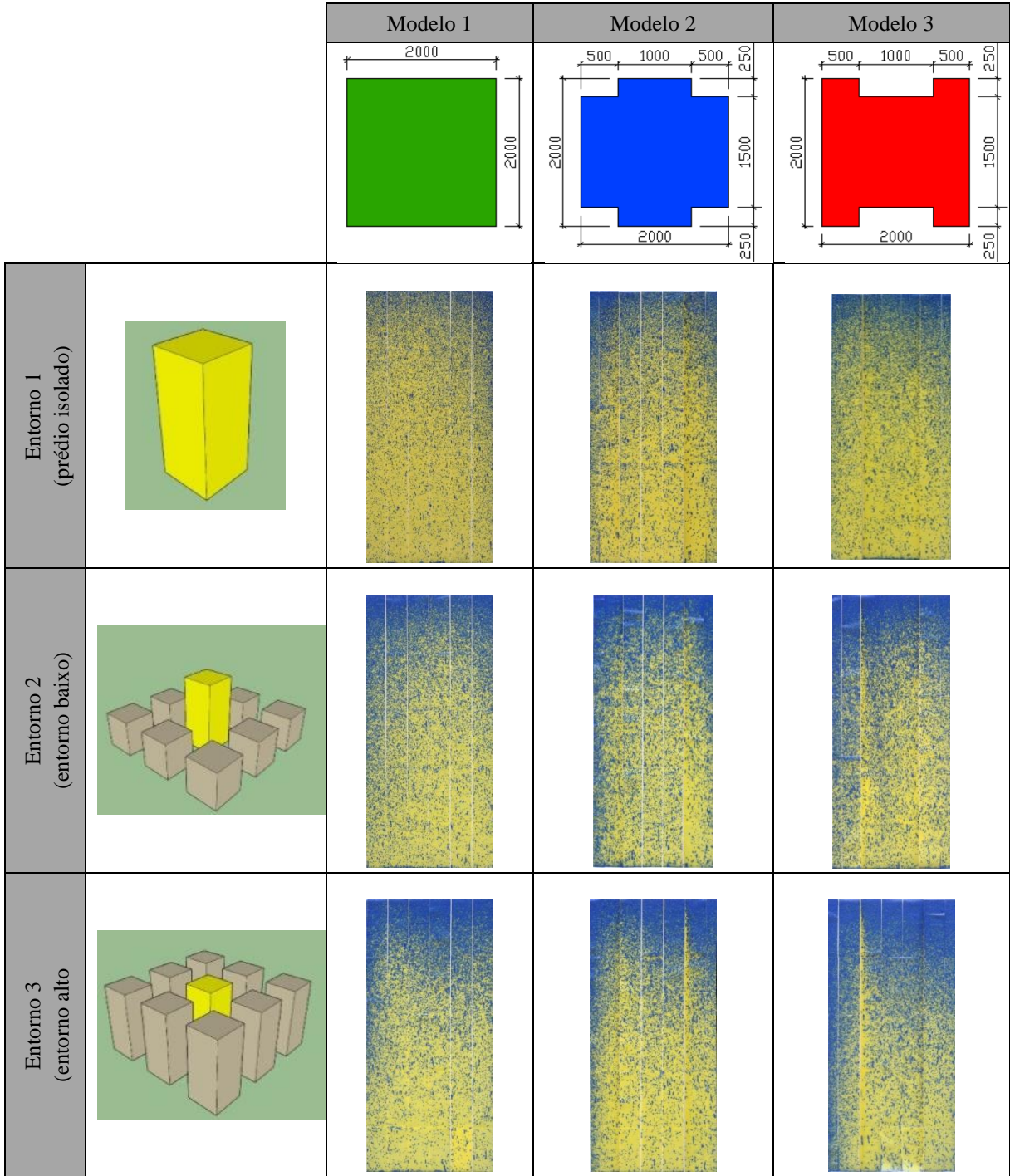
Neste trabalho sugere-se que a estas análises sejam realizadas para mais de um tipo de SVVE com um mesmo revestimento variando o substrato. Desta forma é possível a realização da comparação entre médias dos resultados, a fim de verificar se há diferença estatística entre os resultados relacionados a orientação solar, ou se elas resultam em Iit e FIC estatisticamente iguais. Para a comparação entre médias indica-se a utilização da aplicação do e Teste t de Student com um intervalo de confiança de 95% (significância de 0,05).

### 3.2.2 ANÁLISE DO NÍVEL DE EXPOSIÇÃO DAS REGIÕES DA FACHADA FRENTE À CHUVA DIRIGIDA ATRAVÉS DE MODELOS REDUZIDOS

Algumas regiões das fachadas são mais susceptíveis a ação dos agentes climáticos. Entre as regiões, comprovadamente mais expostas às ações da chuva dirigida, estão extremidades (região de topo e região de canto das edificações), sofrendo ações de agentes agressivos de forma mais intensa. Para delimitar as regiões de topo e canto das edificações, uma vez que são mais expostas à chuva dirigida, analisou-se os resultados da pesquisa de Poyastro (2011), sendo este um dos raros estudos sobre o assunto que fornece padrões de molhamento e escoamento da água da chuva de forma experimental, em laboratório.

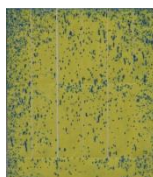
Como explicado na revisão bibliográfica (item 2.3.1), a autora analisou o molhamento de edificações em laboratório, através de experimentos em túnel de vento e aspersion de água. Para a análise, utilizou três modelo de planta (quadrada; formato de cruz; e formato de H) e três entornos para estas edificações (isolada; com edificações com metade da altura da edificação analisada; com edificações de mesma altura). Ainda simulou uma edificação com a metade da altura do entorno, com altura de 23m e entorno de 46m, sendo que a planta escolhida foi na forma quadrada, 20mx20m, o qual se denominou de modelo 4 (M4) e entorno 4. Com imagens dos resultados de Poyastro (2011), planejou-se os resultados para buscar as proporções de molhamento causadas pela chuva dirigida. As planificações para a realização da medição das áreas molhadas estão indicadas na Figura 43 e Figura 44

Figura 43 – Planificação dos resultados de Poyastro (2011) para os modelos 1, 2 e 3, e entornos 1, 2 e 3.



(fonte: adaptado de Poyastro (2011))

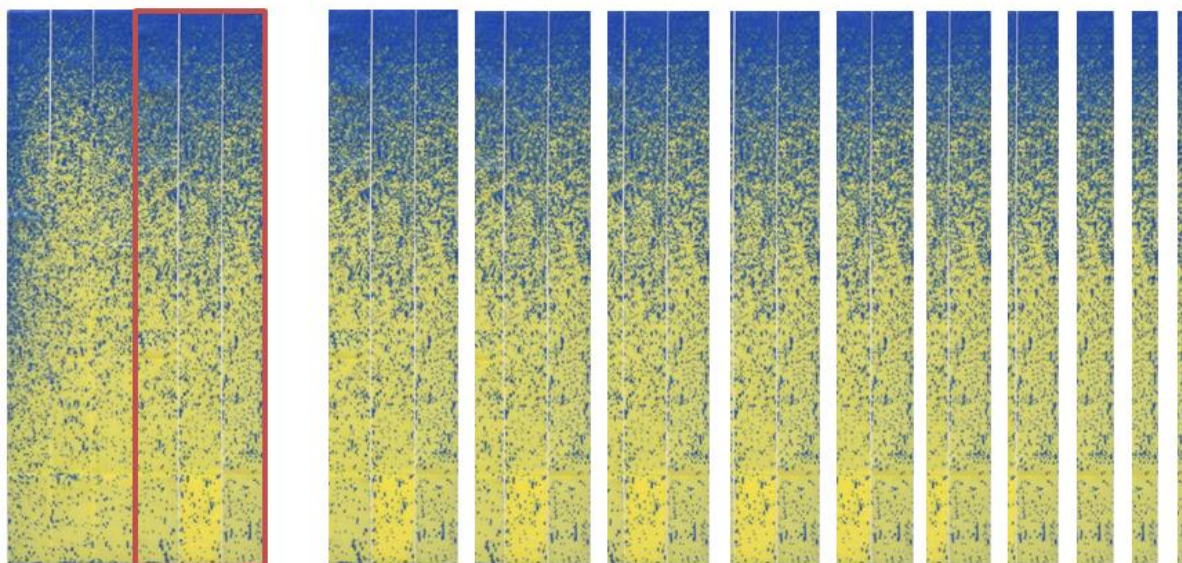
Figura 44 - Planificação dos resultados de Poyastro (2011). para o M4E4 (Modelo 4 Entorno 4), prédio baixo e entorno alto (dobro da altura).



(fonte: adaptado de Poyastro, (2011))

Na sequência, utilizou-se o software Image J para contabilização das áreas umedecidas. Após a planificação, a partir do conhecimento do tamanho real da maquete, converteu-se o número de pixels em metros, e cada imagem foi dividida no sentido vertical, em partes de 1m, 2m, 3m, seguindo até 10m, a partir das extremidades na direção de fora para dentro, como na Figura 45.

Figura 45 - Divisão das imagens para contabilização das áreas molhadas.

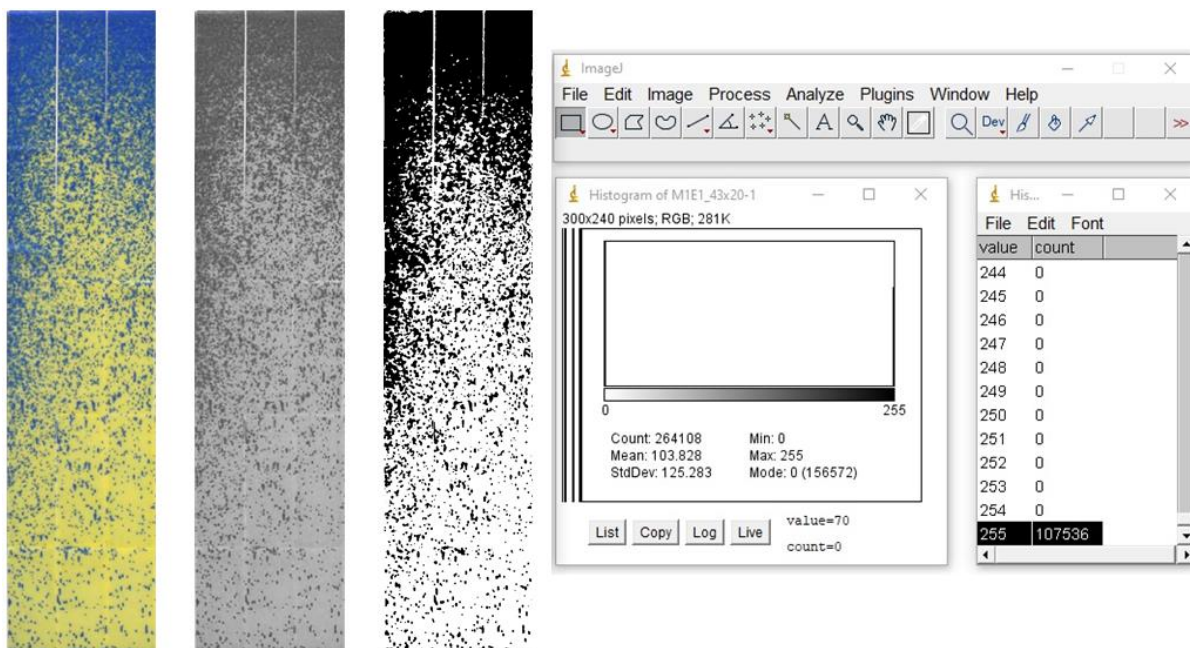


(fonte: adaptado de Poyastro (2011))

Na sequência, o software contabiliza quantos pixels de cada cor possui na imagem selecionada, como na Figura 46.



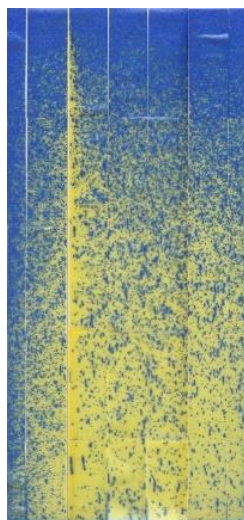
Figura 46 - Contabilização do nº de pixels de cada cor.



(fonte: adaptado de Poyastro (2011))

De forma semelhante, foi contabilizada a área umedecida dividindo a edificação horizontalmente, para contabilização da área umedecida da extremidade superior em direção a inferior, até 23m, que significa metade da altura da edificação. Todos os resultados obtidos encontram-se no Apêndice A, exemplificados no corpo do trabalho pela Figura 47, Modelo 3 (forma de H), entorno 3 (com altura igual as do seu entorno) - M3E3, que se apresentou como o pior caso entre os modelos e entornos testados.

Figura 47 – Modelo 3 (forma de H), entorno 3 (com altura igual as do seu entorno) - M3E3.



(fonte: adaptado de Poyastro (2011))

Tabela 13 - Resultados da contabilização das áreas molhadas no sentido dos cantos para o centro do modelo 3 e entorno 3 (M3E3)

<b>MODELO/ ENTORNO</b>	<b>M3E3</b>	<b>Nº PIXELS - LARGURA</b>	<b>Nº de pixels ALTURA</b>	<b>3386 %</b>
<b>AMOSTRA</b>	<b>Distância das laterais (m)</b>	<b>Nº pixels - LARGURA</b>	<b>Nº de pixels</b>	<b>%</b>
<b>LADO DIREITO</b>				
<b>M3E3 - VD1</b>	1	78	139867	53%
<b>M3E3 - VD2</b>	2	159	271012	50%
<b>M3E3 - VD3</b>	3	234	394937	50%
<b>M3E3 - VD4</b>	4	315	517124	48%
<b>M3E3 - VD5</b>	5	396	636639	47%
<b>M3E3 - VD6</b>	6	474	789669	49%
<b>M3E3 - VD7</b>	7	549	910952	49%
<b>M3E3 - VD8</b>	8	630	1042023	49%
<b>M3E3 - VD9</b>	9	708	1165543	49%
<b>M3E3 - VD10</b>	10	786	1280355	48%
<b>LADO ESQUERDO</b>				
<b>M3E3 - VE1</b>	1	78	252937	96%
<b>M3E3 - VE2</b>	2	159	452078	84%
<b>M3E3 - VE3</b>	3	234	617798	78%
<b>M3E3 - VE4</b>	4	315	767445	72%
<b>M3E3 - VE5</b>	5	396	887122	66%
<b>M3E3 - VE6</b>	6	474	945502	59%
<b>M3E3 - VE7</b>	7	549	1043301	56%
<b>M3E3 - VE8</b>	8	630	1160805	54%
<b>M3E3 - VE9</b>	9	708	1275251	53%
<b>M3E3 - VE10</b>	10	786	1394265	52%

M3E3 – modelo de plantas ensaiadas 3 (formato h) entorno 3 (mesma altura da edificação e entorno);

VD 1 – divisão vertical, à direita. O número corresponde à distância em metros da extremidade, neste exemplo, há 1m da extremidade direita.

VE 1 – divisão vertical, à esquerda. O número corresponde à distância em metros da extremidade, neste exemplo, há 1m da extremidade esquerda.

(fonte: elaborado pela autora)

Tabela 14 - Resultados da contabilização das áreas molhadas no sentido de cima para baixo (M3E3)

<b>MODELO/ ENTORNO</b>	<b>M3E3</b>	<b>Nº PIXELS - ALTURA</b>		<b>1575</b>
<b>AMOSTRA</b>	Distância do topo (m)	Nº pixels - altura	Nº de pixels	%
M3E3 - H1	1	78	115104	94%
M3E3 - H2	2	156	226854	92%
M3E3 - H3	3	234	343083	93%
M3E3 - H4	4	312	462193	94%
M3E3 - H5	5	396	589321	94%
M3E3 - H6	6	474	706635	95%
M3E3 - H7	7	552	822451	95%
M3E3 - H8	8	630	936001	94%
M3E3 - H9	9	708	1046515	94%
M3E3 - H10	10	786	1151696	93%
M3E3 - H11	11	864	1253518	92%
M3E3 - H12	12	942	1354177	91%
M3E3 - H13	13	1026	1452637	90%
M3E3 - H14	14	1104	1541366	89%
M3E3 - H15	15	1182	1623072	87%
M3E3 - H16	16	1260	1703538	86%
M3E3 - H17	17	1338	1772912	84%
M3E3 - H18	18	1416	1837793	82%
M3E3 - H19	19	1494	1894988	81%
M3E3 - H20	20	1572	1947350	79%
M3E3 - H21	21	1656	2005751	77%
M3E3 - H22	22	1734	2051395	75%
M3E3 - H23	23	1812	2095809	73%

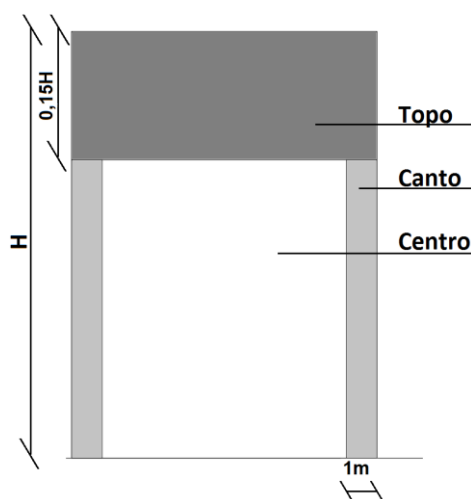
**M3E3 – modelo de plantas ensaiadas 3 (formato h) entorno 3 (mesma altura da edificação e entorno);  
H 1 – divisão horizontal no sentido de cima para baixo. O número corresponde à distância em metros da extremidade, neste exemplo, há 1m da extremidade superior.**

(fonte: elaborado pela autora)

A partir das análises das quantificações, percebe-se que há bastantes diferenças entre os modelos e entornos, no entanto, será adotado como cantos e topos a análise sobre o pior caso, M3E3, onde a delimitação destas regiões será até atingir 95% da superfície umedecida. Assim conclui-se que o topo nestes modelos corresponde a 7m e canto a 1m a partir da extremidade. Considerando ainda que o topo sofre grande influência da altura do prédio, onde edificações mais altas têm uma pressão de vento em maiores áreas da fachada, esses 7m equivalem a 15%

da altura do edifício, assim, determina-se que a altura não será uma distância fixa, e sim que sua dimensão será a porcentagem de 15%, sendo medida a partir da extremidade superior para baixo. Já a largura da edificação não influencia na força exercida pelo vento nos cantos do edifício, assim, permanecendo o valor de 1m de distância. Pode-se afirmar que toda a parede pode ter algum grau de molhamento, no entanto, as regiões de topo mostram-se mais expostas à umidade da chuva, sequenciadas pelas regiões de canto, sendo que o centro da edificação estará mais protegido da ação da chuva dirigida. Por esse motivo, nas regiões dos cantos superiores, prevalecerá a categoria da pior situação, no caso topo, conforme demonstra a Figura 48.

Figura 48 – Demonstração das dimensões de topo, canto e centro para as edificações



(fonte: elaborado pela autora)

### 3.2.3 ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS E DO ACESSO/EXPOSIÇÃO DE PESSOAS ÀS FACHADAS ANALISADAS

Ao analisar o acesso de pessoas às fachadas, avalia-se se há alguma forma de barreira de acesso aos usuários próximo às fachadas danificadas, a fim de evitar que alguém seja atingido, caso ocorra a queda do revestimento. Considera-se que uma pessoa tem acesso a uma fachada quando não há barreira permitindo aproximação a menos de 2,50m desta. Esta distância foi estabelecida a partir da NR18. Esta norma regulamentadora estabelece “as condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção” (NR18, 2020). A NR18, exige a instalação de plataforma de proteção em todo perímetro da construção de edifícios com mais de 4 (quatro) pavimentos (ou altura equivalente), logo após a concretagem da laje, permitindo a retirada

apenas após a conclusão do revestimento externo acima desta proteção, sendo que a recomendação para esta plataforma é de no mínimo, 2,50m (distância mínima de projeção horizontal da face externa da construção).

Desta forma é necessário atribuir um coeficiente que considere o nível de periculosidade das manifestações patológicas encontradas nas fachadas e o nível de acesso dos usuários a estas fachadas, de forma a majorar o índice, apontando as fachadas ou amostras de fachadas que têm mais urgência em intervir por fatores de segurança aos usuários. Do ponto de vista de gravidade, o nível máximo foi atribuído à perda de aderência. A perda de aderência é um grande risco aos usuários, uma vez que o desprendimento do revestimento pode atingir um ser vivo, causando sérios danos, inclusive o óbito. Entende-se que, do ponto de periculosidade aos usuários, os dois primeiros níveis de gravidade (maioria dos manchamentos e umidades de baixo nível de gravidade) são bastante brandos e podem ser tolerados próximos aos usuários, já os três níveis superiores de gravidade, onde se encontram as fissuras, eflorescências, umidades de nível alto de gravidade e, por fim, a perda de aderência deve ter baixa tolerância, ou ainda, não devem ser tolerados próximos aos usuários.

### 3.2.4 PROPOSTA DO INDICADOR DE TENDÊNCIA E URGÊNCIA

A partir do exposto, propõem-se o indicador de Tendência de agravamento do estado de deterioração de uma amostra de fachada e Urgência em Intervir, o índice de tendência e urgência (ITU). Assim como o Índice de Gravidade, este indicador considera a área total da amostra, em m<sup>2</sup>, coberta pelo revestimento de argamassa; a área de amostra afetada pela manifestação patológica constatada, em m<sup>2</sup>, que também deve considerar apenas a área coberta pelo revestimento de argamassa; o coeficiente relacionado à gravidade da manifestação patológica (kn), e o coeficiente da condição mais elevada da degradação de uma fachada de área, o coeficiente conforme a tendência que aquela manifestação patológica tende a agravar e a urgência em intervir para que a superfície seja segura aos usuários. O ITU pode ser calculado conforme a equação 20:

$$ITU = k_u + \frac{\sum(A_n \times k_n \times k_{it}) + (A_n \times k_n \times k_{cd})}{A_t \times k_{máx}}$$

equação 20

Onde:

*ITU*: Índice de Tendência e Urgência da amostra;

$A_n$ : área da amostra afetada por uma anomalia  $n$  ( $m^2$ );

$k_n$ : coeficiente relacionado a gravidade da manifestação patológica-  $k_n \in \{0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1\}$ ;

$k_{it}$ : coeficientes relacionados a tendência do aumento do IG *pelo índice de temperatura*;

$k_{cd}$ : coeficientes relacionados a tendência do aumento do IG *pela chuva dirigida*;

$k_u$ : coeficientes relacionados a urgência em intervir;

$k_{m\acute{a}x}$ : nível de condição mais elevada da degradação de uma fachada de área  $A$  {1};

$A$ : área total da amostra ( $m^2$ ).

Para isso, foram propostos os coeficientes de tendência  $k_{it}$  e  $k_{cd}$  baseados na avaliação conforme a Orientação Cardeal e da análise do nível de exposição das regiões da fachada frente à chuva dirigida através de modelos reduzidos.

Os valores de  $k_{it}$  devem ser distribuídos gradativamente entre as orientações cardeais. Quando houver mais de um resultado para cada orientação solar, no caso de mais de um substrato (mais de um tpo de SVVE), primeiramente deve-se realizar a comparação entre médias através do teste  $t$  de Student com significância de 0,05 e na sequência a distribuição dos valores de  $k_{it}$ . Se a comparação entre médias apontar que as quatro orientações apresentam resultados significativamente distintos para o  $I_{it}$ , o valor de  $k_{it}$  deverá ser diferente para cada orientação, dentro do intervalo de 1 até 2, sendo 1 para menor impacto e 2 para o maior impacto. Por exemplo, se as 4 orientações apresentarem  $I_{it}$  distintos, ordena-se de menor impacto para maior, distribuindo os valores dentro do intervalo, proporcionais aos resultados de  $I_{it}$ . Os valores de  $I_{it}$ ,  $k_{it}$  podem ser calculados orientação conforme a equação 21.

**equação 21**

$$K_{it} = 1 + \frac{(2 - 1) \times (I_{it} \text{ da orientação} - I_{it} \text{ de menor valor})}{(I_{it} \text{ de maior valor} - I_{it} \text{ de menor valor})}$$

$K_{it}$ : coeficientes relacionados a tendência do aumento do IG *pelo índice de temperatura*;

$I_{it}$ : Índice de intensidade de temperatura

Por exemplo, se todos os valores de  $I_{it}$  forem distintos, aumentando de forma proporcional, como na Tabela 15, os valores de  $k_{it}$  serão calculados como nos exemplos a seguir.

Tabela 15 - Coeficientes relacionados ao Impacto da Temperatura.

Orientação	Iit
<b>Cardeal</b>	
<b>Orientação 1</b>	2
<b>Orientação 2</b>	4
<b>Orientação 3</b>	6
<b>Orientação 4</b>	8

(fonte: elaborado pela autora)

$$Kit \text{ orientação } 1 = 1 + \frac{(2 - 1) \times (2 - 2)}{(8 - 2)}$$

$$Kit \text{ orientação } 1 = 1$$

$$Kit \text{ orientação } 2 = 1 + \frac{(2 - 1) \times (4 - 2)}{(8 - 2)}$$

$$Kit \text{ orientação } 2 = 1,33$$

$$Kit \text{ orientação } 2 = 1 + \frac{(2 - 1) \times (6 - 2)}{(8 - 2)}$$

$$Kit \text{ orientação } 2 = 1,66$$

$$Kit \text{ orientação } 2 = 1 + \frac{(2 - 1) \times (8 - 2)}{(8 - 2)}$$

$$Kit \text{ orientação } 2 = 2$$

Assim, o valor de  $k_{it}$  para cada orientação, resultante do exemplarão conforme a Tabela 16:

Tabela 16 - Coeficientes relacionados ao Impacto da Temperatura conforme o Iit de exemplo.

Orientação	$K_{it}$	$K_{it}$
<b>Cardeal</b>		
<b>Orientação 1</b>	2	1
<b>Orientação 2</b>	4	1,33
<b>Orientação 3</b>	6	1,66
<b>Orientação 4</b>	8	2

(fonte: elaborado pela autora)

No entanto, no caso o entre médias aponte a não ocorrência de diferenças significativas entre as orientações solares, agrupam-se as iguais para estabelecer a distribuição dos coeficientes, dentro do mesmo intervalo. Por exemplo, 2 orientações apresentam maiores impactos, mas estatisticamente iguais, e diferente de outras duas de menores impactos mas estatisticamente iguais entre elas. A distribuição dos coeficientes ficaria conforme a Tabela 17.

Tabela 17 - Coeficientes relacionados ao Impacto da Temperatura.

Orientação	K <sub>it</sub>
<b>Cardeal</b>	
Orientação 1 e 2	1
Orientação 3 e 4	2

(fonte: elaborado pela autora)

Assim como para o  $k_{it}$ , valores de  $k_{cd}$  serão distribuídos proporcionalmente aos resultados de FIC, no entanto, ainda devem ser consideradas a exposição da região da fachada à chuva dirigida para atribuir o valor final de  $k_{cd}$ . Propõem-se que o coeficiente  $k_{cd}$  também seja distribuído no intervalo entre 1 e 2, sendo atribuído 1 para o caso mais brando tanto de orientação cardeal quanto de região da fachada, e 2 para o mais severo.

Para considerar as duas análises, propõe-se uma distribuição inicial do  $k_{cd}$  conforme o FIC, no entanto entre o intervalo de 1 a 1,5, ou seja, a orientação cardeal com menor valor de FIC receberá a atribuição do valor 1,0 e a orientação cardeal com maior FIC receberá a atribuição de valor 1,5. Estes valores de  $k_{cd}$  serão conferidos para a região centro, que é a região de menor exposição à chuva dirigida, conforme as análises realizadas no item 3.2.2. Para as demais haverá um acréscimo, sendo igual a 0,5 para as regiões de topo (mais expostas para chuva dirigida) e 0,15 para as regiões de canto, que estão mais expostas que o centro, mas é visível que quanto mais distantes do topo, menor é o molhamento, também causado pelo escoamento da água nestas regiões (BLOCKEN; DEROME; CARMELIET, 2013). Desta forma o  $k_{cd}$  pode ser calculado conforme a equação 22:

$$K_{cd} = K_r + 1 + \frac{(1,5 - 1) \times (FIC \text{ da orientação} - FIC \text{ de menor valor})}{(FIC \text{ de maior valor} - FIC \text{ de menor valor})} \quad \text{equação 22}$$

$K_{cd}$ : coeficientes relacionados a tendência do aumento do IG *pela chuva dirigida*;

$K_{cd}$ : coeficientes relacionados a região de exposição à *chuva dirigida*, sendo 0 (zero) para região centro, 0,15 para região canto e 0,5 para região topo);



FIC: Fator de Impacto da Chuva

Se todos os valores de FIC forem distintos, mas com FIC aumentando de forma proporcional, o resultado dos coeficientes será conforme a Tabela 19.:

Tabela 18 - Coeficientes relacionados ao Fator do Impacto da Chuva.

Orientação	FIC
<b>Cardeal</b>	
<b>Orientação 1</b>	2
<b>Orientação 2</b>	4
<b>Orientação 3</b>	6
<b>Orientação 4</b>	8

(fonte: elaborado pela autora)

O valor do Kcd para orientação 1, para cada região será calculado conforme o exemplo:

$$Kcd \text{ orientação 1 topo} = 0,5 + 1 + \frac{(1,5 - 1) \times (2 - 2)}{(8 - 2)}$$

$$\mathbf{Kcd \text{ orientação 1 topo} = 1,50}$$

$$Kcd \text{ orientação 1 canto} = 0,15 + 1 + \frac{(1,5 - 1) \times (2 - 2)}{(8 - 2)}$$

$$\mathbf{Kcd \text{ orientação 1 canto} = 1,15}$$

$$Kcd \text{ orientação 1 centro} = 0 + 1 + \frac{(1,5 - 1) \times (2 - 2)}{(8 - 2)}$$

$$\mathbf{Kcd \text{ orientação 1 centro} = 1,00}$$

Exemplificando com o outro extremo, o valor do Kcd para orientação 4, para cada região será calculado conforme o exemplo:

$$Kcd \text{ orientação 4 topo} = 0,5 + 1 + \frac{(1,5 - 1) \times (8 - 2)}{(8 - 2)}$$

$$\mathbf{Kcd \text{ orientação 4 topo} = 2,00}$$

$$Kcd \text{ orientação } 4 \text{ canto} = 0,15 + 1 + \frac{(1,5 - 1) \times (8 - 2)}{(8 - 2)}$$

$$Kcd \text{ orientação } 4 \text{ topo} = 1,65$$

$$Kcd \text{ orientação } 4 \text{ centro} = 0 + 1 + \frac{(1,5 - 1) \times (8 - 2)}{(8 - 2)}$$

$$Kcd \text{ orientação } 4 \text{ topo} = 1,50$$

Tabela 19 - Coeficientes relacionados à chuva dirigida conforme o FIC de exemplo.

	<b>FIC</b>	<b>Centro</b>	<b>Canto</b>	<b>Topo</b>
<b>Orientação 4</b>	2	1,50	1,65	2,00
<b>Orientação 3</b>	4	1,33	1,48	1,83
<b>Orientação 2</b>	6	1,17	1,32	1,67
<b>Orientação 1</b>	8	1,00	1,15	1,50

(fonte: elaborado pela autora)

Conforme explicado, ao realizar a análise das manifestações patológicas e do acesso/exposição de pessoas às fachadas analisadas pode-se determinar o coeficiente de Urgência ( $K_u$ ) está relacionado à segurança das pessoas e animais que podem se aproximar das superfícies deterioradas. Assim pode-se ou não tolerar alguns tipos de manifestações patológicas que não apresentem riscos aos usuários dos espaços. Desta forma pode-se classificar em três níveis de tolerância das manifestações patológicas, conforme o Quadro 3:

Quadro 3 – Descrição dos níveis e atribuição de coeficientes relacionados à urgência em intervir

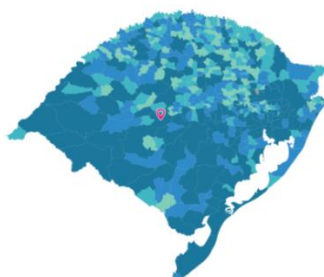
<b>Nível de Tolerância</b>	<b>Descrição</b>	<b>Ku</b>
<b>baixa tolerância</b>	Locais em que há fluxo de pessoas ou animais, e as manifestações patológicas são de médio e alto coeficientes de gravidade ( $K_n > 0,4$ )	1,00
<b>média tolerância</b>	Locais em que há fluxo de pessoas ou animais, e as manifestações patológicas são de baixo coeficientes de gravidade ( $K_n < 0,4$ )	0,50
<b>alta tolerâncias</b>	Locais em que não há fluxo de pessoas ou animais	0,00

(fonte: elaborado pela autora)

## 4 APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO

A partir do desenvolvimento do método, este foi aplicado para edifícios da Universidade Federal de Santa Maria, como forma de validação. Como explicado no item Limitações da Pesquisa (1.4), optou-se por analisar as edificações da UFSM por estarem em um campus de fácil acesso ao público geral (até o início da pandemia de COVUD-19), inclusive nos finais de semana, facilitando a etapa de levantamento das edificações. Além disso, escolha ocorreu por se tratarem de edifícios que possuem tecnologias construtivas e formas arquitetônicas similares, e estão inseridas em um mesmo lugar. Santa Maria, RS, localiza-se da região central Rio Grande do Sul, Figura 49, com Latitude de  $29^{\circ} 43' 08,12599''$  S, Longitude de  $53^{\circ} 42' 59,73531''$  W, e Altitude Geométrica de (m) 113,107, segundo os dados planialtimétricos disponibilizados pelo IBGE (2018).

Figura 49 - Localização da Cidade de Santa Maria/RS.



(fonte: IBGE, 2018)

A Universidade Federal de Santa Maria, localizada no bairro Camobi, na cidade de Santa Maria, Rio Grande do Sul, foi oficialmente fundada no ano de 1960, sendo a primeira universidade em uma cidade do interior do país. A cidade universitária foi idealizada em 1958, planejava a união das faculdades já existentes na cidade e a criação de novos cursos, seguindo os preceitos da arquitetura moderna que já alcançara seu auge neste período no Brasil. Para o desenvolvimento do projeto, foram convidados os arquitetos Oscar Valdetaro e Roberto Nadalutti que, baseados nas ideias modernistas, com grande influência de Le Corbusier e Lúcio Costa, desenvolveram cinco estudos de planos pilotos para a Universidade de Santa Maria. Dentre eles, a proposta aprovada planejava um campus como uma cidade parque, isolada do centro urbano tradicional, com edificações prismáticas simples isoladas entre si e criando grandes espaços abertos e arborizados. A proposta segue, ainda, rígido formalismo, além de apresentar setorização de funções e uma hierarquia viária bem marcada – as funções originalmente propostas se

desenvolvem ao longo do eixo do arco que demarca a entrada (Avenida Roraima) e segue até uma praça cívica da reitoria que é tida como ponto focal. A primeira edificação a ser planejada e construída à estrutura do campus foi fundada em 30 de junho de 1960 com o nome de Centro Politécnico de Santa Maria, transformando-se em Centro de Tecnologia após o plano de reestruturação da UFSM de 12 de fevereiro de 1970 (ZAMPIERI, 2011). A Figura 50 são imagens aéreas do campus da UFSM no ano de 2008.

Figura 50 - Imagens aéreas do campus universitário da Universidade Federal de Santa Maria no ano de 2008. (a) vista do sul/norte, marcado por vias retas e prédios junto a pequenos grupos de árvores e o bosque atrás do edifício da administração central; (b) vista panorâmica do campus da Universidade Federal de Santa Maria.



a

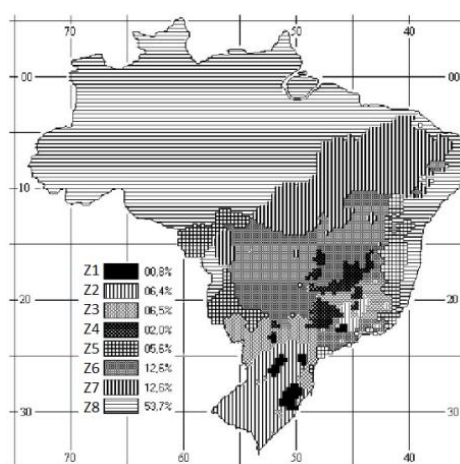


b

(fonte: Marchiori *et al.* (2008) <sup>13</sup>)

Conforme a NBR 15220-3 (2005a), a cidade pertence a zona bioclimática 2 (Figura 51).

Figura 51 - Zonas Bioclimáticas Brasileiras.



(fonte: ABNT NBR 15220-3 (2005))

<sup>13</sup> 6 de março de 2008. Foto de Paulo Fernando dos Santos Machado. Acervo da Prefeitura Municipal de Santa Maria

Como explicado anteriormente, para a aplicação do método é necessário ter em mãos o mapeamento de danos, que possibilite a mensuração da área degradada por cada manifestação patológica. Dessa forma, a opção foi utilizar as primeiras etapas do MMD (detalhado no item 2.3) até a etapa de quantificação.

#### 4.1 COMPOSIÇÃO DO BANCO DE DADOS

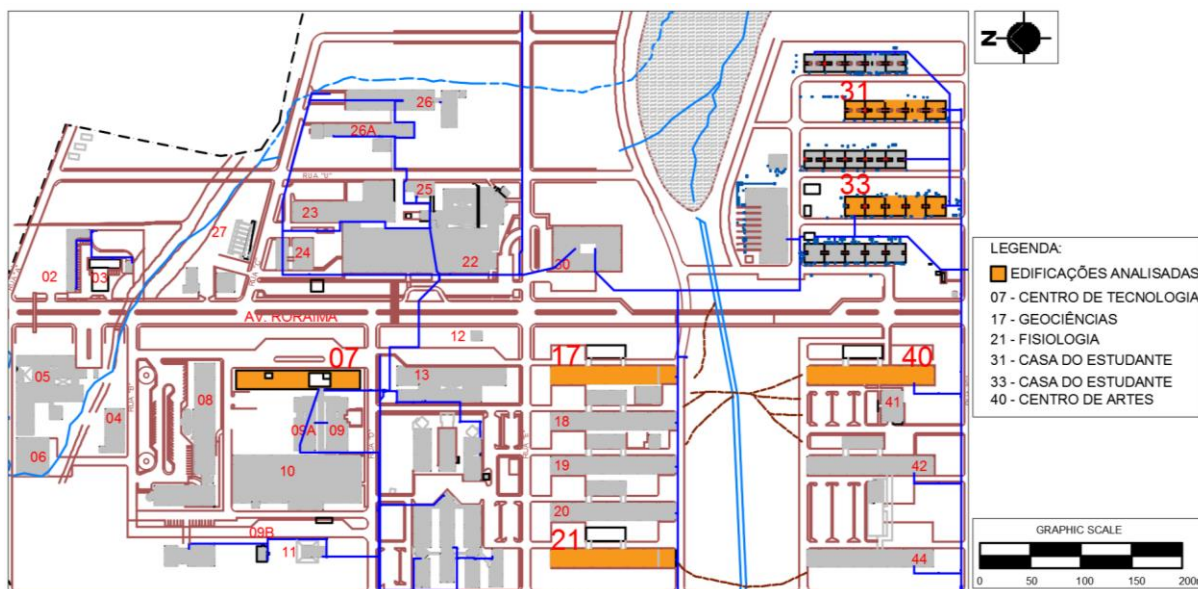
Para a investigação documental, as informações adquiridas foram através de documentos armazenados nas instalações da Pró-reitora de Infraestrutura (PROINFRA) da UFSM, que conta com diversos registros e informações a respeito do que envolve a universidade como um todo. Através do levantamento destes documentos, foi possível ter conhecimento da idade de cada edificação bem como obter informações sobre os materiais e tecnologias construtivas utilizadas. Como são modulares, algumas possuem ampliações, e assim, diferentes idades. Na UFSM as edificações são identificadas através de numerações. Assim, as edificações que serão analisadas e suas respectivas idades (até a data da realização dos levantamentos) estão listadas no Quadro 4 e localizadas no campus conforme a Figura 52.

Quadro 4 - Idade das edificações

Edificação	Ocupação	Registro da Construção	Coordenadas Geográficas	Idade até 2018
7	Centro de Tecnologia	Conclusão da Obra 1960	29°72'05,93184" S 53°71'77,74056" W	58 anos
40	Centro de Artes e Letras	Início da Obra – 1966; última etapa registrada/ Conclusão - 1969	29°71'82,29424" S 53°71'53,60068" W	49 anos
17	Biologia, Geociências e Química	Registro do início da Obra – 1964; última etapa registrada/ Conclusão - 1978	29°71'60,42067" S 53°71'60,76218" W	40 anos
21	Fisiologia, Comunicação Social	Registro do início da Obra – 1965; última etapa registrada/ Conclusão - 1978	29°71'65,63869" S 53°71'81,28108" W	40 anos
31	Casa do Estudante	Registro do início da Obra – 1964; início da utilização – 1966; última etapa registrada/ Conclusão – 1989.	29°71'79,84834" S 53.71'41,503927" W	28 anos
33		Datas das últimas ampliações sob investigação	e 29°71'79,40575" S 53°71'31,92844" W	* anos

(fonte: PROINFRA-UFSM (2018))

Figura 52 - Croqui de parte do campus universitário com destaque das edificações analisadas



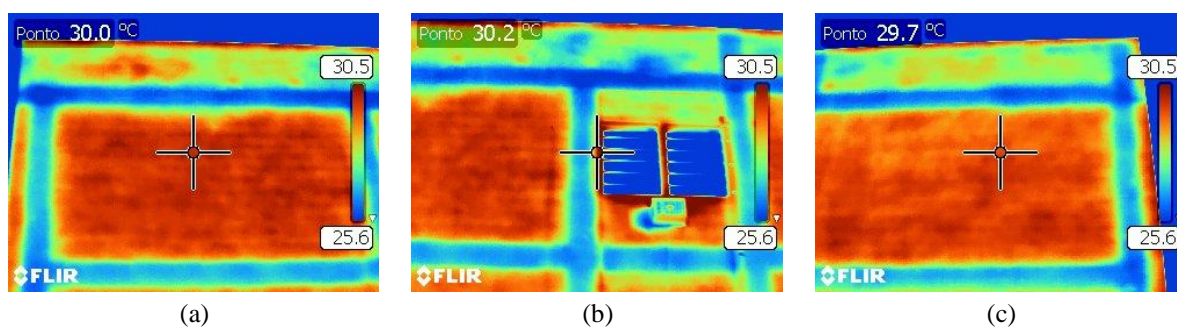
(fonte: adaptado de PROINFRA UFSM (2018))

Durante a investigação de campo, identificaram-se os materiais de revestimento, as manifestações patológicas e suas possíveis causas. Foram feitos registros fotográficos e termográficos, que serviram como registro e base para o mapeamento de danos. As imagens fotográficas foram realizadas na câmera Canon PowerShot SX530 HS, com zoom de 50x (24-1200mm), cordialmente disponibilizada pelo Escritório Modelo - Perspectiva, do curso de Arquitetura e Urbanismo da UFSM. Como explicado na revisão bibliográfica, seguindo o método, as imagens devem apresentar boa qualidade, de forma a permitir a edição de imagens com o auxílio de softwares para a planificação das fachadas, que posteriormente serão utilizadas no auxílio do mapeamento de danos, precisando a localização e extensão das anomalias.

Como não foi autorizada a utilização de andaimes, ou trabalhos em altura, para a detecção de descolamentos e outras manifestações patológicas não diagnosticáveis a olho nu, optou-se neste trabalho utilizar a técnica da termografia. Para a detecção das imagens termográficas, foi utilizada a câmera termográfica do modelo FLIR T400, disponibilizada pelo LAMTAC/NORIE/UFRGS. No momento de captação das imagens, a câmera foi calibrada com a inserção de parâmetros, como a emissividade do material do revestimento, a distância de obtenção de imagens, umidade relativa do ar e temperatura do momento em que as imagens eram captadas.

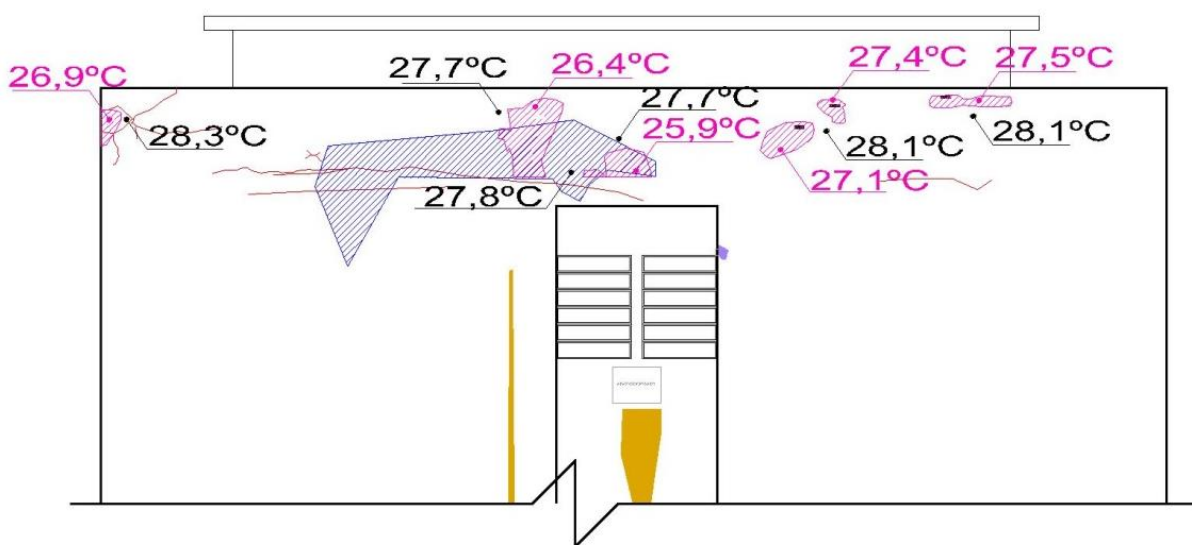
Assim como explicado na revisão bibliográfica, quando a edificação está resfriando, ou seja, perdendo calor, a temperatura nas regiões descolgadas é mais baixa que seu entorno (FREITAS; FREITAS; BARREIRA, 2014). Nas edificações da UFSM as imagens foram realizadas sempre no fim do dia, desta forma, analisando as imagens termográficas foi possível detectar as regiões mais frias visualmente e através da comparação da temperatura da zona mais fria com o entorno, determinado a área possivelmente descolada, como exemplificado com as imagens termográficas (Figura 53) da região superior da fachada norte do edifício 01 (Centro de Tecnologia), e análise e registro no mapa de danos na (Figura 54).

Figura 53 – Imagens termográficas da região topo e 2º pavimento da fachada norte do Centro de Tecnologia, prédio 07, da UFSM: (a) extremidade superior esquerda; (b) região superior central; (c) extremidade direita.



(fonte: da autora)

Figura 54 - Fachada norte do Centro de Tecnologia, prédio 07, da UFSM, planificada



(fonte: elaborado pela autora)



Com as imagens fotográficas, foram realizadas as ortogonalizações das fachadas adotando o método indicado por Macêdo (2017), que utiliza o software Adobe Photoshop de forma a planificar as imagens (Figura 55) e, sobre estas, realizado o mapeamento de danos com o auxílio do Autocad (Figura 56) e outras imagens com maiores valores de zoom. Desta forma, o mapeamento foi realizado com a maior precisão possível da localização e dimensão das manifestações encontradas. O mapeamento de danos completo (e em maior escala) das edificações analisadas encontra-se no Apêndice C.

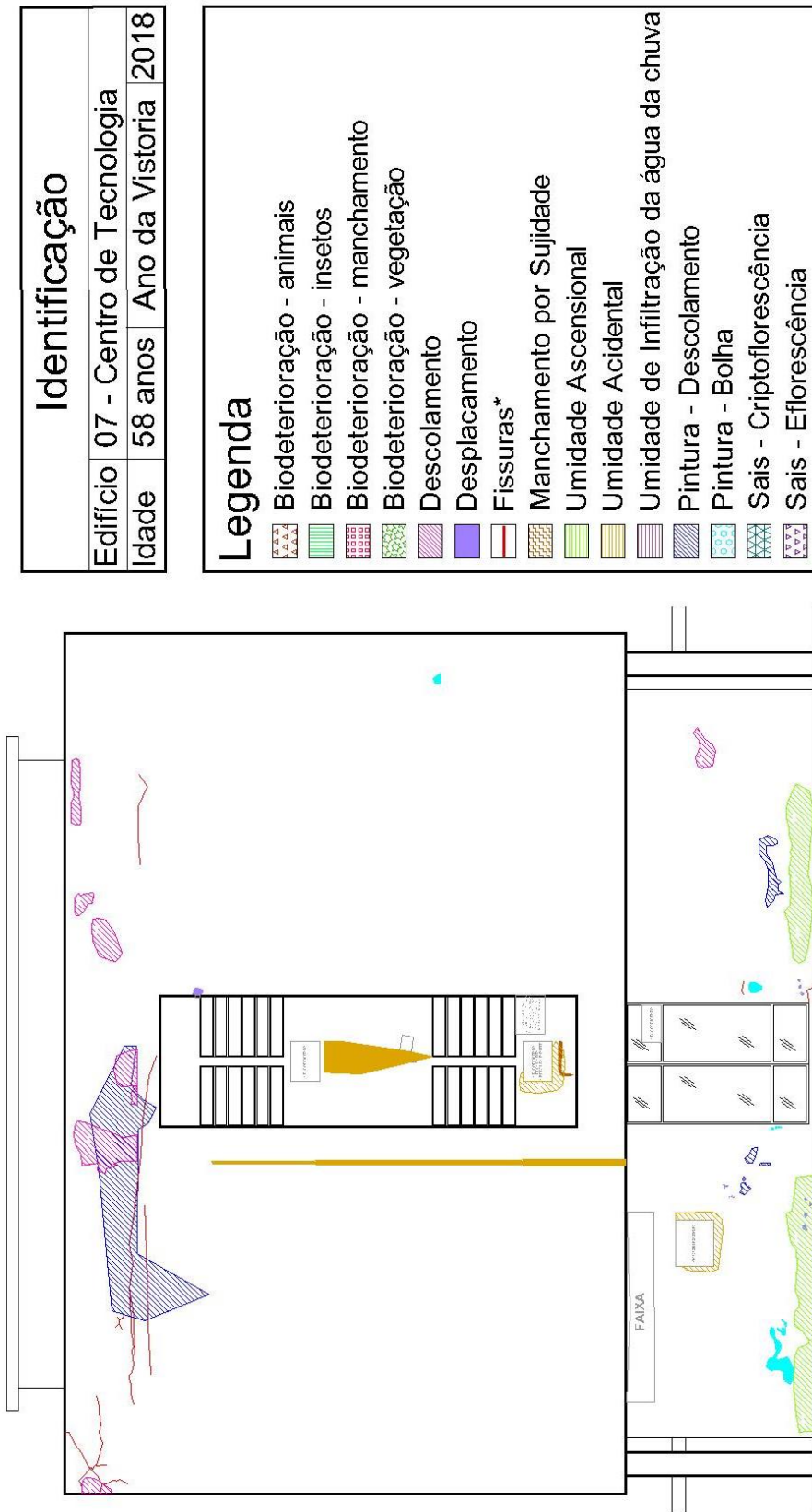
Figura 55 – Exemplo da montagem e planificação da fachada leste do Centro de Tecnologia, prédio 07, da UFSM



(fonte: elaborado pela autora)



Figura 56 – Exemplo do mapeamento de danos Centro de Tecnologia, prédio 07 da UFSM, fachada leste.



(fonte: elaborado pela autora)

## 4.2 CATEGORIZAÇÃO DAS AMOSTRAS

Conforme proposto por Silva (2014), a categorização das amostras colabora para organizar e relacionar as manifestações com os diversos agentes agressivos. As categorias adotadas foram:

- idade da amostra: contada a partir da data de inauguração do edifício até o momento do levantamento para o presente banco de dados;
- classificação entre prumada (fachadas de maiores dimensões) ou empena (fachadas de menores dimensões), como na Figura 57. Silva (2014) subdivide as prumadas pelas juntas de movimentação estruturais. Neste trabalho, as subdivisões foram feitas conforme a modulação da estrutura (aparente na maioria das vezes), como na Figura 58, assim, minimizando as diferenças entre as amostras.

Figura 57 - Vista com a classificação de empena e prumada. Exemplo com o edifício 07 de UFSM.

Figura 58 - Delimitação de uma amostra da prumada. Exemplo com o edifício 07 de UFSM.



(fonte: adaptado de Google view, 2018)

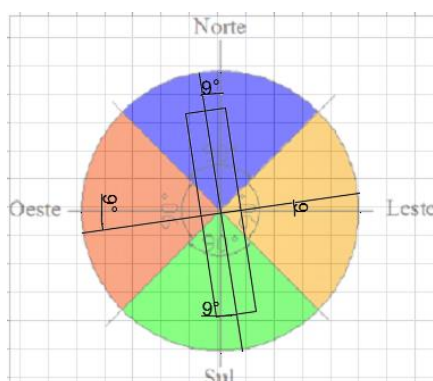


(fonte: adaptado de Google view, 2018)

- a orientação cardinal: determinada através da análise da imagem de satélite que é obtida através da imagem do Google Maps, e posteriormente verificado o ângulo entre a fachada analisada e os principais pontos cardiais (SILVA, 2014). A Figura 59 exemplifica a determinação da orientação cardinal com a mesma edificação. Observa-se nestas figura que as empenas (menor dimensão) estão orientadas a 9° a partir do eixo vertical, sendo classificada como empena norte e sul; já as prumadas estão classificadas como leste e oeste. Para esta edificação, serão analisadas ao todo duas amostras de empenas, uma a norte e uma a sul, e trinta e quatro amostras de

prumada, cada uma correspondendo a um módulo da fachada, sendo dezessete para orientação leste e dezessete para oeste.

Figura 59 - Determinação da orientação cardinal das fachadas. Exemplo com o edifício 07 de UFSM.



(fonte: adaptado de Silva (SILVA, 2014))

O método adotado para mensurar a área de cada manifestação patológica é o abordado por Silva (2014), explicado na revisão bibliográfica (item 2.3.1 subitem f). Assim, foram realizadas as seguintes etapas:

### 4.3 CÁLCULO DOS ÍNDICADORES

Os coeficientes  $K_n$  utilizados na equação para calcular o índice de gravidade (IG) independem do local de implantação do edifício, assim como o coeficiente de urgência ( $K_u$ ) para o cálculo do índice de tendência e urgência (ITU). Já os demais coeficientes necessários para o cálculo do ITU ( $K_{it}$  e  $K_{cd}$ ) sofrem influência do local de implantação da edificação e da orientação cardinal. As avaliações necessárias para chegar aos valores dos coeficientes são conforme as etapas a seguir.

#### 4.3.1 AVALIAÇÃO CONFORME A ORIENTAÇÃO CARDEAL

Com a finalidade de entender a relação da atuação dos agentes climáticos de degradação em revestimentos externos de argamassa nas edificações na cidade de Santa Maria, e obter os valores de teor de umidade e temperatura, necessários para calcular o FIC (fator de impacto de chuva) e o Iit (índice de intensidade de temperatura), realizou-se simulação higrotérmica por meio do software WUFI® Pro 6.5, que atende a todos os requisitos e critérios estabelecidos pela norma DIN EN 15026:2007 e, assim, que fornece diversas informações sobre o comportamento higrotérmico dos sistemas construtivos. Dessa forma, torna-se possível a

compreensão de como é o comportamento do revestimento de argamassa para as diferentes solicitações climáticas, conforme a orientação cardeal, considerando os fenômenos de transporte de calor e umidade, e fornecendo, assim, um provável motivo para a diferença do nível de degradação nas diferentes orientações cardeais.

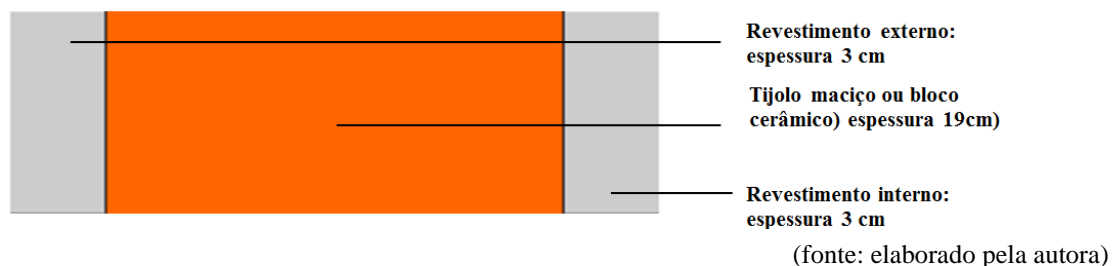
Para isso, é necessário realizar o levantamento das edificações e caracterizações das propriedades higrotérmicas dos materiais utilizados no sistema de vedação analisado, que ao serem processadas pelo software, fornecerão respostas para as análises.

Através das análises de documentos, disponibilizados pela PROINFRA-UFSM, e do local, foi possível obter as informações características formais de cada edificação, necessárias para a simulação como:

- a) ângulo formado entre o plano do SVVE e o solo;
- b) altura das edificações;
- c) materiais que compõem os SVVEs, conforme especificações dos memoriais;
- d) espessura de cada camada dos SVVEs; conforme memoriais e observações visuais.

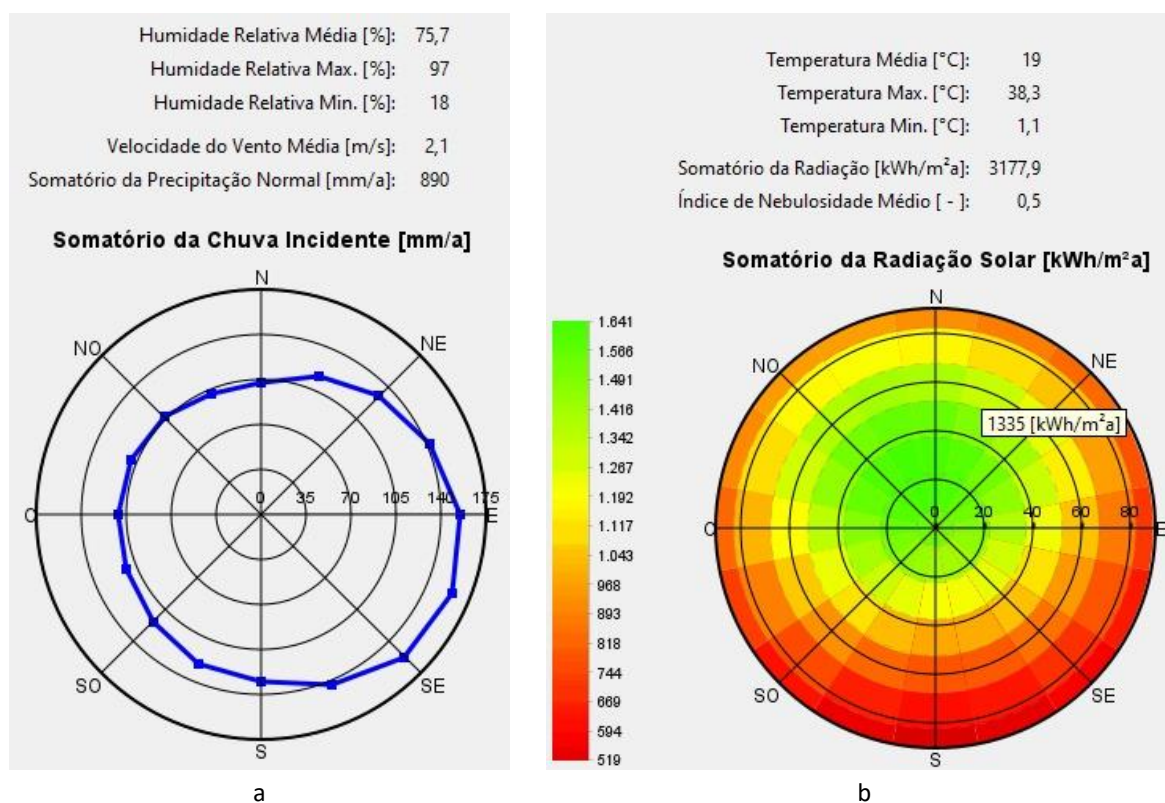
Como não há como caracterizar o próprio material utilizado na época da construção, foram realizadas caracterizações em laboratório de materiais similares, produzidos no Rio Grande do Sul. Conforme os memoriais e as observações, os SVVE são compostos por tijolos maciços no primeiro pavimento de alguma das edificações e bloco cerâmico (6 furos) nos demais pavimentos, sendo revestidos por argamassa dosada em obra, onde apontaram diferentes traços utilizados, como o 1:3 (cimento e areia), 1:0,5:5 (cimento, cal e areia), e 1:2:4 (cimento cal e areia). Os memoriais especificam que as paredes tenham em sua maioria, 25 cm, sendo que foi observado através de aberturas nas paredes para tubulações, que os revestimentos tinham cerca de 3 cm de espessura. Assim foram simulados SVVE compostos por uma camada de tijolo ou bloco cerâmico de 19 cm, revestido por 3 cm de argamassa (interno e externo), conforme a Figura 60.

Figura 60 - Perfil de Sistema de Vedação Vertical Externo (SVVE) simulado no WUFI® Pro 6.5.



Para possibilitar a simulação higrotérmica, o software WUFI® Pro 6.5 necessita um arquivo TMY (Ano Meteorológico Típico) da localidade. Neste trabalho, este arquivo foi obtido de Roriz (2012). O ano típico é obtido a partir de uma série histórica de dados, onde se excluem valores extremos para a obtenção de um ano médio, que reflete na tendência média das variações climáticas anuais de um determinado local. A partir destes dados, o Software WUFI® Pro 6.5 gera uma análise (Figura 61) da chuva (em mm/a) e radiação solar incidente (em kWh/m<sup>2</sup>a) para cada orientação.

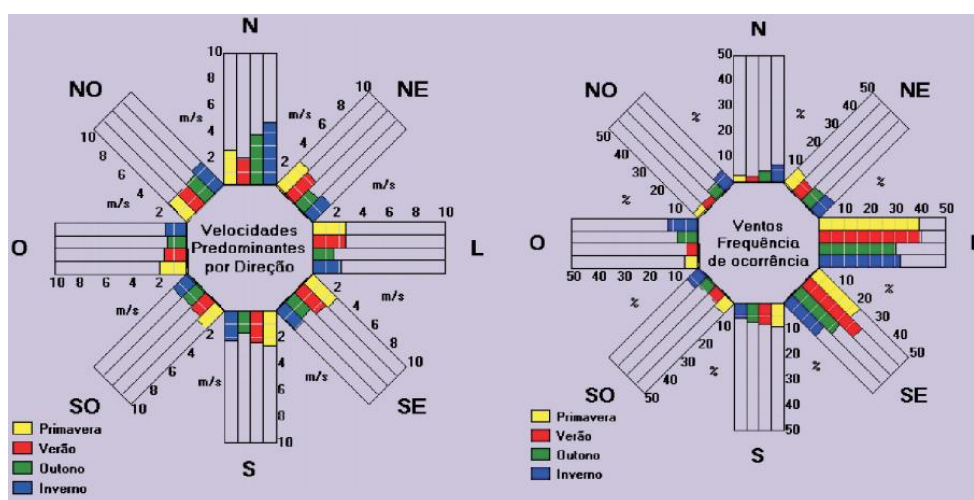
Figura 61 – Somatório da chuva dirigida e da radiação solar para a cidade de Santa Maria.



(fonte: WUFI® Pro 6.5, 2020)

Através da Figura 61a, percebe-se a predominância da chuva dirigida entre Nordeste e Sudeste, onde as fachadas estarão mais propensas ao molhamento, sendo que entre as orientações norte e oeste, estarão mais protegidas deste agente de degradação por maiores períodos quando comparadas às demais. Estas análises são compatíveis aos ventos predominantes, encontrados no painel bioclimático de Santa Maria, composto por Flores (2014), (Figura 62). Onde percebe-se que a orientação Norte apresenta as maiores velocidades de ventos, e as orientações Leste e Sudeste as maiores frequências.

Figura 62 – Predominância e frequência dos ventos conforme a orientação cardinal para a cidade de Santa Maria – RS.



(fonte: Flores, 2014)

Ainda através Figura 61 também se pode observar a grande variação da umidade relativa, sendo a média igual a 75,7%, com máxima e mínima igual a 97% e 18, respectivamente, e a velocidade do vento média igual a 2,1m/s e o somatório da precipitação normal igual a 890 mm/a.

A Figura 61b apresenta os maiores valores de incidência de radiação pela cor verde e as menores incidências em vermelho. Permite entender que a orientação sul e sudeste são as mais protegidas da radiação solar, sendo as orientações norte e oeste as que estão expostas por maiores períodos. Assim, entende-se que a orientação oeste soma a radiação recebida pela radiação solar e pela radiação dos corpos terrestres, resultando em uma radiação incidente maior do que a orientação Leste. Em relação a temperatura, ainda pode-se extrair da Figura 61b, a média anual 19 °C, sendo que a máxima foi de 38,3 °C e mínima foi de 1,1 °C.

Os valores de resistência térmica superficial e absorvância foram definidos conforme a ABNT NBR 15220-2 (2005b), nas tabelas A.1 e B.2, respectivamente, da referida norma. Para

reflexividade do solo e para fator de redução de chuva incidente (Fr) utilizou-se os valores indicados pelo software WUFI®. O valor de Fr é, como padrão, para superfícies verticais e corresponde a parcela da chuva dirigida que estará de fato disponível para a absorção capilar pela parede, considerando que parte das gotas d'água que atingem a superfície são expelidas. Para simular o tratamento superficial com pintura com tinta acrílica utiliza o valor Sd, dado em metros, que indica a espessura de uma camada de ar fictícia que corresponderia à mesma resistência à difusão de vapor da camada de pintura. O valor de Sd adotado foi de 0,5 m, que é próximo aos valores encontrados por Šadauskiene *et al.* (2010) para pintura acrílica e utilizado por Künzl *et al.* (2004). A Tabela 20 sintetiza os parâmetros de entrada no software WUFI®.

Tabela 20 – Parâmetros de entrada no software WUFI® Pro 6.5.

Parâmetro de entrada	Símbolo	Valor	Unidade
<b>Camadas do Sistema de Vedação Vertical Externo</b>			
Argamassa de revestimento	-	0,03	m
Tijolo maciço	-	19	m
Bloco cerâmico (6 furos)	-	19	m
Argamassa de interno	-	0,03	m
<b>Orientação, inclinação, altura e chuva dirigida</b>			
Inclinação	(i)	90	°
Altura	(h)	10-20	m
Chuva incidente – Método WUFI®	Rwdr	-	L/m <sup>2</sup> h
<b>Coefficiente de transferência à superfície</b>			
Resistência superficial externa	Rse	0,04	m <sup>2</sup> K/W
Valor de Sd	Sd	0,5	M
Absortância	$\alpha$	0,4	-
Refletividade do solo	r	0,2	-
Fator de redução de chuva dirigida	Fr	0,7	-
Resistência superficial interna	Rsi	0,13	m <sup>2</sup> K/W
<b>Condições iniciais de contorno</b>			
Umidade inicial	-	0,8	-
Temperatura inicial	-	20	°C
Período de simulação		10 anos	
<b>Clima</b>			
Clima exterior	Arquivo climático INMET (2016)/Roriz (2012).		
Clima interior	De acordo com a ASHRAE 160		

(fonte: elaborado pela autora)



Para os dados de entrada do revestimento de argamassa, utilizou-se a caracterização realizada no LAMTAC/NORIE/UFRGS por Kleber (2018), mais próximo dos traços utilizados nas edificações, conforme o apontado pelos memoriais, sendo um traço convencional de cimento:cal:areia de 1:1:6 (em volume de materiais secos), conforme a Tabela 21.

Tabela 21 - Características da argamassa no estado fresco e endurecido.

NBR	Ensaio	Unidade	Resultado
<b>Estado Fresco</b>			
13276	Índice de consistência	[mm]	259
13276	Relação água/materiais secos	[ - ]	0,10
13277	Retenção de água	[ % ]	94%
13278	Densidade de massa	[kg/m <sup>3</sup> ]	1950
<b>Estado Fresco</b>			
9778	Absorção	[ % ]	17
9778	Índice de vazios	[ % ]	30
9778	Massa específica amostra seca	[g/cm <sup>3</sup> ]	1,76
9778	Massa específica amostra saturada	[g/cm <sup>3</sup> ]	2,06
9778	Massa específica real	[g/cm <sup>3</sup> ]	2,51
13280	Densidade	[g/cm <sup>3</sup> ]	1,75
13259	Absorção por capilaridade t=10 min	[g/cm <sup>3</sup> ]	0,202
13259	Absorção por capilaridade t=90 min	[g/cm <sup>3</sup> ]	0,688
13259	Coefficiente de capilaridade	[g/dm <sup>2</sup> .min0,5]	4,808
15630	Módulo de elasticidade dinâmico	[MPa]	8375
13279	Resistência à tração na flexão	[MPa]	1,14
13279	Resistência à compressão	[MPa]	4,25

(fonte: adaptado de Kleber 2018)

O tijolo, maciço e bloco cerâmico 6 furos, foram submetidos aos ensaios no LAMTAC conforme as seguintes normas:

- 15270-1 (2017) - Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria Parte 1: Requisitos;
- 15270-2 (2017) Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria Parte 2: Métodos de ensaio;
- ASTM E96\_E96M (2016) *Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials*



- ASTM C1498 C 1498 – 01 (2004) - *Standard Test Method for Hygroscopic Sorption Isotherms of Building Materials*

A partir dos ensaios de caracterizações dos tijolos, obtiveram-se as características conforme a Tabela 22.

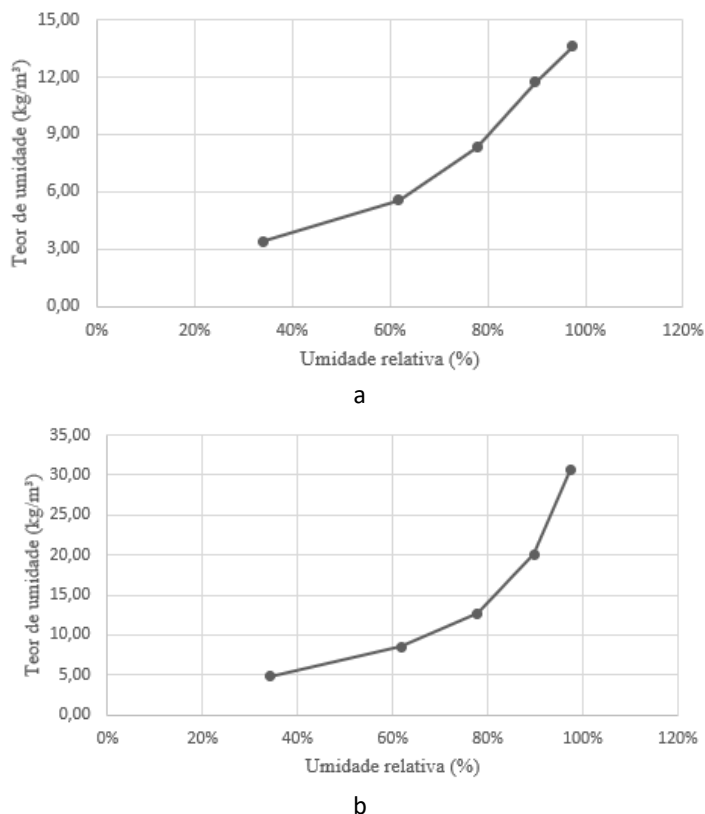
Tabela 22 - Características dos tijolos

Norma	Ensaio	Unidade	Maciços	bloco cerâmico 6 furos
NBR 15270-2:2005	Densidade de massa aparente ( $\rho$ )	[kg/m <sup>3</sup> ]	1723,03	870,69
NBR 9778:2009	Porosidade ( $\xi$ )	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0,167	0,184
NBR 15220-2:2005	Calor específico (c)	[J/kg.K]	920	920
NBR 15220-2:2005	Condutividade térmica ( $\lambda$ )	[W/m.K]	1,0	0,7
ASTM E96_E96M:2010	Fator de resistência à difusão do vapor de água ( $\mu$ )	[-]	24,44	38,86
ASTM C1498:2004	Teor de umidade de referência (Wref)	[kg/m <sup>3</sup> ]	8,34	12,69
ASTM C1498:2004	Umidade de saturação livre (Wf)	[kg/m <sup>3</sup> ]	13,59	30,63
NBR 9778:2009	Coefficiente de absorção de água ( $\bar{A}$ )	[kg/ m <sup>2</sup> .√s]	0,038	0,035

(fonte: elaborado pela autora)

O ensaio para compor a curva de dessorção, conforme a ASTM C1498 (2004), apresentou problemas de execução devido a um pequeno acidente que provocou o umedecimento das amostras que estavam dentro dos recipientes. Buscaram-se formas de repetir o ensaio, mas inicialmente, devido a problemas em equipamentos, e seguido do fechamento do laboratório durante a pandemia não foi possível. No entanto, o software aceita que as simulações sejam realizadas com a curva de adsorção, já que considera pequena a diferença entre as duas curvas (WUFI® PRO 6.5, 2020). A isoterma de adsorção da medição da massa (em kg) das amostras, quando são expostas sucessivamente a ambientes com teores de umidade relativa crescentes, compondo assim, uma curva higroscópica. As curvas higroscópicas para o tijolo maciço e o bloco cerâmico 6 furos, utilizadas na simulação, podem ser visualizadas na Figura 63.

Figura 63 - Isotermas de adsorção dos materiais constituintes do sistema de vedação. (a) tijolo maciço; (b) bloco cerâmico 6 furos



(fonte: elaborado pela autora)

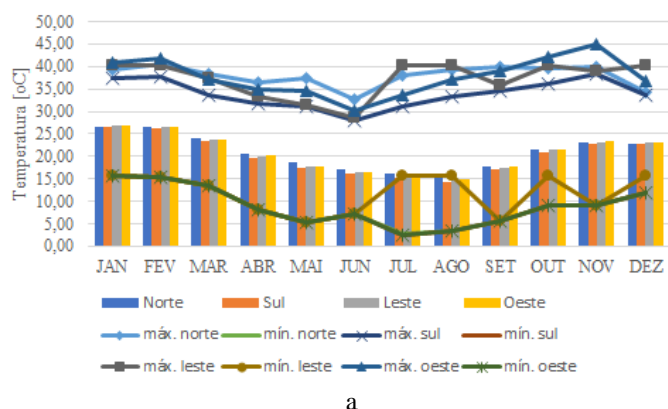
Com os dados obtidos nos ensaios, realizaram-se as simulações higrotérmicas, para os dois sistemas e para as 4 orientações cardeais. Na sequência foram analisadas as variáveis de saída através dos cálculos do Índice de intensidade de temperatura (Iit), conforme Nascimento (2016) e o Fator de Impacto de Chuva (FIC), baseado em Souza (2019), para cada orientação cardinal.

- **Índice de intensidade de temperatura (Iit)**

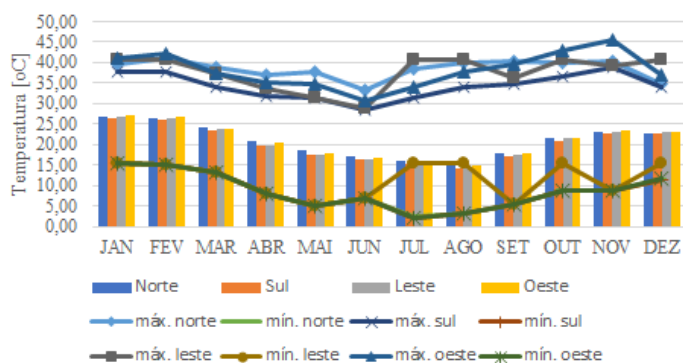
Conforme explicado (no item 2.3.1), o Iit proposto por Nascimento (2016), possibilita a ponderação das frequências e valores de temperaturas alcançadas nos revestimentos. Para este trabalho, extraiu-se da simulação higrotérmica os valores de temperatura superficial externa da camada de revestimento de argamassa (Figura 64).. A partir disso, classificaram-se as variações térmicas superficiais diárias no ano típico - no período de estabilização dinâmica que nesse caso ocorreu 10 anos após a construção - em 4 faixas. Para definição das faixas, adotou-se como extremos o  $\Delta T$  diário máximo e o  $\Delta T$  diário mínimo, considerando todas as orientações

cardeais, sendo respectivamente, de 26,53°C e 0,99°C para o bloco cerâmico 6 furos e de 25,73°C e 0,95°C para o tijolo maciço

Figura 64 - Temperatura média, máxima e mínima na camada externa do sistema de vedação vertical simulado no ano típico para a orientação norte, sul, leste e oeste em relação: (a) tijolo maciço e (b) bloco cerâmico 6 furos.



a



b

(fonte: elaborado pela autora)

Com os valores, dividiu-se em 4 intervalos iguais entre estes extremos, determinando as 4 faixas. A Tabela 23 apresenta as frequências (fn) utilizadas para o cálculo do Iit.

Tabela 23 - Frequências (fn) para o cálculo do Índice de intensidade de temperatura (Iit).

Faixa	$\Delta T$ [°C]	Tijolo Maciço				Bloco cerâmico 6 furos			
		Norte	Sul	Leste	Oeste	Norte	Sul	Leste	Oeste
4	$26,53 \geq T > 20,14$	33	2	4	25	42	3	6	34
3	$20,14 \geq T > 13,74$	140	70	101	164	144	84	101	174
2	$13,74 \geq T > 7,34$	142	221	192	123	131	210	182	104
1	$7,34 \geq T \geq 0,95$	50	71	68	53	48	68	67	53

(fonte: elaborado pela autora)

Na sequência, calculou-se o Iit para cada edifício. A Tabela 24 apresenta os resultados de Iit para camada de revestimento externo de argamassa, para cada orientações geográficas e cada SVVE (tijolo maciço e bloco cerâmico 6 furos):

Tabela 24 - Valores de Iit do revestimento externo de argamassa para os sistemas de vedação vertical com tijolo maciço e bloco cerâmico 6 furos

Substrato do SVVE	Norte	Sul	Leste	Oeste
Tijolo Maciço	13,28	10,56	11,26	13,36
Bloco Cerâmico 6 furos	13,70	10,93	11,09	13,85

(fonte: elaborado pela autora)

Com os valores de Iit, foi realizada a Análise de Variância (ANOVA). Como não há repetições para as combinações de orientação geográfica com tipo de substrato, e tendo sido verificado o paralelismo entre as retas do gráfico, orientação versus Iit obtidas para os sistemas com cada substrato (tijolo maciço e bloco cerâmico 6 furos), não foi considerada a interação entre os fatores orientação. Dessa forma, a média quadrada da interação entre os fatores foi utilizada como estimativa para a média quadrada do erro. Como esperado, observa-se que há diferença estatística quanto ao fator orientação cardinal, mas não há diferença do Iit nos revestimentos externos de argamassa entre os sistemas quando se varia o substrato. Essa análise pode ser conferida a Tabela 25 (a um nível de significância de 5%).

Tabela 25 - Análise de Variância (ANOVA) para o Iit.

Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	valor-P	Conclusão
Tipo de substrato	0,1515	1	0,1515	3,3015	0,1668	Não significativo
Orientação	13,5857	3	4,5286	98,6755	0,0017	Significativo
Erro	0,1377	3	0,0459			
Total	13,8749	7				

Legenda

SQ = soma quadrada;  
 GL = graus de liberdade;  
 MQ = média quadrada

F = Teste F  
 valor-P = Probabilidade de Ocorrência

(fonte: elaborado pela autora)

Do ponto de vista prático, o resultado não significativo para variação do substrato que compõe o sistema de vedação vertical é interessante, já que nem sempre há informações documentais suficientes para saber se há variação deste elemento na parede. Se houvesse interferência, em

alguns casos seria necessária uma inspeção, ou seja, a retirada de parede do revestimento para conhecimento do material utilizado nessa camada. Dessa forma, as análises visuais para o mapeamento de danos podem ser realizadas, obtendo-se resultados coerentes independentemente do substrato subjacente à argamassa externa. Quando se analisa o fator orientação cardinal, percebe-se diferença significativa no Iit, ou seja, a orientação cardinal interfere no índice de intensidade da temperatura das argamassas de revestimento dos sistemas de vedação vertical externos.

Com os resultados de Iit, realizou-se a comparação entre médias através da aplicação do teste t de Student com um intervalo com significância de 0,05, que confere um grau de 95% de confiança. A partir disso, verificou-se que não há diferença estatística entre as médias para as orientações norte e oeste, assim como entre as orientações sul e leste, conforme a Tabela 26, sendo os maiores índices nas orientações norte e oeste.

Tabela 26 - Teste t de Student para o Iit.

Comparação	$S_p^2$	$t_0$	Teste t*
Norte com Sul	0,0391625	-13,870	diferentes
Norte com Leste	0,0256625	-14,451	diferentes
Norte com Oeste	0,0520625	0,504	iguais
Sul com leste	0,020725	2,987	iguais
Sul com Oeste	0,047125	13,175	diferentes
Leste com Oeste	0,033625	13,252	diferentes

$S_p^2$  é uma média entre as variâncias amostrais  $S_1^2$  e  $S_2^2$ , ponderada pelos respectivos graus de liberdade  $n_1 - 1$  e  $n_2 - 1$ .  
\*para as médias serem consideradas iguais  $-4,303 < t_0 < 4,303$ , sendo  $t_0$  definido conforme distribuição t de Student com significância de 0,05 e 2 graus de liberdade.

(fonte: elaborado pela autora)

Quando se analisa os resultados do Iit, percebe-se que está diretamente relacionado à radiação solar que incide nas fachadas, como podemos observar na Figura 61 b. A referida figura nos mostra que a maior soma de raios solares se concentra no Norte, atingindo o Oeste com intensidade anual ligeiramente superior ao leste e, por fim, com menor intensidade, o sul. A grande diferença entre as orientações oeste e leste, pode estar relacionado à radiação de ondas longas. O aquecimento dos corpos terrestres e da atmosfera ocorre ao longo do dia, portanto, quando o sol provém do Leste, no início da manhã, as temperaturas destes corpos são baixas, e à medida que o sol se direciona ao oeste, essas temperaturas aumentam; portanto, quando os raios solares são provenientes do Oeste, a fachada voltada a esta orientação estará recebendo o

somatório da radiação solar direta e radiação emitida pelos corpos terrestres aquecidos (KLEBER, 2018).

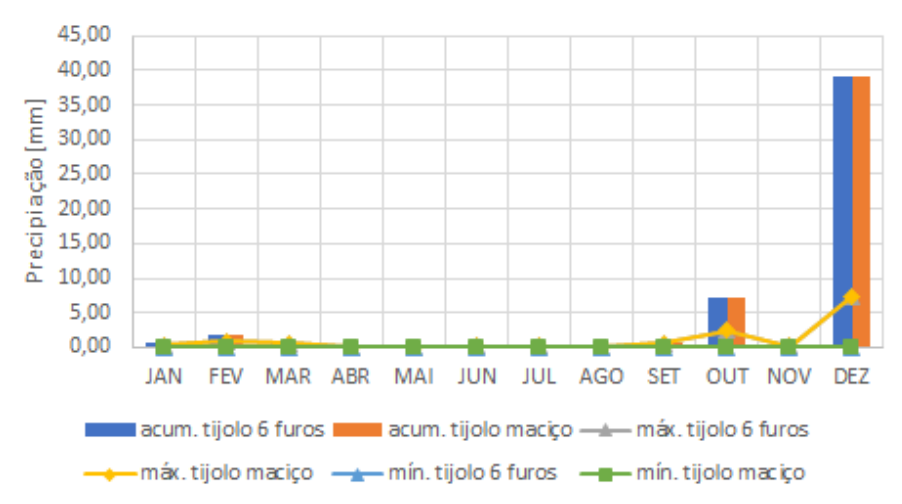
Essa análise também explica a ausência de diferença estatística entre as orientações sul e leste, uma vez que o Sul recebe uma soma anual de radiação solar inferior ao leste que, no entanto, corresponde a orientação relacionada ao sol da manhã, quando as fachadas ainda se encontram frias e em processo de aumento de temperatura. Ocorrendo um menor aquecimento dessas fachadas, as variações térmicas diárias ao longo do ano de equilíbrio dinâmico das simulações higrotérmicas também são menos pronunciadas nessas orientações, conforme os valores de  $f_n$ , resultando, assim, em menores valores de Iit.

- **Fator de Impacto de Chuva (FIC).**

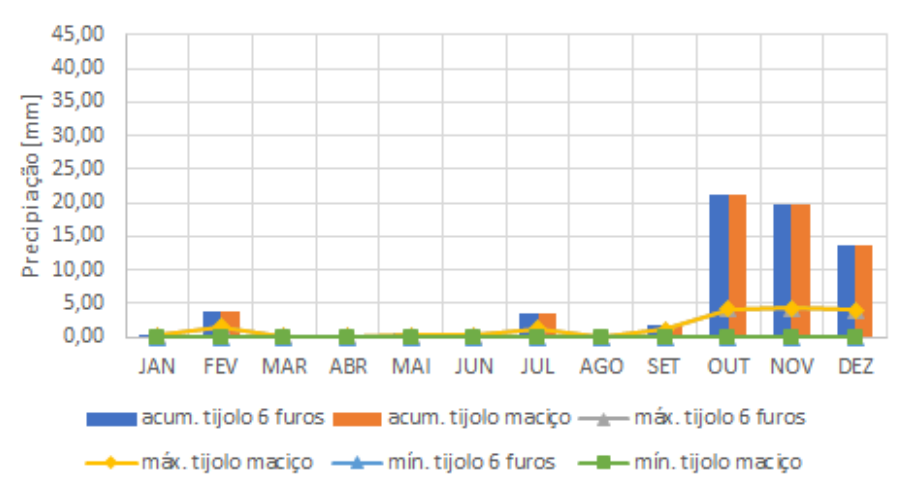
O FIC (Fator de Impacto da Chuva), proposto por Souza (2019), representa o índice de umidade mensurado a partir da ação climática. Para o cálculo do FIC, foram extraídos da simulação higrotérmica, os resultados de chuva dirigida referente ao teor de umidade na camada de revestimento externo de argamassa SVVE de cada orientação cardinal. Os valores dos teores de umidade consideram o dia com maior precipitação acumulada, dentro do mês com máxima precipitação acumulada, no ano típico após estabilização dinâmica da simulação higrotérmica. A Figura 65, resultado da simulação higrotérmica, demonstra os dados de precipitação mensais de chuva dirigida para cada orientação cardinal, para cada SVVE (com tijolo maciço e bloco cerâmico 6 furos), onde pode-se inferir o dia e o mês com maior precipitação por fachada.

Figura 65 - Precipitação acumulada, máxima e mínima mensais no ano típico, após estabilização dinâmica para a orientação: (a) norte; (b) sul; (c) leste; (d) oeste.

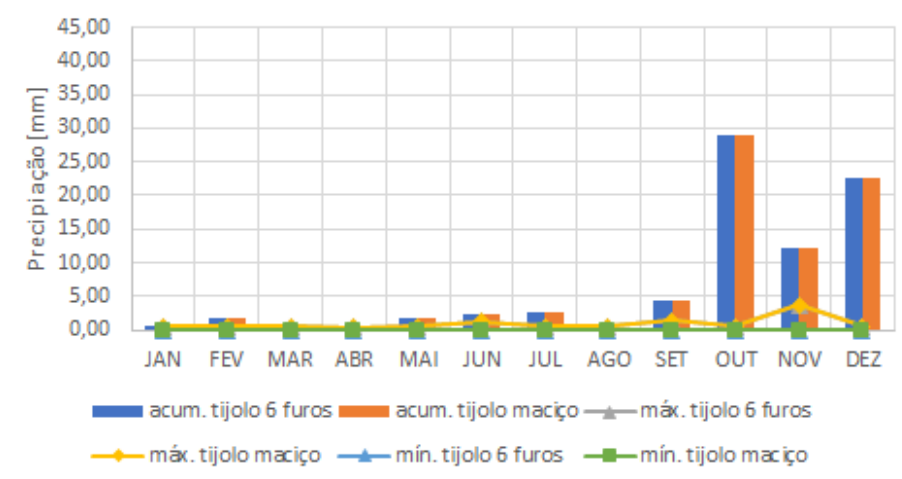
(continua)



a

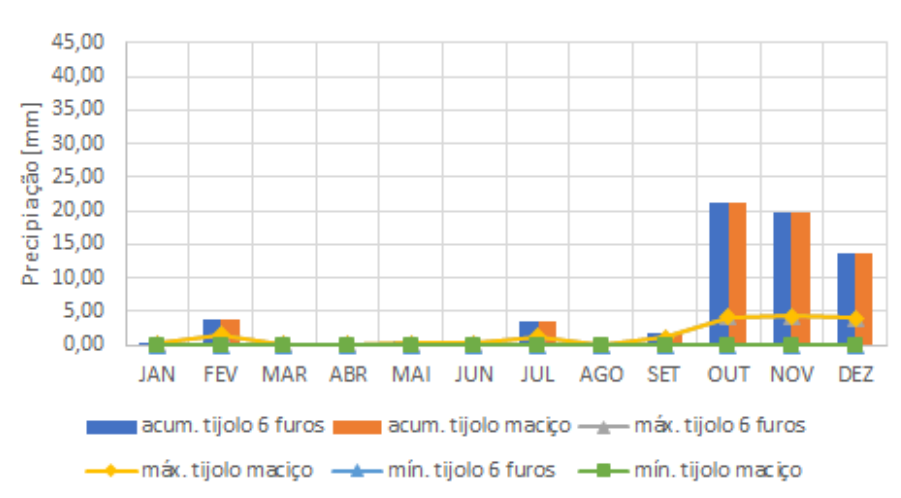


b



c

(conclusão)



d

(fonte: elaborado pela autora)

O mês e o dia com maior precipitação acumulada, no ano típico (após a estabilização dinâmica), para cada orientação cardinal são conforme a Tabela 27:

Tabela 27 - Dia e mês com maior precipitação acumulada para os sistemas de vedação vertical em estudo no ano típico, após estabilização dinâmica.

Orientação	Mês com maior precipitação acumulada	Precipitação acumulada no mês [mm]	Dia com maior precipitação acumulada	Precipitação acumulada no dia [mm]
Norte	Dezembro	39,02	15/dez	24,7
Sul	Outubro	21,26	25/out	17,0
Leste	Outubro	28,82	25/out	17,8
Oeste	Dezembro	37,70	11/dez	20,5

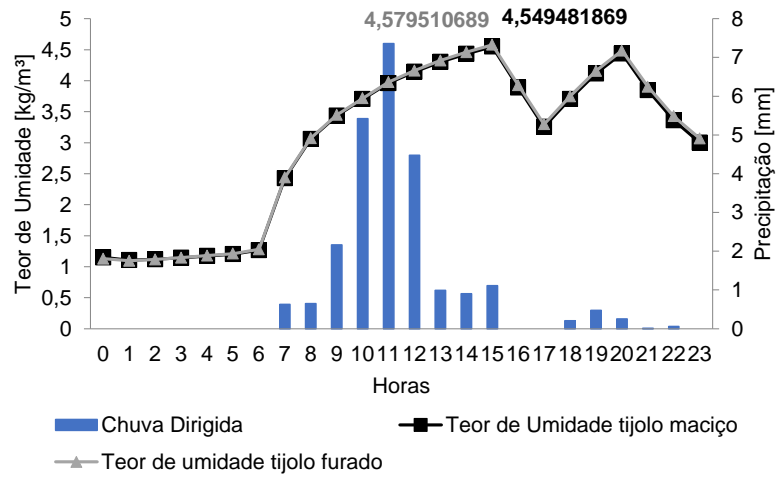
(fonte: elaborado pela autora)

Ao analisar a Figura 66 os gráficos de precipitação e umidade no interior da camada externa do sistema do dia de maior precipitação, com exceção da orientação oeste, observou-se que a precipitação no dia crítico ocorria em mais de um período, sendo que na orientação norte esses períodos eram separados por um máximo de 2 horas (16h e 17h), na sul por 3 horas (9, 10 e 11h) e na leste por 1 hora (7 ou 17h).

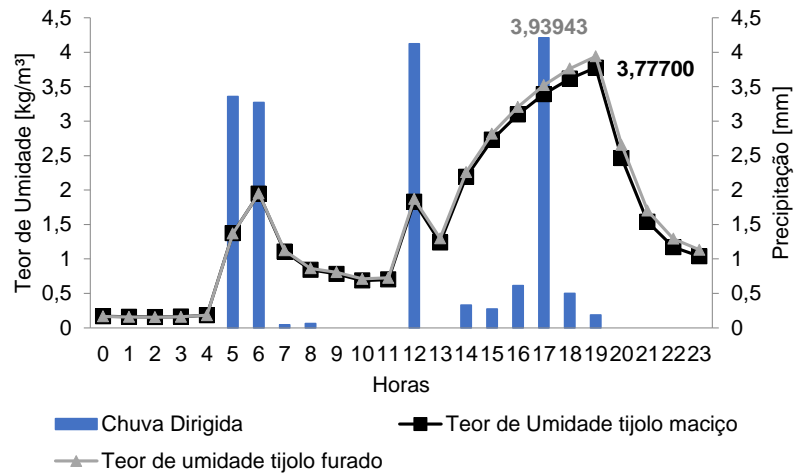


Figura 66 - Precipitação e teor de umidade da camada externa do sistema de vedação vertical simulado no dia com maior precipitação acumulada do mês com maior precipitação acumulada no ano típico, após estabilização dinâmica para a orientação: (a) norte; (b) sul; (c) leste; (d) oeste

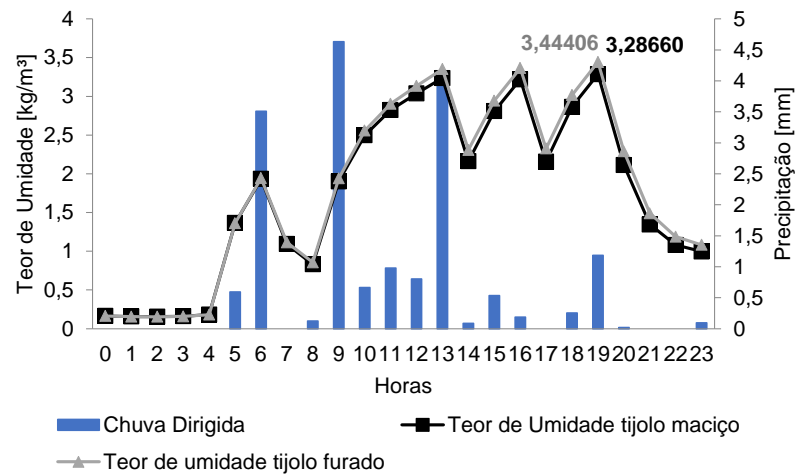
(continua)



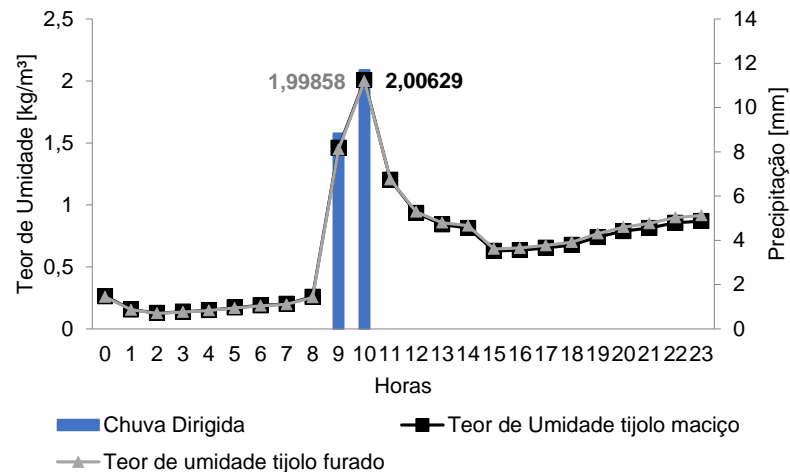
a



(conclusão)



c



d

(fonte: elaborado pela autora)

Dessa forma, para calcular o FIC, concluiu-se que estes períodos deveriam ser considerados como um só, uma vez que a umidade ficou armazenada dentro do sistema após o início da primeira precipitação, fazendo com que o teor de umidade, após a primeira ocorrência de chuva no dia, não tenha retornado ao valor inicial. Os horários correspondentes a cada teor de umidade, para cálculo do FIC, foram os mesmos, tanto para o sistema com tijolo maciço quanto com bloco cerâmico 6 furos, conforme a Tabela 28:

Tabela 28 - Horários correspondentes a cada teor de umidade, para cálculo do Fator de Impacto da Chuva (FIC).

Orientação cardial	Dia com maior precipitação acumulada (ano típico)	Horário correspondente a cada momento de extração de valores dos teores de umidade para o cálculo do FIC			
		t1	t1-1	t2	t2+5
Norte	15/dez	7h	6h	22h	3h <sup>1</sup>
Sul	25/out	5h	4h	19h	0h <sup>1</sup>
Leste	25/out	5h	4h	20h	1h <sup>1</sup>
Oeste	11/dez	9h	8h	10h	15h

<sup>1</sup> Considerar o dia seguinte a partir das 0h do dia com maior precipitação acumulada.

(fonte: elaborado pela autora)

A partir das análises realizadas sobre os resultados das simulações higrotérmicas, com os valores dos teores de umidade para a camada de revestimento externo de argamassa, realizaram-se os cálculos do FIC para as quatro orientações em estudo, para os dois SVVE (tijolo maciço e o bloco cerâmico 6 furos). Os resultados constam na Tabela 29, e foram coerentes com a Figura 61a, que ilustra o somatório de chuva incidente a que está submetido o sistema em estudo:

Tabela 29 - Valores necessários para o cálculo do e resultados do Fator de Impacto da Chuva (FIC) para o revestimento externo de argamassa para as quatro orientações, para substrato cm tijolo maciço e bloco cerâmico 6 furos.

Orientação cardial	Tijolo maciço			Bloco cerâmico 6 furos		
	t1-1 [kg/m <sup>3</sup> ]	Máximo teor de umidade entre t1 e t2+5	FIC	t1-1 [kg/m <sup>3</sup> ]	Máximo teor de umidade entre t1 e t2+5	FIC
Norte	1,27	4,55	3,59	1,28	4,58	3,58
Sul	0,18	3,78	20,65	0,18	3,94	21,73
Leste	0,18	3,29	18,13	0,18	3,44	19,14
Oeste	0,26	2,01	7,78	0,25	2,00	7,89

(fonte: elaborado pela autora)

Através da Tabela 29, pode-se observar que, antes do início da precipitação, independente do substrato, o revestimento externo de argamassa na fachada norte apresenta o maior teor de umidade, mesmo assim, resulta no menor valor de FIC. Já analisando as fachadas sul e leste, elas resultam nos maiores valores de FIC, justamente em função dos baixos teores de umidade

antes do início da precipitação. Quanto maior essa diferença dos teores de umidade, maiores os valores do FIC.

Ao realizar a ANOVA, assim como para Iit, definiu-se, inicialmente, a desconsideração da interação entre as variáveis orientação e tipo de substrato, novamente em função do paralelismo entre as retas obtidas no gráfico de FIC versus orientação. A Tabela 30 apresenta os resultados da ANOVA para o FIC, onde pode-se observar que, novamente, o tipo de substrato, nesse caso, o fator tipo “tipo de substrato”, não apresentou diferença estatística, o que reforça a liberdade no momento do mapeamento de danos não teria interferência do tipo de substrato na camada de revestimento externo, no que se refere aos impacto dos agentes climáticos de degradação aqui estudados. É importante ressaltar que tal conclusão é exclusiva para o revestimento externo, sendo que as demais camadas que compõe o SVVE necessitam de estudos para qualquer afirmação.

Tabela 30 - Análise de Variância (ANOVA) para o Fator de Impacto da Chuva (FIC).

Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	valor-P	Conclusão
Tipo de substrato	0,6007	1	0,6007	3,5630	0,1555	Não significativo
Orientação	427,8886	3	142,6295	845,9328	6,89E-05	Significativo
Erro	0,5058	3	0,1686			
Total	428,9951	7				
Legenda	SQ = soma quadrada; GL = graus de liberdade; MQ = média quadrada		F = Teste F valor-P = Probabilidade de Ocorrência			

(fonte: elaborado pela autora)

Com os resultados de FIC, realizou-se a comparação entre médias, assim como em Iit através da aplicação do e Teste t de Student com um intervalo com significância de 0,05 onde foi constatado que todas as orientações cardeais apresentam diferenças significativas. As médias de FIC e a comparação apresentados na Tabela 31.

Tabela 31 - Teste t de Student para o FIC.

Comparação	Sp <sup>2</sup>	t0	Teste t*
Norte com Sul	0,145813	46,104	diferentes
Norte com Leste	0,127525	42,1443	diferentes
Norte com Oeste	0,001525	108,831	diferentes

(continua)

(conclusão)

Sul com leste	0,273313	-4,887	diferentes
Sul com Oeste	0,147313	-34,796	diferentes
Leste com Oeste	0,129025	-30,067	diferentes
<i>Sp<sup>2</sup></i> é uma média entre as variâncias amostrais <i>S1<sup>2</sup></i> e <i>S2<sup>2</sup></i> , ponderada pelos respectivos graus de liberdade <i>n1 - 1</i> e <i>n2 - 1</i> .			
*para as médias serem consideradas iguais $-4,303 < t_0 < 4,303$ , sendo <i>t0</i> definido conforme distribuição t de Student com significância de 0,05 e 2 graus de liberdade			

(fonte: elaborado pela autora)

Os resultados de FIC vão ao encontro do constatado Figura 61a, (somatório da chuva dirigida), anualmente a maior intensidade de chuva dirigida ocorre na orientação leste, seguida pelo sul e, de forma similar, pelo norte e oeste. Mesmo assim, a orientação com maiores valores de FIC foi a Sul, isso porque apresentam mesmos teores de umidade antes dos episódios de chuva ocorrerem, sendo que a sul apresenta os maiores teores de umidade após chuva dirigida, observados na Tabela 29. Esses teores mais elevados no período pós-chuva para a fachada sul podem ser explicados pela menor incidência de radiação solar direta anual sobre essa fachada, dificultando a evaporação da água da chuva e, assim, permitindo maior velocidade de evaporação da água na fachada leste quando comparada à fachada sul. Este fenômeno ocorre de forma similar quando na comparação entre as fachadas norte e oeste, que apresentam o somatório de chuva dirigida anual muito próxima, no entanto, a orientação norte apresenta a radiação solar anual é mais pronunciada, Figura 61b facilitando, a evaporação da água da chuva.

Dessa forma, as análises através da simulação higrotérmica, junto às análises de Iit e FIC, permitem compreender que o substrato não interferiu na camada de revestimento externo de argamassa, quando se analisa a intensidade da temperatura e a umidade por chuva dirigida. Além disso, pode-se concluir que as orientações cardeais interferem de forma diferente quando se analisa Iit e FIC, sendo assim, devem ser ponderados de formas diferentes no momento de propor fatores de aumento da degradação dos revestimentos.

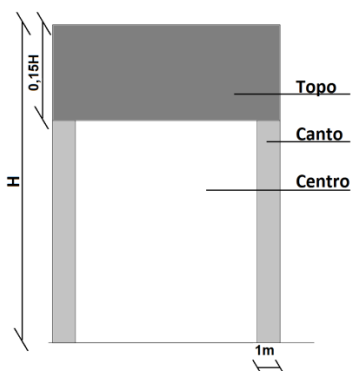
#### 4.3.2 ANÁLISE DO NÍVEL DE EXPOSIÇÃO DAS REGIÕES DA FACHADA FRENTE À CHUVA DIRIGIDA ATRAVÉS DE MODELOS REDUZIDOS

Conforme explicado no método, a partir das análises das regiões das fachadas frente à chuva dirigida, a região de topo é considerada 15% da altura, sendo medida a partir da extremidade superior para baixo. Os cantos do edifício são considerados as áreas a 1m de distância a partir do vértice da edificação para dentro. Dessa forma, como as edificações possuem alturas

diferentes, a altura do para cada edificação foi calculada de forma distinta. Algumas edificações que possuem desnível do solo, a altura considerada foi a de maior dimensão. A Tabela 32 apresenta a altura considerada topo para cada edificação.

Tabela 32 - Altura considerada para dimensão do topo de cada edificação analisada.

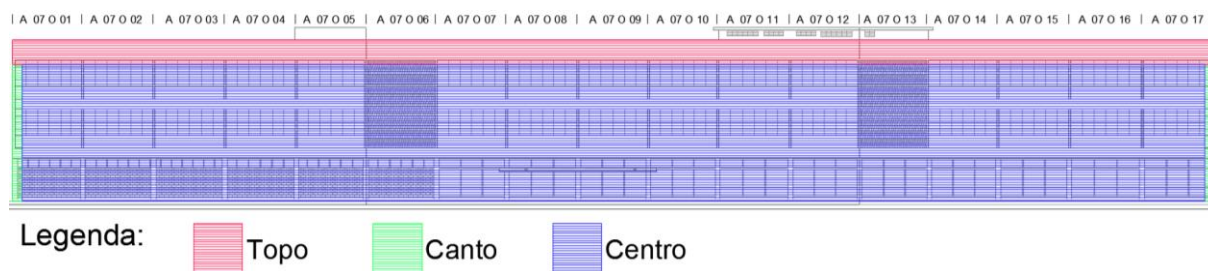
Edificação	Altura total (H) (m)	15% da altura (0,15H) (m)		Nº de módulos considerados
07	16,15	2,42		5
17	10,00 / 12,90	1,94		4
21	10,00 / 12,90	1,94		4
31	11,50	1,74		4
33	10,40 / 10,80	1,62		4
40	13,4 / 16,90	2,54		5



(fonte: elaborado pela autora)

Ainda é importante salientar que a região de cantos, nas edificações analisadas, somente existirá na primeira e última amostra de cada edifício, já que as amostras intermediárias não possuem o mesmo efeito da chuva dirigida como agente de degradação. A Figura 67 exemplifica a demarcação de cada região.

Figura 67 - Demarcação das regiões de topo, canto e centro. Exemplo do edifício 07, Centro de Tecnologia, prédio 07, da UFSM.



(fonte: elaborado pela autora)

### 4.3.3 COEFICIENTES TENDÊNCIA RESULTANTES DAS ANÁLISES

A partir dos cálculos de Iit e FIC, bem como análise das regiões das fachadas mais afetadas pela chuva dirigida foram propostos os valores dos coeficientes de tendência,  $K_{it}$  e  $K_{cd}$ . Através das análises do Iit, percebe-se que as orientações norte e oeste apresentam-se como as mais

agressivas as fachadas, sendo a sul e leste as menos agressivas. Desta forma, quando há apenas duas situações, os valores atribuídos para  $K_{it}$  serão 1 para o caso mais brando (sul e leste) e 2 para o mais severo (norte e oeste), conforme a Tabela 33.

Tabela 33 - Coeficientes relacionados ao Impacto da Temperatura

Orientação Cardeal	$K_{it}$
Sul e Leste	1
Norte e Oeste	2

(fonte: elaborado pela autora)

Partindo de todas as discussões acerca de chuva dirigida, entendendo que a exposição ao fenômeno é diretamente proporcional à tendência de desenvolvimento de diversas manifestações patológicas relacionadas à umidade, com base dos resultados das análises de FIC e das do nível de exposição das regiões da fachada frente à chuva dirigida através de modelos reduzidos atribuiu-se diferentes valores para os coeficientes conforme a orientação solar e a região da fachada analisada. Conforme o método, os valores de  $K_{cd}$  no intervalo de 1 e 1,5 e distribuídos valores intermediários proporcionais ao resultado de FIC de cada orientação.

Como será realizado uma análise conjunta, orientação e região de fachada, os valores resultantes desta distribuição entre 1 e 1,5 serão atribuídos para a região centro, considerada a menos exposta a chuva dirigida. Para a região canto será acrescido 0,15 sobre o valor da região centro, e para a região topo o valor de 0,50, (conforme a Tabela 19 do item 3.2.4) assim a distribuição o valor de  $K_{cd}$  será igual a 1 para o caso mais brando (orientação norte, região centro) e 2 para o mais severo (orientação sul, região topo). A Tabela 34 apresenta a o resultado dos valores conforme as análises.

Tabela 34 - Coeficientes relacionados à chuva dirigida ( $k_{cd}$ ).

Orientação Cardeal	FIC	Centro	Canto	Topo
<b>Sul</b>	21,19	1,50	1,65	2,00
<b>Leste</b>	18,64	1,43	1,58	1,93
<b>Oeste</b>	7,83	1,12	1,27	1,62
<b>Norte</b>	3,59	1,00	1,15	1,50

(fonte: elaborado pela autora)

#### 4.4 RESULTADO DAS ANÁLISES DOS INDICADORES

Para compreender o estado de conservação e os processos de degradação, bem como suas causas, é necessário o acompanhamento das condições apresentadas pelas fachadas para, então, poder sugerir ações de intervenção. (VERDUM *et al.*, 2021). O método de acompanhamento proposto no presente trabalho é através do Índice de Gravidade (IG) seguido pelo Índice de tendência e Urgência (ITU), para traçar estratégias de intervenção.

Há estudos que consideram os custos de reparação das manifestações patológicas para a classificação dos níveis destas manifestações, resultando em diferentes coeficientes. (GASPAR; BRITO, 2008, 2010, 2011). No entanto, entende-se que gravidade de uma manifestação patológica não está relacionada aos custos de reparo, caso estivesse, nos locais onde estes custos são menores, a manifestação seria considerada menos grave, por exemplo, uma fissura em uma cidade seria mais grave que em outra, não pela tendência de agravamento ou pelo clima ser diferente, mas pelo custo de reparo desta fissura. Discordando deste conceito, o presente trabalho relaciona a gravidade com as possíveis consequências, por exemplo, as consequências de uma fissura independem do valor que terá que ser desprendido para seu reparo, ou seja, os custos não tornam uma manifestação mais ou menos grave.

Outro estudo realizado por Bauer, Souza e Mota (2021), em que busca investigar a gravidade e a extensão da degradação de fachadas com revestimento de argamassa, apontou a fissura como a manifestação patológica mais crítica, o que vai ao encontro do proposto por Bauer *et al.* (2020) ao propor um índice de importância relativa (IR) entre as manifestações patológicas, correlacionando as causas e a influência no desempenho dos revestimentos de argamassa, em que consideraram fissura como sendo a de maior gravidade. Diferentemente de Bauer *et al.* (2020) e Bauer, Souza e Mota (2021), o presente trabalho não considera a fissura como a manifestação mais grave, já que seu reparo não exige a substituição do revestimento. Entende-se que as manifestações mais graves são as de maior nível, as que englobam diversos tipos de perda de aderência entre o substrato e o revestimento de argamassa, onde a solução é a substituição do revestimento que não está mais consolidado, classificadas no nível 5, como por exemplo descolamentos, deslocamentos e demais manifestações patológicas. Este entendimento vai ao encontro de Gaspar e Brito (2011), que constataram em seu estudo que estes tipos de manifestações representam o limite de durabilidade física para revestimentos de argamassa, já que a perda de adesão faz com que o revestimento deixe de proteger o sistema de vedação vertical e representa um risco para os usuário pela possibilidade de acidentes.



Ao analisas os indicadores de cada amostra, de cada edifício é possível observar quais as amostras com maiores e menores índices e apontar quais as amostras com maior urgência de intervenção. Os valores dos indicadores IG e ITU de todas as amostras de cada edificação, bem como as áreas e coeficientes necessários para calculá-los, são apresentados no Apêndice D.

A Tabela 35 apresenta os resultados dos indicadores para o edifício 33.

Tabela 35 – Resultados de IG (índice de gravidade) e ITU (índice de tendência e urgência) para o edifício 33

(continua)

Edifício	Amostra	Orientação	Idade	IG total	ITU Médio
Edifício 33	1	Norte	28	0,01	0,52
Edifício 33	1	Sul	28	0,17	1,46
Edifício 33	1	Leste	28	0,40	2,03
Edifício 33	2	Leste	28	0,08	1,19
Edifício 33	3	Leste	28	0,19	1,50
Edifício 33	4	Leste	28	0,23	1,63
Edifício 33	5	Leste	28	0,29	1,75
Edifício 33	6	Leste	28	0,21	1,53
Edifício 33	7	Leste	28	0,14	1,36
Edifício 33	8	Leste	28	0,09	1,24
Edifício 33	9	Leste	28	0,23	1,59
Edifício 33	10	Leste	28	0,20	1,50
Edifício 33	11	Leste	28	0,05	1,14
Edifício 33	12	Leste	28	0,02	0,56
Edifício 33	13	Leste	28	0,07	0,71
Edifício 33	14	Leste	28	0,22	1,55
Edifício 33	15	Leste	28	0,18	1,45
Edifício 33	16	Leste	28	0,10	1,23
Edifício 33	17	Leste	28	0,13	1,31
Edifício 33	18	Leste	28	0,17	1,42
Edifício 33	1	Oeste	28	0,04	1,14
Edifício 33	2	Oeste	28	0,01	0,53
Edifício 33	3	Oeste	28	0,05	1,15
Edifício 33	4	Oeste	28	0,25	1,84
Edifício 33	5	Oeste	28	0,17	1,58
Edifício 33	6	Oeste	28	0,22	1,74
Edifício 33	7	Oeste	28	0,20	1,70
Edifício 33	8	Oeste	28	0,17	1,59
Edifício 33	9	Oeste	28	0,24	1,84
Edifício 33	10	Oeste	28	0,17	1,61
Edifício 33	11	Oeste	28	0,15	1,50
Edifício 33	12	Oeste	28	0,16	1,55
Edifício 33	13	Oeste	28	0,20	1,68
Edifício 33	14	Oeste	28	0,15	1,50

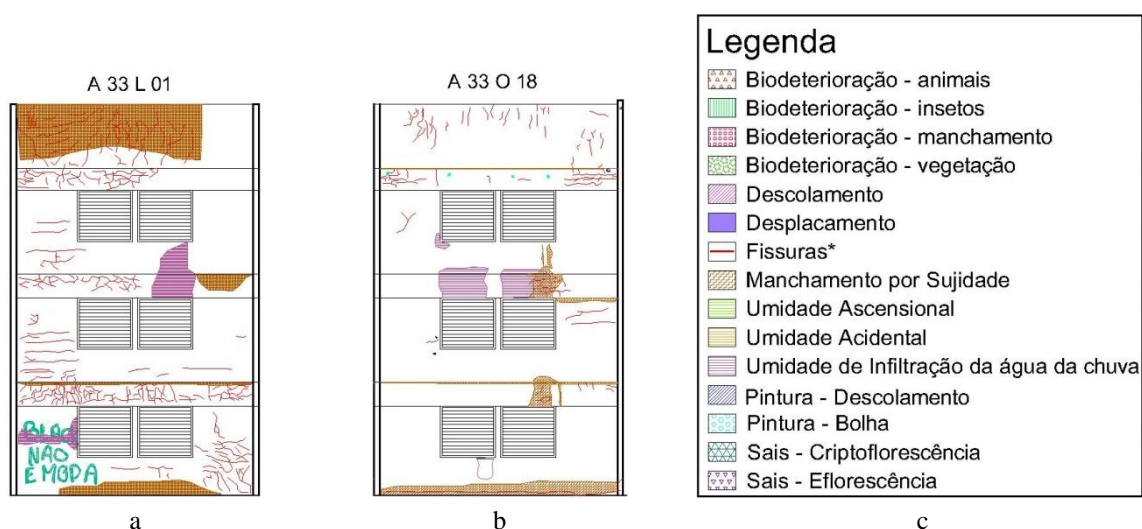
(conclusão)

<b>Edifício 33</b>	<b>15</b>	<b>Oeste</b>	<b>28</b>	<b>0,15</b>	<b>1,46</b>
<b>Edifício 33</b>	16	Oeste	28	0,16	1,51
<b>Edifício 33</b>	17	Oeste	28	0,07	1,21
<b>Edifício 33</b>	18	Oeste	28	<b>0,32</b>	<b>2,04</b>

(fonte: elaborado pela autora)

Através da Tabela 35 é possível observar que as amostras 01 da orientação Leste apresentou o maior IG, com valor igual a 0,40 e a amostra 18 oeste apresentou o maior ITU com valor igual a 2,04, seguido pela amostra 01 leste, com ITU igual a 2,03. Assim, mesmo com gravidade mais baixa no momento do levantamento, a prioridade de intervenção entre as duas amostras, é muito próxima, sendo que a amostra 18 oeste tem preferência já que tem maiores probabilidades de aumento da gravidade. Também verifica-se que as amostras 01 norte e 02 oeste apresentaram os menores indicadores, sendo as de menor gravidade no momento e menores riscos de agravamento. A Figura 68 ilustra o mapeamento de danos de ambas amostras.

Figura 68 - Amostras 01 leste 18 oeste do edifício 33: (a) amostra 01 leste; (b) amostra 18 oeste.



(fonte: elaborado pela autora)

A Tabela 36 apresenta os resultados dos indicadores para o edifício 31.

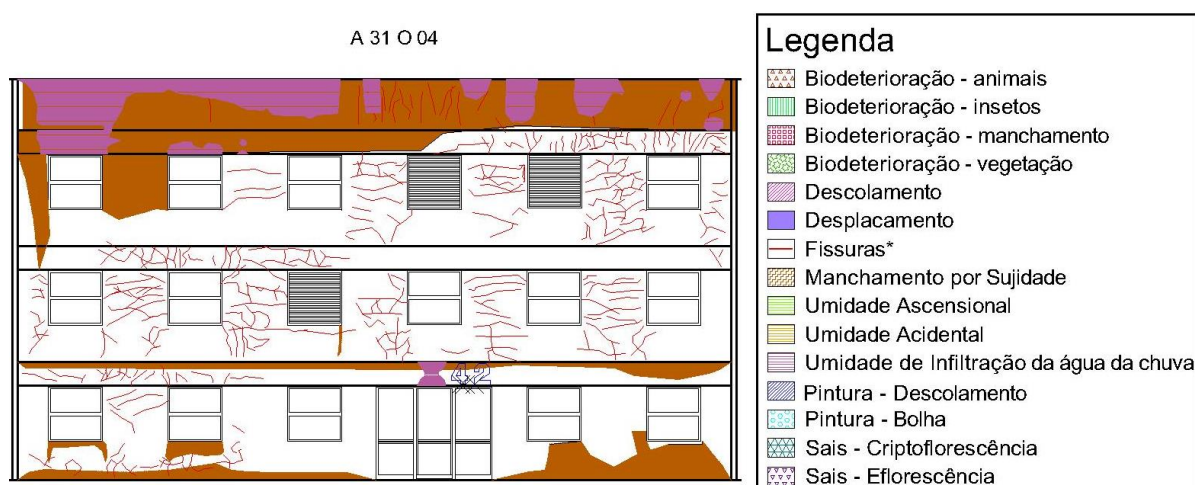
Tabela 36 – Resultados de IG (índice de gravidade) e ITU (índice de tendência e urgência) para o edifício 31

Edifício	Amostra	Orientação	Idade	IG total	ITU Médio
Edifício 31	1	Norte	28	0,15	1,46
Edifício 31	1	Sul	28	0,28	1,71
Edifício 31	1	Leste	28	0,22	1,57
Edifício 31	2	Leste	28	0,33	1,89
Edifício 31	3	Leste	28	0,38	2,01
Edifício 31	4	Leste	28	0,33	1,86
Edifício 31	5	Leste	28	0,24	1,60
Edifício 31	6	Leste	28	0,32	1,81
Edifício 31	1	Oeste	28	0,47	2,55
Edifício 31	2	Oeste	28	0,45	2,49
Edifício 31	3	Oeste	28	0,16	1,56
Edifício 31	4	Oeste	28	0,58	2,91
Edifício 31	5	Oeste	28	0,30	1,98
Edifício 31	6	Oeste	28	0,23	1,75

(fonte: elaborado pela autora)

Partindo dos resultados, é possível observar que as amostras 04 da orientação Oeste apresentou o maior IG, sendo igual a 0,58, e o maior ITU, igual a 2,91 e a amostra 01 norte o menor valor de IG e ITU. Vale ressaltar que nenhuma amostra possui IG e ITU igual ou próximas a zero, como ocorre com outras edificações. O mapeamento de danos da amostra 04 é ilustrado na Figura 69

Figura 69 - Amostra 04 oeste do edifício 31



(fonte: elaborado pela autora)

A Tabela 37 apresenta os resultados dos indicadores para o edifício 21,

Tabela 37 – Resultados de IG (índice de gravidade) e ITU (índice de tendência e urgência) para o edifício 21

(continua)

Edifício	Amostra	Orientação	Idade	IG total	ITU Médio
Edifício 21	1	Norte	40	0,08	1,26
Edifício 21	1	Sul	40	0,13	1,36
Edifício 21	1	Leste	40	0,00	0,00
Edifício 21	2	Leste	40	0,00	0,00
Edifício 21	3	Leste	40	0,14	1,33
Edifício 21	4	Leste	40	0,16	1,39
Edifício 21	5	Leste	40	0,20	1,51
Edifício 21	6	Leste	40	0,19	1,47
Edifício 21	7	Leste	40	0,22	1,56
Edifício 21	8	Leste	40	0,20	1,50
Edifício 21	9	Leste	40	0,03	1,07
Edifício 21	10	Leste	40	0,13	1,35
Edifício 21	11	Leste	40	0,11	1,27
Edifício 21	12	Leste	40	0,05	1,16
Edifício 21	13	Leste	40	0,02	1,07
Edifício 21	14	Leste	40	0,07	1,18
Edifício 21	15	Leste	40	0,20	1,50
Edifício 21	16	Leste	40	0,03	0,59
Edifício 21	17	Leste	40	0,01	1,04
Edifício 21	18	Leste	40	0,12	1,34
Edifício 21	19	Leste	40	0,08	1,22
Edifício 21	20	Leste	40	0,02	1,06
Edifício 21	21	Leste	40	0,11	1,29
Edifício 21	22	Leste	40	0,05	1,12
Edifício 21	23	Leste	40	0,04	1,11
Edifício 21	24	Leste	40	0,11	1,27
Edifício 21	25	Leste	40	0,04	1,11
Edifício 21	26	Leste	40	0,07	1,19
Edifício 21	27	Leste	40	0,23	1,59
Edifício 21	1	Oeste	40	0,20	1,69
Edifício 21	2	Oeste	40	0,12	1,41
Edifício 21	3	Oeste	40	0,10	1,35
Edifício 21	4	Oeste	40	0,27	1,95
Edifício 21	5	Oeste	40	0,15	1,53
Edifício 21	6	Oeste	40	0,09	1,30
Edifício 21	7	Oeste	40	0,10	1,34
Edifício 21	8	Oeste	40	0,07	1,25
Edifício 21	9	Oeste	40	0,07	1,22
Edifício 21	10	Oeste	40	0,25	1,89
Edifício 21	11	Oeste	40	0,07	1,26
Edifício 21	12	Oeste	40	0,07	1,26
Edifício 21	13	Oeste	40	0,03	1,09
Edifício 21	14	Oeste	40	0,01	1,03
Edifício 21	15	Oeste	40	0,08	1,27

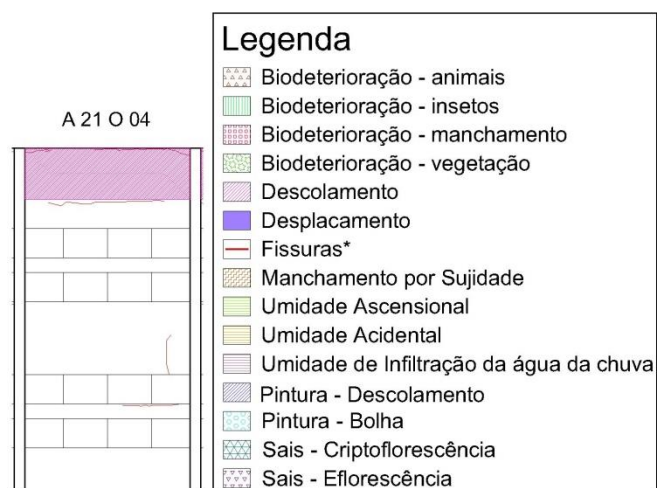
(conclusão)

<b>Edifício 21</b>	<b>16</b>	<b>Oeste</b>	<b>40</b>	<b>0,06</b>	<b>1,19</b>
<b>Edifício 21</b>	17	Oeste	40	0,24	1,82
<b>Edifício 21</b>	18	Oeste	40	0,08	1,28
<b>Edifício 21</b>	19	Oeste	40	0,10	1,34
<b>Edifício 21</b>	20	Oeste	40	0,03	1,11
<b>Edifício 21</b>	21	Oeste	40	0,05	1,16
<b>Edifício 21</b>	22	Oeste	40	0,00	0,00
<b>Edifício 21</b>	23	Oeste	40	0,02	1,07
<b>Edifício 21</b>	24	Oeste	40	0,07	1,23
<b>Edifício 21</b>	25	Oeste	40	0,00	0,00
<b>Edifício 21</b>	26	Oeste	40	0,02	1,06
<b>Edifício 21</b>	27	Oeste	40	0,00	0,00

(fonte: elaborado pela autora)

Através dos indicadores percebe-se que a amostra 04 oeste (Figura 70) apresenta o maior IG bem como o maior ITU, e as amostras 1 e 2 leste, 22, 25 e 27 oeste possuem os indicadores igual a zero, além de diversas amostras com valores próximos a zero. Desta forma percebe-se que esta edificação possui diversas amostras sem necessidade de intervenções de manutenção.

Figura 70 - Amostra 04 oeste do edifício 21



(fonte: elaborado pela autora)

A Tabela 38 apresenta os resultados dos indicadores para o edifício 17:

Tabela 38 – Resultados de IG (índice de gravidade) e ITU (índice de tendência e urgência) para o edifício 17

(continua)

Edifício	Amostra	Orientação	Idade	IG total	ITU Médio
Edifício 17	1	Norte	40	0,06	1,19
Edifício 17	1	Sul	40	0,07	1,18
Edifício 17	1	Leste	40	0,00	0,00
Edifício 17	2	Leste	40	0,10	1,25
Edifício 17	3	Leste	40	0,14	1,39
Edifício 17	4	Leste	40	0,02	1,07
Edifício 17	5	Leste	40	0,03	1,07
Edifício 17	6	Leste	40	0,03	1,08
Edifício 17	7	Leste	40	0,04	1,11
Edifício 17	8	Leste	40	0,01	0,52
Edifício 17	9	Leste	40	0,02	1,05
Edifício 17	10	Leste	40	0,04	1,10
Edifício 17	11	Leste	40	0,06	1,15
Edifício 17	12	Leste	40	0,07	1,20
Edifício 17	13	Leste	40	0,04	1,10
Edifício 17	14	Leste	40	0,04	1,11
Edifício 17	15	Leste	40	0,02	1,07
Edifício 17	16	Leste	40	0,02	1,05
Edifício 17	17	Leste	40	0,03	1,09
Edifício 17	18	Leste	40	0,03	1,07
Edifício 17	19	Leste	40	0,04	1,11
Edifício 17	20	Leste	40	0,07	1,18
Edifício 17	21	Leste	40	0,02	1,05
Edifício 17	22	Leste	40	0,03	1,07
Edifício 17	23	Leste	40	0,02	1,05
Edifício 17	24	Leste	40	0,00	1,01
Edifício 17	25	Leste	40	0,07	1,18
Edifício 17	26	Leste	40	0,06	1,16
Edifício 17	27	Leste	40	0,02	0,54
Edifício 17	1	Oeste	40	0,03	0,58
Edifício 17	2	Oeste	40	0,30	2,05
Edifício 17	3	Oeste	40	0,06	1,19
Edifício 17	4	Oeste	40	0,07	1,24
Edifício 17	5	Oeste	40	0,41	2,45
Edifício 17	6	Oeste	40	0,31	2,12
Edifício 17	7	Oeste	40	0,04	0,64
Edifício 17	8	Oeste	40	0,03	1,09
Edifício 17	9	Oeste	40	0,07	1,22
Edifício 17	10	Oeste	40	0,09	1,28
Edifício 17	11	Oeste	40	0,11	1,36
Edifício 17	12	Oeste	40	0,05	1,18
Edifício 17	13	Oeste	40	0,06	1,19
Edifício 17	14	Oeste	40	0,26	1,90
Edifício 17	15	Oeste	40	0,26	1,91

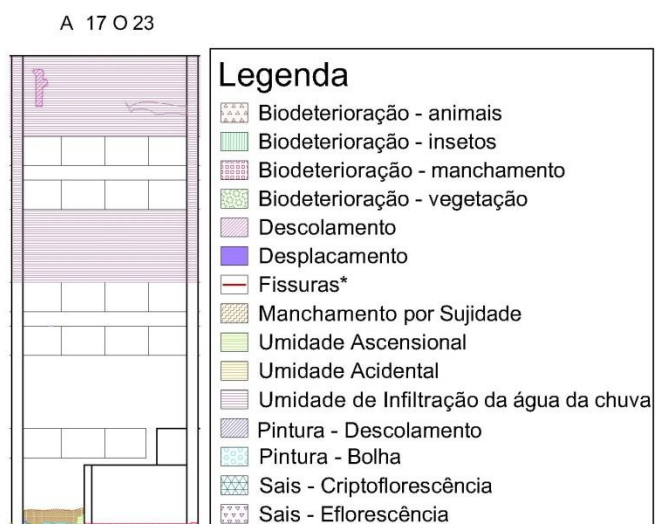
(conclusão)

Edifício 17	16	Oeste	40	0,26	1,90
Edifício 17	17	Oeste	40	0,36	2,26
Edifício 17	18	Oeste	40	0,40	2,36
Edifício 17	19	Oeste	40	0,36	2,22
Edifício 17	20	Oeste	40	0,37	2,27
Edifício 17	21	Oeste	40	0,34	2,17
Edifício 17	22	Oeste	40	0,34	2,18
Edifício 17	23	Oeste	40	0,48	2,62
Edifício 17	24	Oeste	40	0,30	2,05
Edifício 17	25	Oeste	40	0,14	1,44
Edifício 17	26	Oeste	40	0,05	1,19
Edifício 17	27	Oeste	40	0,37	2,35

(fonte: elaborado pela autora)

Através da Tabela 38 observa-se que a amostra 23 oeste (Figura 71) apresenta o maior IG e maior ITU, e a amostra 01 leste os indicadores zerados. Diversas amostras da orientação leste desta edificação apresentaram baixos valores para ambos indicadores, o que indicam a necessidade de intervenções com menores urgências.

Figura 71 - Amostra 23 oeste do edifício 17



(fonte: elaborado pela autora)

A Tabela 39 apresenta os resultados dos indicadores para o edifício 40:

Tabela 39 – Resultados de IG (índice de gravidade) e ITU (índice de tendência e urgência) para o edifício 40.

(continua)

Edifício	Amostra	Orientação	Idade	IG total	ITU Médio
Edifício 40	1	Norte	49	0,06	1,19
Edifício 40	1	Sul	49	0,02	0,56
Edifício 40	1	Leste	49	0,03	0,59
Edifício 40	2	Leste	49	0,05	1,12
Edifício 40	3	Leste	49	0,01	1,04
Edifício 40	4	Leste	49	0,00	0,00
Edifício 40	5	Leste	49	0,05	1,13
Edifício 40	6	Leste	49	0,03	1,08
Edifício 40	7	Leste	49	0,02	0,56
Edifício 40	8	Leste	49	0,04	1,13
Edifício 40	9	Leste	49	0,02	1,06
Edifício 40	10	Leste	49	0,00	0,51
Edifício 40	11	Leste	49	0,02	1,06
Edifício 40	12	Leste	49	0,03	1,09
Edifício 40	13	Leste	49	0,02	1,07
Edifício 40	14	Leste	49	0,04	1,10
Edifício 40	15	Leste	49	0,01	0,54
Edifício 40	16	Leste	49	0,06	1,18
Edifício 40	17	Leste	49	0,11	1,30
Edifício 40	18	Leste	49	0,03	1,10
Edifício 40	19	Leste	49	0,06	1,16
Edifício 40	20	Leste	49	0,00	0,00
Edifício 40	21	Leste	49	0,00	0,00
Edifício 40	22	Leste	49	0,00	0,00
Edifício 40	23	Leste	49	0,00	0,00
Edifício 40	24	Leste	49	0,01	0,53
Edifício 40	25	Leste	49	0,01	1,02
Edifício 40	26	Leste	49	0,05	1,14
Edifício 40	27	Leste	49	0,00	0,00
Edifício 40	1	Oeste	49	0,07	1,25
Edifício 40	2	Oeste	49	0,05	1,19
Edifício 40	3	Oeste	49	0,04	1,13
Edifício 40	4	Oeste	49	0,06	1,21
Edifício 40	5	Oeste	49	0,06	1,22
Edifício 40	6	Oeste	49	0,05	1,16
Edifício 40	7	Oeste	49	0,03	1,11
Edifício 40	8	Oeste	49	0,02	1,07
Edifício 40	9	Oeste	49	0,03	1,11
Edifício 40	10	Oeste	49	0,05	1,16
Edifício 40	11	Oeste	49	0,01	0,55
Edifício 40	12	Oeste	49	0,02	0,58
Edifício 40	13	Oeste	49	0,01	0,55
Edifício 40	14	Oeste	49	0,03	1,12
Edifício 40	15	Oeste	49	0,05	1,16



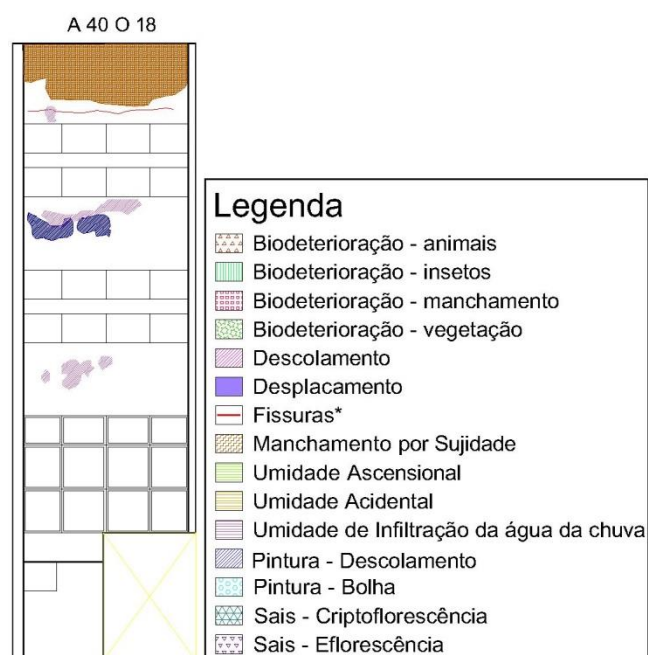
(conclusão)

<b>Edifício 40</b>	<b>16</b>	<b>Oeste</b>	<b>49</b>	<b>0,08</b>	<b>1,27</b>
<b>Edifício 40</b>	17	Oeste	49	0,14	1,45
<b>Edifício 40</b>	18	Oeste	49	0,16	1,55
<b>Edifício 40</b>	19	Oeste	49	0,04	0,66
<b>Edifício 40</b>	20	Oeste	49	0,11	1,38
<b>Edifício 40</b>	21	Oeste	49	0,12	1,41
<b>Edifício 40</b>	22	Oeste	49	0,06	1,23
<b>Edifício 40</b>	23	Oeste	49	0,07	1,25
<b>Edifício 40</b>	24	Oeste	49	0,03	1,11
<b>Edifício 40</b>	25	Oeste	49	0,07	1,24
<b>Edifício 40</b>	26	Oeste	49	0,04	1,14
<b>Edifício 40</b>	27	Oeste	49	0,03	1,09

(fonte: elaborado pela autora)

A edificação 40 apresenta, de forma geral, baixos valores de IG e ITU quando comparada às demais, sendo a amostra 18 oeste (Figura 72) a de maior IG e ITU, sendo a que necessita de intervenção com maior urgência quando se analisa esta edificação de forma isolada. Diversas amostras apresentaram o valor igual a zero para os indicadores, como 04, 20, 21, 22, 23 e 27 todas para orientação leste.

Figura 72 - Amostra 18 do edifício 40



(fonte: elaborado pela autora)

A Tabela 40 apresenta os resultados dos indicadores para o edifício 07:

Tabela 40 – Resultados de IG (índice de gravidade) e ITU (índice de tendência e urgência) para o edifício 07

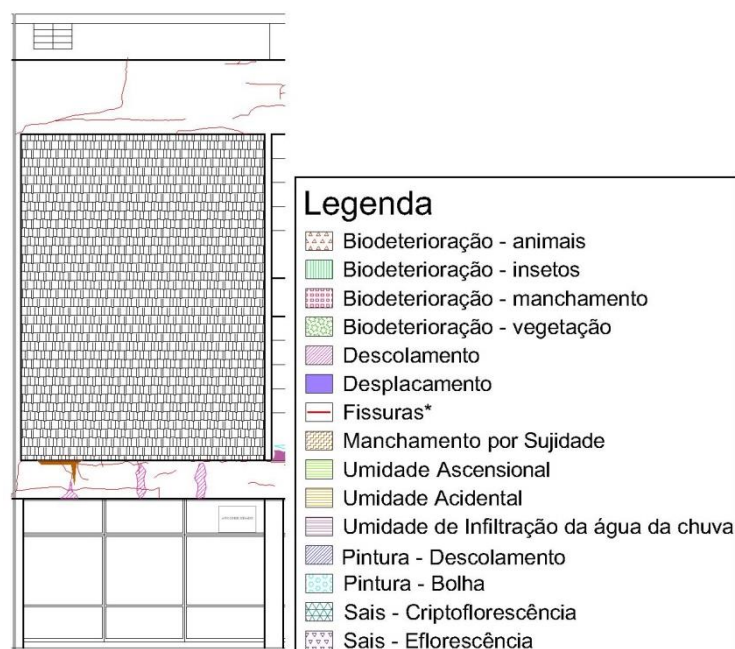
Edifício	Amostra	Orientação	Idade	IG total	ITU Médio
Edifício 07	1	Norte	58	0,10	1,33
Edifício 07	1	Sul	58	0,05	1,14
Edifício 07	1	Leste	58	0,34	1,85
Edifício 07	2	Leste	58	0,30	1,77
Edifício 07	3	Leste	58	0,25	1,62
Edifício 07	4	Leste	58	0,24	1,60
Edifício 07	5	Leste	58	0,23	1,57
Edifício 07	6	Leste	58	0,26	1,67
Edifício 07	7	Leste	58	0,24	1,61
Edifício 07	8	Leste	58	0,30	1,78
Edifício 07	9	Leste	58	0,12	1,32
Edifício 07	10	Leste	58	0,24	1,64
Edifício 07	11	Leste	58	0,14	1,35
Edifício 07	12	Leste	58	0,17	1,43
Edifício 07	13	Leste	58	0,38	2,01
Edifício 07	14	Leste	58	0,18	1,47
Edifício 07	15	Leste	58	0,17	1,41
Edifício 07	16	Leste	58	0,14	1,37
Edifício 07	17	Leste	58	0,30	1,76
Edifício 07	1	Oeste	58	0,06	1,17
Edifício 07	2	Oeste	58	0,04	1,13
Edifício 07	3	Oeste	58	0,05	1,14
Edifício 07	4	Oeste	58	0,03	0,59
Edifício 07	5	Oeste	58	0,08	1,25
Edifício 07	6	Oeste	58	0,05	1,15
Edifício 07	7	Oeste	58	0,09	1,30
Edifício 07	8	Oeste	58	0,05	1,16
Edifício 07	9	Oeste	58	0,10	1,32
Edifício 07	10	Oeste	58	0,05	1,17
Edifício 07	11	Oeste	58	0,03	1,08
Edifício 07	12	Oeste	58	0,03	0,58
Edifício 07	13	Oeste	58	0,03	1,10
Edifício 07	14	Oeste	58	0,04	1,13
Edifício 07	15	Oeste	58	0,07	1,23
Edifício 07	16	Oeste	58	0,09	1,28
Edifício 07	17	Oeste	58	0,08	1,26

(fonte: elaborado pela autora)

A edificação 07 é a mais antiga entre as analisadas. Através dos resultados é possível observar que a amostras 13 da orientação leste (Figura 73) apresentou o maior IG (0,38) bem como o maior ITU (2,01), sendo a amostra com maior urgência de intervenção para esta edificação. As

amostras 11, 12 e 13 da orientação oeste apresentaram os menores IGs, no entanto a 12 o menor ITU, representando a amostra com menor urgência de intervenção.

Figura 73 - Amostra 13 leste do edifício 07



(fonte: elaborado pela autora)

Quando se analisa os resultados de todas as amostras das edificações, percebe-se que a amostra 04 oeste da edificação 31 (Figura 74) os maiores índices, tanto para IG (0,58) quanto para ITU (2,91). Também percebe-se que quando 3 amostras da edificação 31 estão entre as 5 amostras de maiores índices, sendo elas as amostras 1, 2 e 4 da orientação oeste, e as demais pertencentes a edificação 17 (amostras 5 e 23).

Figura 74 - Fachada do edifício 31, orientação Oeste, onde a amostra 04 foi a com maior Índice de Gravidade (IG) (0,58). (a) planificação fachada inteira; (b) planificação amostra 04.

(continua)



a

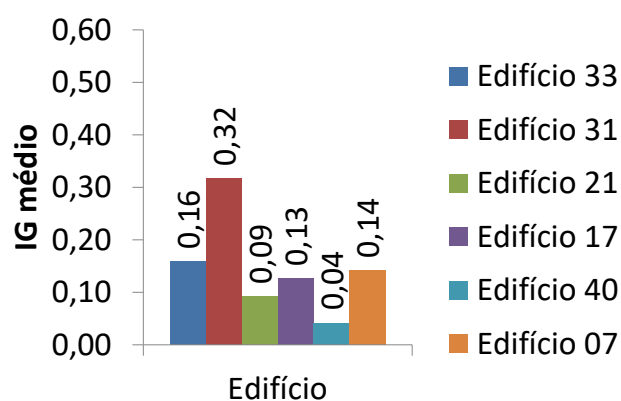


b

Ao verificar as amostras com ITU igual a zero, ou seja, amostras que não apontaram necessidade de intervenção, encontram-se 12 amostras, sendo 6 pertencentes a edificação 40, 5 a edificação 21 e 1 a edificação 17.

Além disso ao analisar os resultados dos índices de gravidade geral, para todas as edificações, através da Figura 75, percebe-se que há grandes diferenças entre as edificações, mesmo que sejam executadas e tenham características arquitetônicas semelhantes e estando submetidas ao mesmo clima. Observa-se que a edificação que resultou o maior índice de gravidade (IG) foi a edificação 31, e a menor a 40.

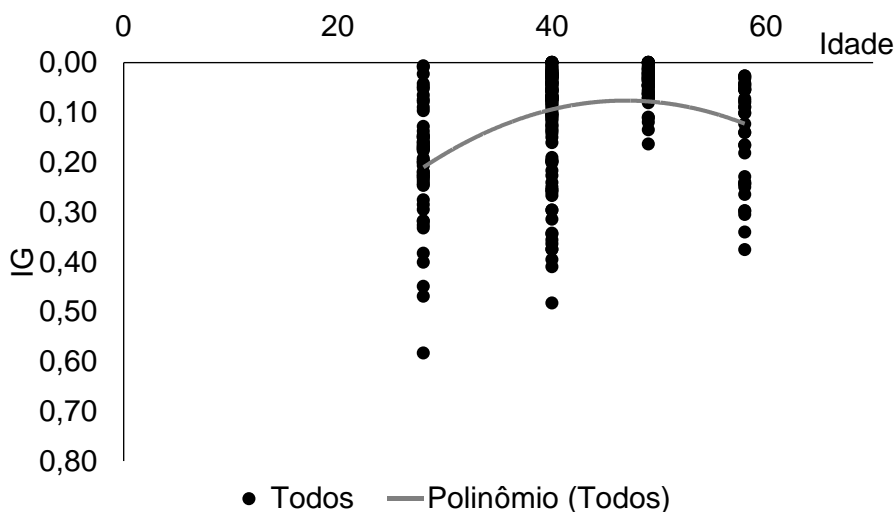
Figura 75 – Índice de Gravidade (IG) médio para cada edificação



(fonte: elaborado pela autora)

Vale ressaltar que, como apresentado na Figura 76, as edificações com os maiores IG não são as mais antigas.

Figura 76 - Gráfico do Índice de Gravidade (IG) vs. idade para todas as amostras.



(fonte: elaborado pela autora)

Para que sejam traçadas estratégias de manutenção preventiva, será necessária a realização da manutenção preditiva quando for considerado que o sistema de revestimento atingiu o máximo IG admissível para a realização das ações de manutenção. O IG máximo admissível é subjetivo e depende dos valores de uma comunidade. Conforme Pereira *et al.* (2018), a vida útil é afetada tanto pelo desempenho quanto pela degradação, assim o elemento que está sendo avaliado deverá responder às exigências mínimas de desempenho, de acordo com a definição do nível mínimo de exigência. Este nível mínimo de desempenho aceitável deve ser diferente de 0% e corresponderá ao nível máximo de degradação admitida, que deverá ser diferente dos 100% de degradação. O nível mínimo admissível de desempenho é intrínseco ao fim da vida útil, em termos de segurança, funcionalidade ou aparência, sendo que apenas a segurança é mais diretamente determinável e os demais variam conforme de critérios de aceitação que também associado à imagem do edifício.

Com o IG máximo admissível determinado poderá ser traçada uma curva com o IG real junto aos limites admissíveis, que corresponderá ao limite de desempenho mínimo requerido, como na Figura 77 e Figura 78. A partir destes limites, considera-se o fim da vida útil, e, assim, as ações de manutenção devem preceder estes limites.

Figura 77 – Curva de desempenho ao longo do tempo, com limite de desempenho mínimo requerido.

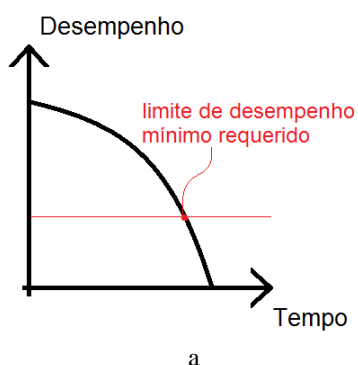
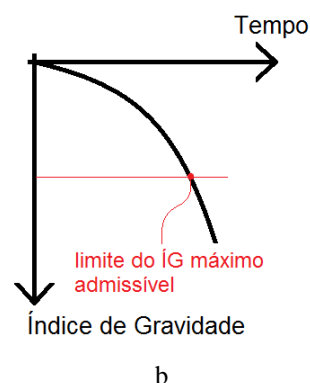


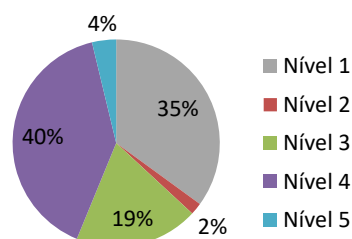
Figura 78 - Curva do IG ao longo do tempo, com limite máximo admissível.



(fonte: elaborado pela autora)

Ao analisar a área degradada por cada nível de gravidade, (Figura 79) percebe-se que os níveis 1 e 4 se destacam em relação aos demais, mas vale ressaltar que, em uma mesma área da fachada pode estar degradada por mais de um tipo de manifestação patológicas que estão agrupadas em níveis distintos, como por exemplo, manchamento por sujeidade, classificada como nível 1 e umidade por precipitação (infiltração da água da chuva), classificada como nível 4.

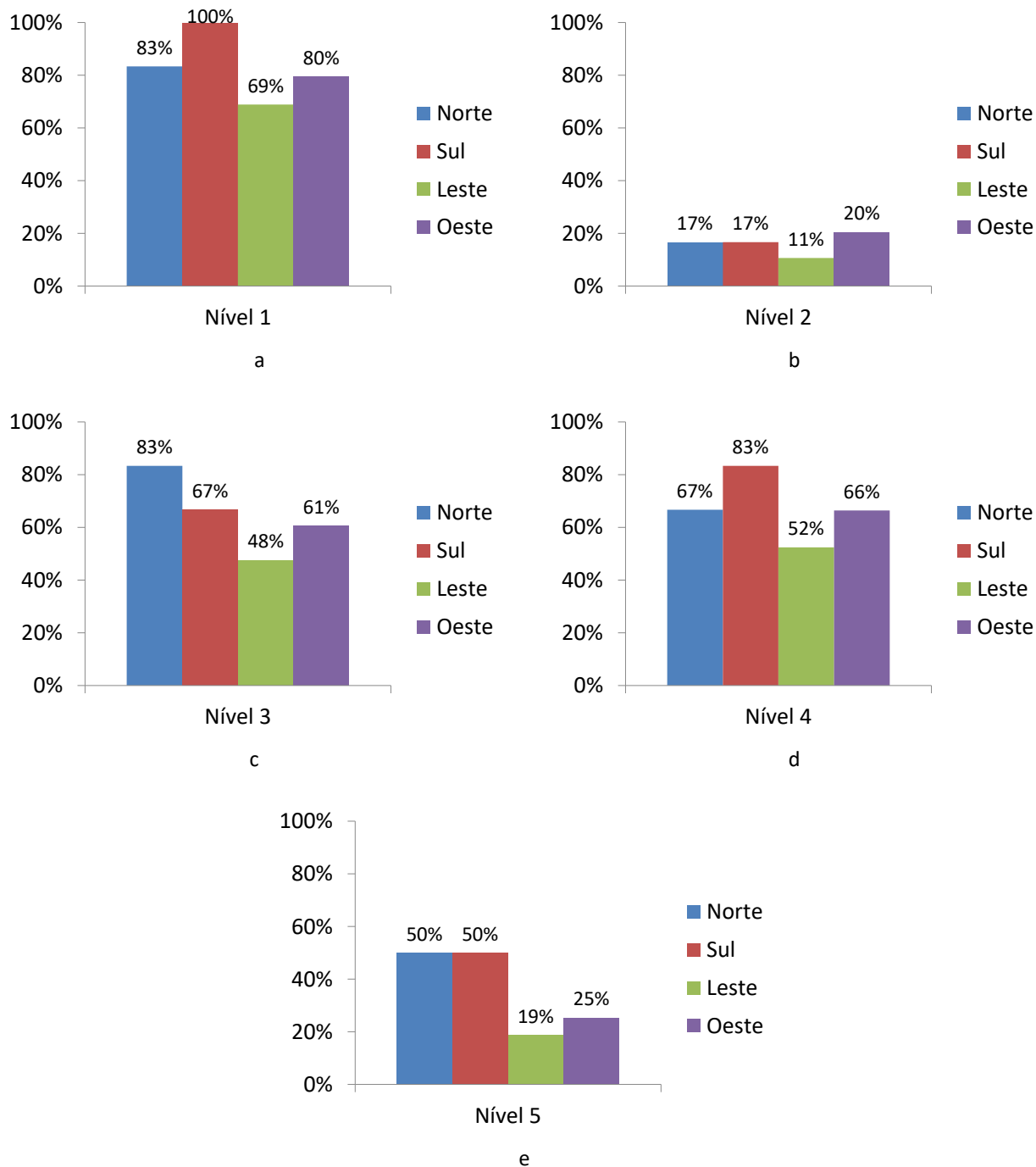
Figura 79 – Porcentagem de área degradada por nível de gravidade.



(fonte: elaborado pela autora)

Quando se analisa a porcentagem de amostras que apresentaram manifestações patológicas para cada nível (Figura 80), percebe-se que, para todas as orientações solares, destaca-se as do nível Amostras com anomalias no nível 1 (N1) com as maiores porcentagens. Isso quer dizer que a maior parte das amostras apresentou algum tipo de mancha ativa, por sujeidade, biodeterioração ou crosta negra (não foram encontrados fantomes), destacando a orientação Sul, onde absolutamente todas as amostras apresentaram manifestações patológicas neste nível.

Figura 80 – Porcentagem de amostras que apresentaram manifestações patológicas para cada orientação cardeal, para cada nível de gravidade.



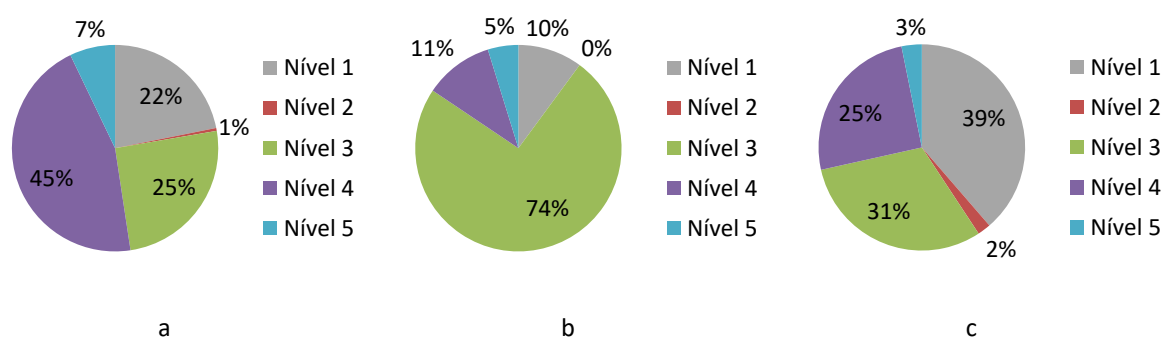
(fonte: elaborado pela autora)

As manifestações de nível 3 (N3), que englobam todos os tipos de fissuras, desgastes superficiais e manchas por eflorescências, estão em segundo lugar com os maiores percentuais de ocorrência nas amostras. Destaca-se a orientação norte como a com percentual mais alto deste tipo de manifestação, sendo que não se encontrou nenhum outro tipo de manifestação

patológica deste nível além das fissuras. Na sequência, em terceiro lugar (mas muito próximos do segundo lugar) com os maiores percentuais de ocorrência, estão as manifestações patológicas do nível 4 (N4) que agrupam as umidade por condensação, devido a fenômenos de higroscopicidade umidade ascensional e umidade por precipitação. Verifica-se que as manifestações de nível 3 (no caso destas edificações as fissuras) são mais presentes na orientação norte, já as de nível 4, umidades, na orientação sul. As manifestações patológicas do nível 5, onde atingiram o nível máximo de degradação, que englobando todos os tipos de perda de aderência (quebras, descolamentos, deslocamentos criptoflorescência e biodeterioração macro) encontram-se como o 4º nível com maior porcentagem de amostras, destacando as orientações norte e sul, onde 50% das amostras apresentaram algum tipo de manifestação patológica deste nível, e a orientação leste como a que menos apresentou manifestações deste nível percentualmente. As manifestações de nível 2 (N2), que são umidade de construção (obra) e umidade devida a causas fortuitas (acidental), são as que foram encontradas com menos frequência, geralmente são regiões umedecidas devido ao uso de aparelhos de ar condicionado ou alguma calha ou tubulação com vazamentos que afetaram as fachadas.

A Figura 81 apresenta a distribuição da porcentagem encontrada para cada nível de gravidade das manifestações patológicas por região.

Figura 81 – Distribuição da porcentagem encontrada para cada nível de gravidade das manifestações patológicas por região. (a) Topo; (b) Canto; (c) Centro.



(fonte: elaborado pela autora)

Através da Figura 81a é possível perceber que o nível de gravidade 4 é a manifestação mais presente na região de topo, o que já era esperado, visto que é a região com maior exposição à chuva dirigida. Na sequência está o nível de gravidade 3, que são as fissuras, que podem estar associadas à movimentação higrotérmica causada pelos ciclos de molhagem e secagem dos



materiais que compõem o sistema e, quando há absorção da água o material expande e quando há dessorção o material retrai (THOMAZ, 2020). Os manchamentos (nível 1) também se destacam em proporção próxima das fissuras do nível 3, isso também está relacionado a umidade, já que muitas das manchas estão associadas ao depósito da sujidade em superfícies umedecidas, ou ainda, sujidades provindas do arraste da sujeira depositada sobre a platibanda e carregadas pela água da chuva durante o escoamento, além da velocidade do vento, que carrega partículas, ser maior em maiores alturas.

A região de canto, conforme a Figura 81b, apresenta o nível 3 como o nível de maior ocorrência nesta região, sendo que os demais níveis são muito próximos em quantidade de área degradada, exceto o nível de gravidade 2 que não apresentou ocorrência. Diversas pesquisas apontam a região de canto das edificações como uma das mais expostas a chuva dirigida e, portanto, mais suscetível à degradação por ela causada (BLOCKEN; DEROME; CARMELIET, 2013; POYASTRO, 2011), mas diferente do esperado, a umidade e manifestações causadas por ela, não se destacam na região de canto, mas sim as fissuras. Não quer dizer que a umidade tenha uma ação maior nestas regiões, apenas a manifestação encontrada em maior quantidade não está relacionada diretamente apenas a umidade.

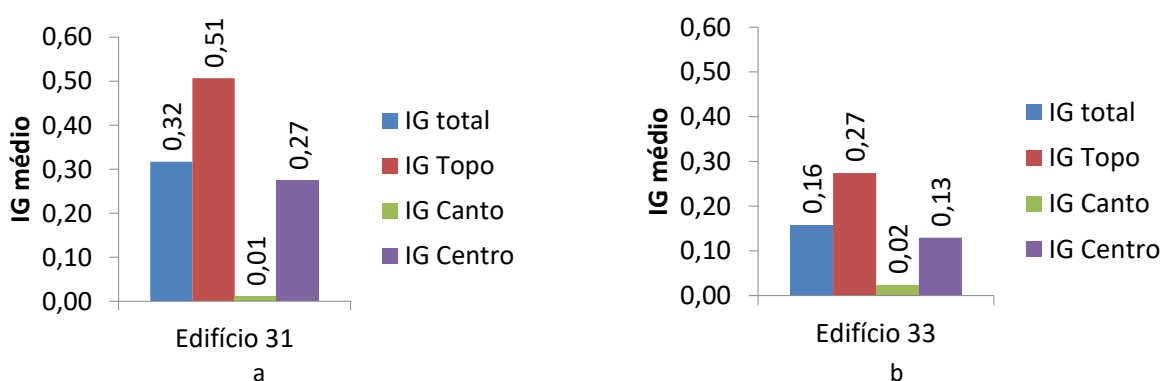
Já a região de centro (Figura 81c) apresenta o nível de gravidade 1 com maior ocorrência, seguido pelo nível 2 e, na sequência o nível 4. Essa ocorrência está provavelmente relacionada aos detalhes construtivos das fachadas. Quando há elementos horizontais, como os peitoris e até mesmo platibanda, que possibilitem o acúmulo de sujidades, sem detalhes que promovam o descolamento da água da chuva, a água irá deslizar pela superfície da fachada carregando a sujidade acumulada, manchando regiões antes limpas (ROBINSON; BAKER, 1975; ZUCCHETTI, 2016). Além disso, são grandes as áreas de aberturas de janelas, criando zonas de tensões concentradas no entorno destas aberturas, propícias para a abertura de fissuras quando a verga e contra-verga não existir ou for ineficiente, ou ainda, não existir a utilização de telas no entorno destas aberturas (ANTUNES, 2010; THOMAZ, 2020), e através destas fissuras, a película de água que não descola da superfície pode penetrar, causando o umedecimento de nível de gravidade 4 registrado. O nível de gravidade 5 apresenta-se como a menor porcentagem na região centro, seguida pela região de canto com maiores porcentagens na região de topo, assim percebe-se que as regiões de canto, mesmo sendo regiões pequenas, apresentam manifestações patológicas de níveis altos (nível 3, 4 e 5) como as predominantes. De forma geral, as manifestações de nível de gravidade 2 são as de menor ocorrência em todos os casos.

Ainda analisando a Figura 81, observa-se que, ao somar a percentagem da umidade detectada como manifestação patológica (estando úmido no momento do mapeamento de danos), classificadas nos níveis 2 e 4, as manifestações que tem a umidade como causa ou agente de degradação, como o acúmulo de sujeiras, biodeterioração, classificadas como nível 1, resulta em 68% para região de topo, 21% para região de canto e 66% para centro. Parte das manifestações dos níveis 3 e 5, no caso destas edificações, fissuras e descolamentos, podem ter a umidade como uma das causas quando promove movimentações higrotérmicas e há restrição de movimento, ou rompimento das ligações entre as camadas do sistema. Estes resultados vão ao encontro do percebido por Pereira, Brito e Silvestre (2018), em que detectaram que a umidade é a causadora de cerca de 78% das manifestações patológicas em um sistema de revestimento de parede pintado.

No entanto, como explicado, as edificações foram submetidas a ações de manutenção em situações bastante distintas, resultando em índices de gravidade e situação de degradação também distinta. Dessa forma, é interessante observar a da percentagem encontrada para cada nível de gravidade das manifestações patológicas por região para cada edifício.

A Figura 82 apresenta os IGs médios para os edifícios de uso residencial (casa do estudante), 31 e 33 e suas regiões.

Figura 82 – Índice de Gravidade (IG) total médio por edifício e para cada região. (a) edifício 31 (28 anos); (b) edifício 33 (28 anos).

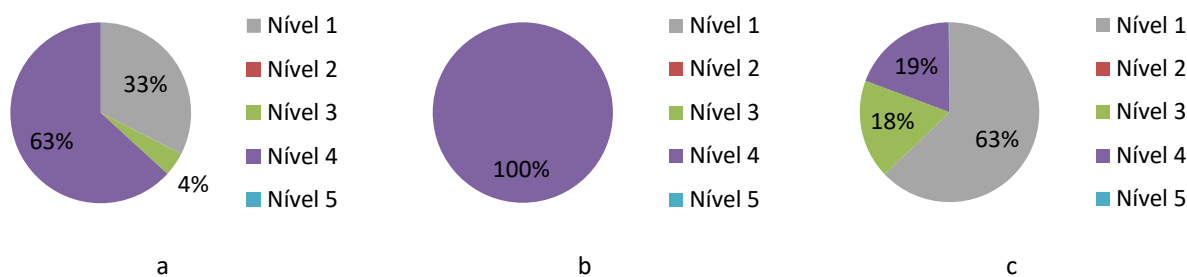


(fonte: elaborado pela autora)

Estas edificações apresentaram os maiores IGs médios, sendo 0,32 para a 31 e 0,16 para a 33. Em ambas as edificações a região de canto apresentou IG baixo em relação às demais. Já a região de topo, em ambos os casos apresentou o maior IG.

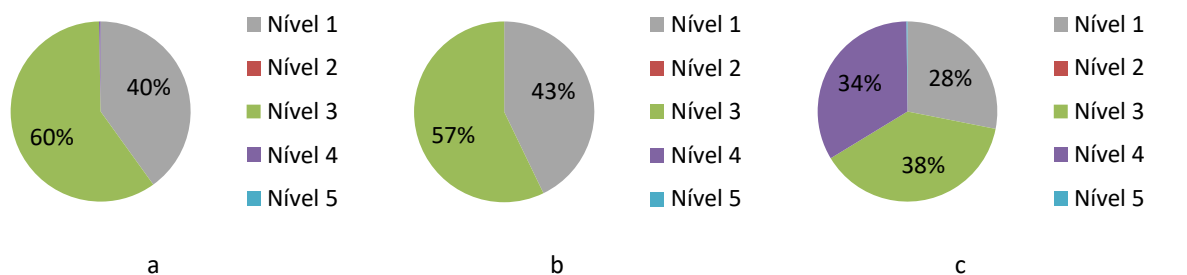
As Figura 83 e Figura 84 apresentam a percentagem encontrada para cada nível de gravidade das manifestações patológicas para cada região dos edifícios 31 e 33 (28 anos), respectivamente.

Figura 83 – Distribuição da percentagem encontrada para cada nível de gravidade das manifestações patológicas por região para o edifício 31. (a) Topo; (b) Canto; (c) Centro.



(fonte: elaborado pela autora)

Figura 84 – Distribuição da percentagem encontrada para cada nível de gravidade das manifestações patológicas por região para o edifício 33. (a) Topo; (b) Canto; (c) Centro.



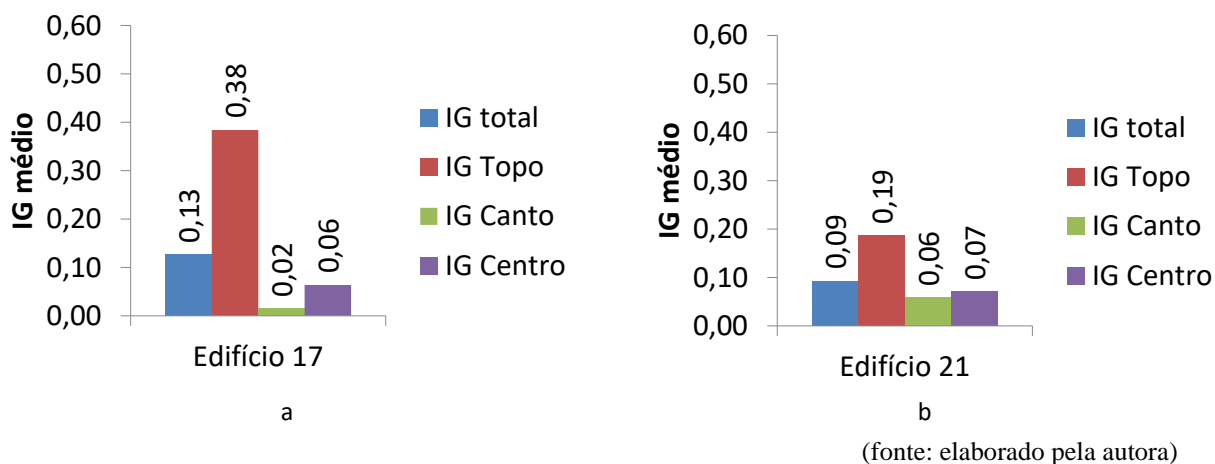
(fonte: elaborado pela autora)

Observa-se que o edifício 31 apresenta o nível 4 como o de maior percentagem nas regiões de topo e de canto, sendo a unidade de infiltração a mais presente, e o segundo maior na região de centro, atrás do nível 1 (manchas ativas), sendo que a umidade ascensional e a por infiltração na zona das janelas foi bastante percebida. De forma diferente, o edifício 33 apresenta o nível 1 e o nível 3 como os mais presentes nas regiões de topo e de canto, sendo o nível 3 em maior proporção. Já para a região centro, a distribuição é mais equilibrada entre os níveis 1, 3 e 4, este último principalmente no entorno das esquadrias e próximo ao solo. As manifestações de nível 5 foram pontuais, não representando 1%. As fissuras, como explicado da revisão bibliográfica (item 2.2.4), podem surgir logo após a realização do revestimento, devido à retração da argamassa. Assim, mesmo sendo uma das edificações mais recentes do campus. Diferente do

esperado, a região de topo não apresentou problemas de umidade detectados a olho nu ou por termografia.

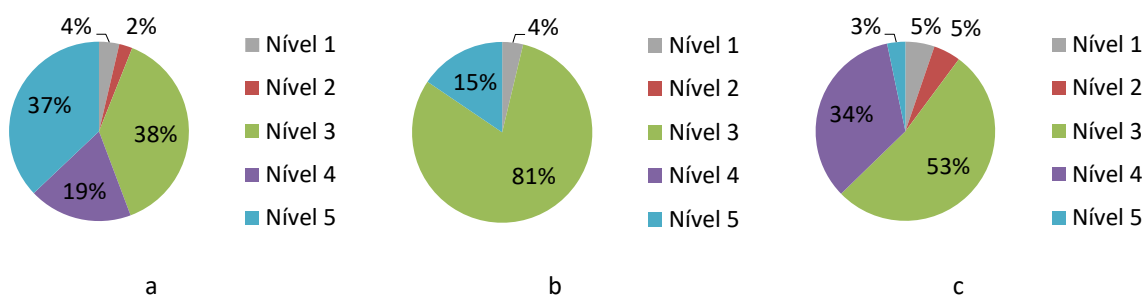
Os edifícios 17 e 21 (40 anos) possuem exatamente a mesma arquitetura inicial, com algumas interferências posteriores, como colocação de rampas, tubulações e aparelhos de ar condicionado nas fachadas, estes últimos podendo causar degradação como umidade acidental. O edifício 21 possui o segundo menor IG e o 17, o terceiro menor IG, entre as 6 edificações analisadas, sendo que em ambos a região de topo é a que apresenta maiores IGs, seguidas da de centro, por último com os cantos (Figura 85).

Figura 85 - Índice de Gravidade (IG) total médio por edifício e para cada região. (a) edifício 17 (40 anos); (b) edifício 21 (40 anos).



A edificação 21, como pode ser observado através da Figura 86, apresenta o topo e o centro com algumas áreas com manifestações patológicas de nível 2, que são umidades acidentais.

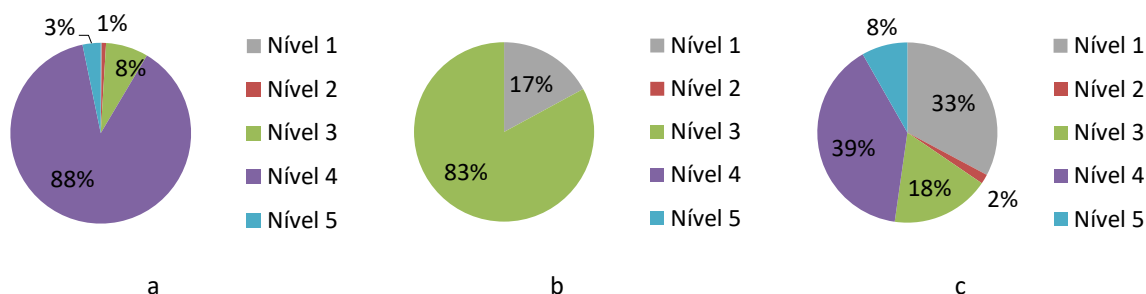
Figura 86 – Distribuição da porcentagem encontrada para cada nível de gravidade das manifestações patológicas por região para o edifício 21. (a) Topo; (b) Canto; (c) Centro.



A umidade acidental foi próxima a unidades externas de aparelhos Split e de tubulações externas nas fachadas. A área umedecida é pequena e esta manifestação é de baixo nível de gravidade, já que de solução mais simples e pontuais, com fonte de umidade é controlável. O que pode ser destacado para esta edificação é a área de fissuras existente, que representa a maior área degradada ao analisar as três regiões. Ainda é possível destacar que o topo e os cantos desta edificação apresentaram manifestações patológicas de nível 5 como a segunda mais presente, podendo ser evolução das muitas fissuras e estas e problemas de umidade (no caso do topo). Para a região topo, os 19% de umidade de nível 4 são de infiltração da água da chuva, presentes principalmente da orientação sul, já a umidade mais presente na região centro, que totaliza os 34%, é a umidade ascensional presente em diversas amostras das diferentes orientações cardeais.

A distribuição da porcentagem encontrada para cada nível de gravidade das manifestações patológicas por região da edificação 17 é apresentada na Figura 87.

Figura 87 – Distribuição da porcentagem encontrada para cada nível de gravidade das manifestações patológicas por região para o edifício 17. (a) Topo; (b) Canto; (c) Centro.

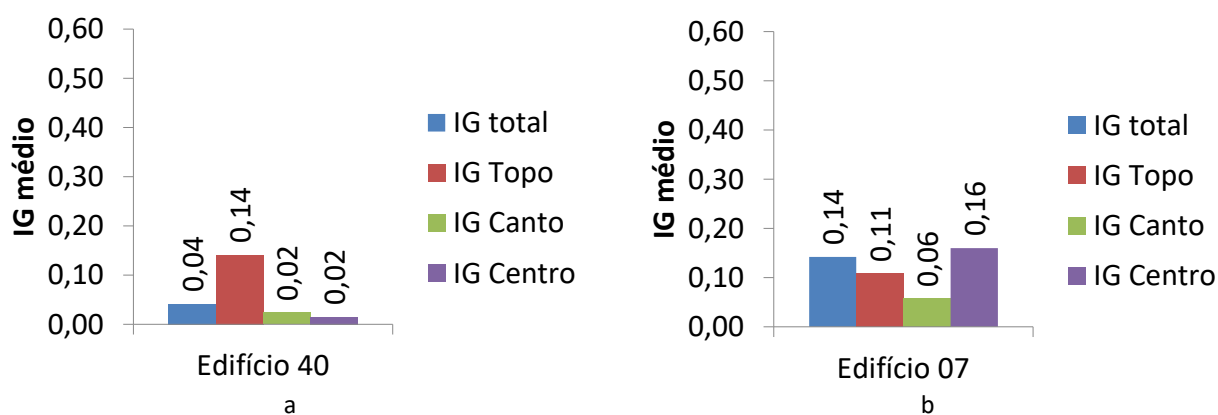


(fonte: elaborado pela autora)

Verifica-se que região topo com maior IG médio tendo a umidade de infiltração como a manifestação patológica com maior presença, seguido das fissuras (Figura 87). As fissuras apresentaram destaque principalmente na região de canto. No entanto, esta não apresenta um IG médio elevado (0,2) em relação às demais regiões. Na região centro, novamente a umidade ascensional presente, resultando em 39% de manifestações de nível 4.

Por fim, IGs totais médios para as edificações 40 (49 anos) e 07 (58 anos) (Figura 88).

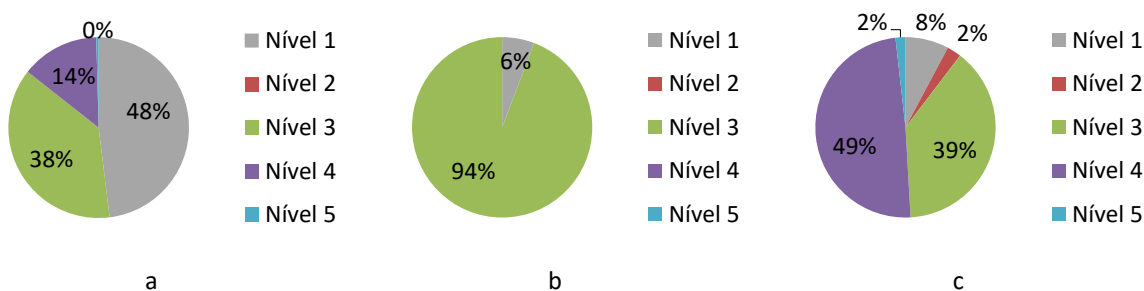
Figura 88 – Índice de Gravidade (IG)total médio por edifício. (a) edifício 40 (49 anos); (b) edifício 07 (58 anos).



(fonte: elaborado pela autora)

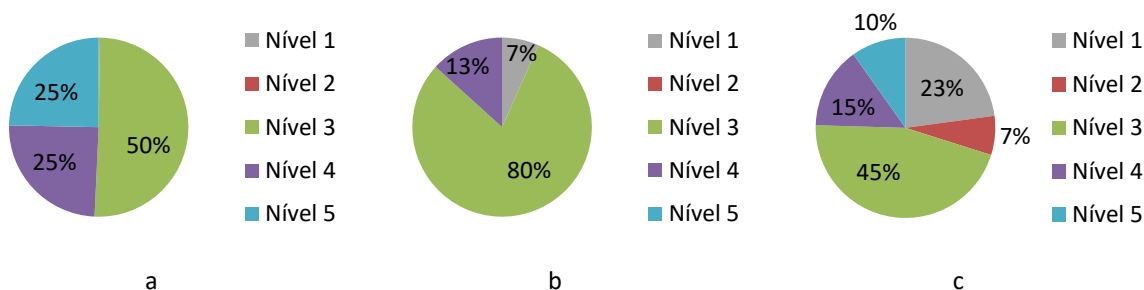
Estas são as edificações mais antigas entre as analisadas, com IG médio de 0,04 (o mais baixo) e 0,14 (o terceiro mais alto), comparada às demais, apresentaram-se bem conservadas quando. A Figura 89 e a Figura 90 apresentam os resultados para os edifícios 40 e 07, respectivamente, referente a distribuição da porcentagem encontrada para cada nível de gravidade das manifestações patológicas por região.

Figura 89 – Distribuição da porcentagem encontrada para cada nível de gravidade das manifestações patológicas por região para o edifício 40. (a) Topo; (b) Canto; (c) Centro.



(fonte: elaborado pela autora)

Figura 90 – Distribuição da porcentagem encontrada para cada nível de gravidade das manifestações patológicas por região para o edifício 07. (a) Topo; (b) Canto; (c) Centro.



(fonte: elaborado pela autora)

Apesar do baixo índice, conforme a Figura 89, o edifício 40 apresenta uma região de topo com grande área de nível 1 (manchas ativas), seguido do nível 2 (fissuras) e, por último do nível 4 (umidade sem fonte controlável). A região de canto apresentou as fissuras como manifestações mais recorrentes.

A edificação 07, mais antiga, apresenta a região de centro como a de maior IG, o que se diferencia das demais. Esta, conforme a Figura 90, apresenta manifestações patológicas de todos os níveis de degradação. Percebe-se que até mesmo o nível 2, pouco presente nas demais edificações, podem ser visualizados com uma ocorrência de 7% das manifestações patológicas da região centro. Novamente, estas são relacionadas à umidade acidental causadas pela inserção de aparelhos de ar condicionado e tubulações nas fachadas, o que pode ser solucionado de forma mais simples do que umidade sem fonte controlável. As fissuras são bastante presentes nas 3 regiões, e a perda de aderência (nível 5), é destacada na região de topo como manifestação em mesma proporção da de nível 4, umidade sem fonte controlável. Os descolamentos podem ser causados pela evolução dos problemas de umidade e fissuras presentes nesta região.

Percebe-se que, as manifestações de nível 5 aumentam a frequência a partir das edificações de 40 anos. Mesmo em outro clima, este resultado foi ao encontro do detectado também por Gaspar e Brito (2011), que consideraram a perda de aderência como limite de durabilidade física para revestimentos de argamassa e constatou que este limite geralmente é atingido em edificações entre 40 a 45 anos os revestimentos atuais em ambiente urbano.

Ao analisar os resultados do IG (no Apêndice D) das amostras, observa-se que, em alguns casos, amostras que não atingem o nível 5 possuem um IG maior que aquelas que atingiram. Isso se deve a área deteriorada, já que a gravidade de uma amostra deve considerar a gravidade da

manifestação patológica e a área por ela abrangida. Este trabalho, assim como sugerido por Gaspar e Brito (2011), não consideram que as manchas por sujeira, por biodeterioração ou ainda fissuras determinem o limite da durabilidade dos revestimentos, já que podem ocorrer já nas primeiras idades e são passíveis de intervenção sem remoção do revestimento, porém, quando estas manifestações ocorrem de forma extensa, e concomitantemente, podem atingir níveis de degradação tão altos quando uma pequena área não aderida, já que podem evoluir rapidamente para níveis maiores de gravidade e, conforme Gaspar e Brito (2011), podem reduzir a durabilidade dos revestimentos pela metade do tempo, sendo que em edifícios residenciais, edifícios entre 17 e 21 anos já apresentam fachadas em níveis críticos devido a estas manifestações patológicas com efeito cumulativo.

A equação do IG foi capaz de traduzir a situação da degradação no momento do levantamento, sem interferências de análises de prognóstico. É interessante ter uma forma de mensurar a degradação sem interferências de análises da tendência de agravamento, já que há muitos agentes agressivos e situações ambientais que promovem a tendência ao agravamento que ainda não foram possíveis de serem mensurados, como as ações de manutenção, interferência de vegetações (caducifólias ou perenes), topografia (pode alterar a ação da chuva, vento e incidência solar), edificações do entorno (também podem causar alterações na ação do clima) uso, detalhes construtivos e etc. Existem diversos estudos sobre detalhes construtivos e formas das edificações, como de Petrucci (2000), Vieira (2005) e Zucchetti (2016), mas ainda faltam muitas informações das consequências da geometria de diversos detalhes construtivos de forma a mensurar e permitir a atribuição de coeficientes de tendência sejam para majorar ou minorar a tendência ao agravamento das amostras das edificações. Além disso, a forma de realizar o levantamento deve ser o mais simplificado possível, o que é desafiador quando se analisam detalhes, já que até mesmo pequenas angulações poder mudar completamente as ações de agentes agressivos (ZUCCHETTI, 2016). Entende-se que estas variáveis ainda não mensuráveis, e que ainda não estão traduzidas em coeficientes, também interferem e necessitam de maiores estudos.

Apesar das manifestações patológicas estarem relacionadas principalmente a agentes climáticos, geralmente ocorre uma sinergia entre diversos fatores que podem estar combinados de diversas formas, resultando em distintas formas de degradação (BAUER; SOUZA; MOTA, 2021). No entanto, até o momento, os agentes que puderam ser mensurados foram os climáticos, considerados numa segunda equação, do ITU e traduzidos como coeficientes, como explicado no método (item 3.2). A análise dos resultados de ITU (índice de tendência e urgência) pode



ser dividida em duas partes para sua, uma do IT, em que se retira o coeficiente relacionado à urgência em intervir, apenas analisando a tendência do agravamento devido à exposição aos agentes agressivos como chuva dirigida e índice de temperatura, e outra do ITU, onde são consideradas as manifestações encontradas e o risco a segurança aos seres vivos que podem se aproximar das fachadas danificadas.

Para as edificações da UFSM, quando se compara os resultados de IT e ITU médios, Figura 91 Figura 92 respectivamente, percebe-se que, de forma geral as edificações permaneceram na mesma ordem, mas nem sempre será assim, visto que uma fachada pode ter altos índices de gravidade, no entanto ter acesso bloqueado, que irá interferir nos coeficientes de Urgência. Desta forma, para as edificações da UFSM, caso a PROINFRA busque indicar que ações de manutenção devam ser realizadas nas edificações, deve estar baseada nos valores de ITU, já a prioridade não deve ser apenas pensada no cenário atual de degradação da fachada, mas sim qual a tendência de agravamento e sempre buscando minimizar ao máximo possíveis acidentes, preservando a integridade física dos seres vivos que podem ser vítimas de algum acidente decorrente do desprendimento de parte da fachada degradada.

Figura 91 - Índice de Tendência (IT) médio por edifício

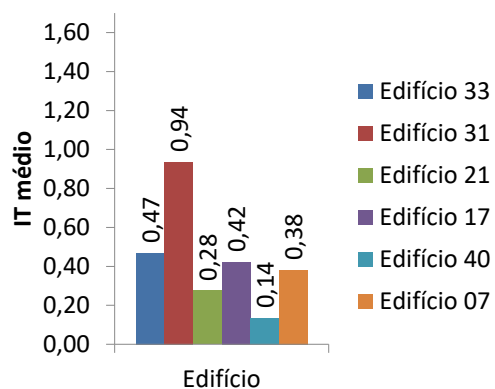
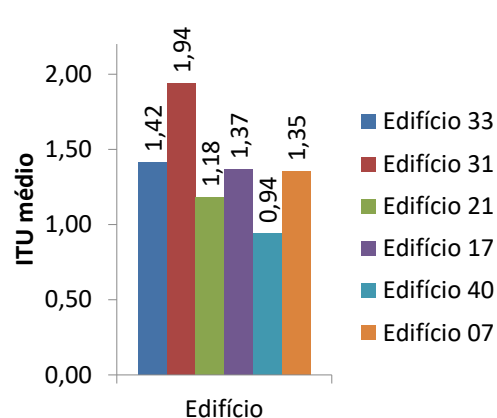


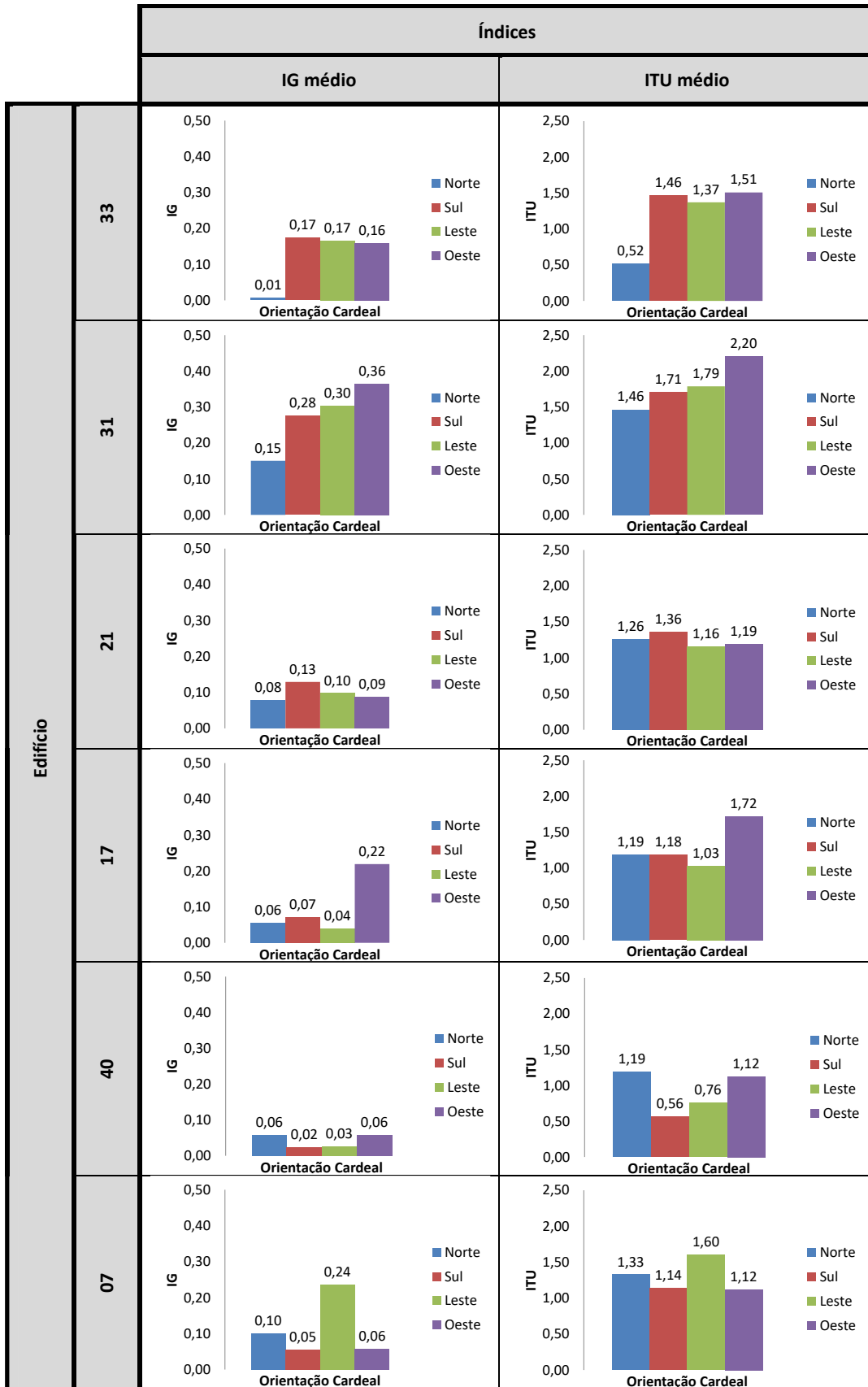
Figura 92 – Índice de Tendência e Urgência (ITU) médio por edifício



(fonte: elaborado pela autora)

Quando se compara os valores médios de IG e ITU por orientação cardinal (Figura 93) pode-se notar que, exceto para o edifício 33, valores crescentes dos índices não estão na mesma ordem, isso porque cada orientação solar recebe coeficientes distintos de FIC e Iit.

Figura 93 – Comparação de Índice de Gravidade (IG) e Índice de Tendência e Urgência (ITU) médios por orientação cardinal para cada edifício.



Diferente de Pereira *et al.* (2020), as fachadas consideradas mais urgentes nem sempre foram as fachadas principais ou mais visíveis, mas sim aquelas com manifestações patológicas de maiores riscos aos seres vivos, quando é permitida a aproximação destes, sem julgamentos de valor estético ou hierarquia de fachadas.

Estes resultados permitem que os gestores possam priorizar as amostras e edificações com maiores ITU, ou seja, edificações com manifestações patológicas mais graves e com maiores tendências de agravamento e urgência em intervir. No caso da PROINFRA, poderá indicar aos os gestores das edificações mais degradadas a importância de solicitarem as intervenções de manutenção. E os gestores das edificações poderão realizar manutenções pontuais, priorizando as amostras com maiores ITU quando não for necessário, ou ainda não for possível, a realização de uma manutenção geral da edificação. Através dos indicadores verifica-se que a edificação com maior urgência de intervenção é a edificação 31, sendo que a amostra 04 oeste é a que apresenta o maior valor do indicador.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao refletir sobre o trabalho apresentado, considera-se entende-se que foi possível avaliar as fachadas com revestimento de argamassa das edificações entendendo sua gravidade, tendência de agravamento e urgência em intervir, que era o objetivo principal deste trabalho. Através da equação o Índice de gravidade e seus coeficientes foi possível avaliar o estado de gravidade de uma fachada com revestimento de argamassa de forma sistemática, considerando que esta pode estar visualmente com grande área degradada, mas com manifestações de baixa gravidade, ou visualmente bem conservada, mas com manifestações de alto índice de gravidade, como os descolamentos que não podem ser detectados a olho nu.

A partir dos resultados, constatou-se que a equação do Índice de Gravidade (IG) cumpre seu propósito, que é de fornecer a informação de como estão as amostras da edificação no momento do levantamento, sem interferências de tendências ou interpretações. Ela permite entender que as manifestações que estão presentes na fachada resultam num estado de gravidade, que avaliado periodicamente ao longo dos anos, proporcionará a velocidade da evolução deste índice, de forma a traçar a curva real de degradação, já que considera a degradação existente, sem coeficientes que majorem ou minorem conforme a região, orientação solar, ou qualquer outro fator que interfira na degradação dos revestimentos. Os coeficientes relacionados a gravidade foram propostos baseados na evolução das manifestações patológicas, sendo considerado como último nível, ou seja, o maior nível de gravidade, as manifestações que englobam a perda de aderência, como descolamento, deslocamento, em que a solução é a substituição do revestimento, ou parte dele.

A equação do Índice de Tendência e Urgência (ITU) que considera agentes climáticos e regiões da fachada mais expostas a estes agentes, mensura a tendência das manifestações patológicas presentes na fachada evoluírem para níveis de maior gravidade. No caso de duas amostras idênticas, com mesmas manifestações patológicas nas mesmas regiões teriam um mesmo IG mas ITU distinto. Dessa forma, a equação do ITU permite entender que regiões e orientações das fachadas com mesmo IG no momento do levantamento, em longo prazo podem evoluir de forma distinta, resultando alguns anos depois, em IGs diferentes. Ele permite que o gestor da edificação entenda que uma mesma manifestação patológica pode existir e, ao longo dos anos, causar danos distintos. Por exemplo, uma fissura no topo, exposta a chuva dirigida, ao longo

dos anos evoluirá diferente de outra fissura, de mesma magnitude em uma região menos exposta ao mesmo agente.

Ainda é possível, através da equação ITU, notar que nem sempre a amostra ou fachada com manifestações mais graves coincidem com aquelas com maior urgência em intervir, quando estão sendo avaliados e comparados diversos edifícios, já que a urgência deve estar sempre relacionada a segurança dos seres que se aproximam das fachadas que estão sob avaliação. Assim, para tomada de decisão, o gestor deve sempre priorizar o ITU para realização de intervenção. As amostras com manifestações de nível alto e sem proteção resultam em ITU alto, de forma a incentivar que ocorram ações que promovam a segurança dos seres que possam se aproximar das fachadas com maior ITU. Bandejas, tapumes e outros recursos podem ser utilizados até o momento que uma intervenção de fato ocorra. Estas proteções que isolam a fachada promovem a redução do ITU enquanto o recurso se mantiver presente, uma vez que, afastando os seres vivos da proximidade da fachada danificada, o coeficiente de urgência poderá ser reduzido.

Através dos resultados ainda foi possível constatar que o cálculo deste indicador ainda precisa ser enriquecido para aproximar cada vez mais este índice a tendência real de agravamento da degradação das fachadas de argamassa. Para isso estudos que mensurem a ação de outros agentes agressivos, como vegetação próxima, efeito da topografia sobre a incidência solar e chuva dirigida, vibrações, bem como a sinergia entre os efeitos destes agentes. Além dos agentes de degradação, outro fator a ser estudado, que influencia positivamente nas fachadas, é a ação de manutenção. Não foram encontradas pesquisas que mensurassem quanto uma ação de manutenção impacta na recuperação de uma fachada degradada. Todos estes fatores, se mensurados, poderão ser transformados em coeficientes na equação de ITU, tornando-a cada vez mais próxima à realidade.

Para a aplicação do método, buscou-se uma forma de reduzir as variáveis possíveis, assim, as edificações do campus da Universidade Federal de Santa Maria foram consideradas adequadas. Além de arquitetura e tecnologias construtivas semelhantes, o acesso as edificações foi importante para a escolha, uma vez que, até o início da pandemia, o campus da universidade permitia o acesso ao público, e as fachadas dessas edificações são, em maioria, de fácil aproximação. A escolha possibilitou o entendimento que, mesmo edificações construídas de forma semelhante (arquiteticamente e tecnologicamente), submetidas a um mesmo clima,

algumas mesma idades, podem ter seu processo de degradação bastante distinto, devido a variáveis ainda não mensuráveis, como a manutenção das edificações, por exemplo.

O método proposto permite avaliar os revestimentos de argamassa através das equações que o compõem da seguinte forma:

- O índice de gravidade (IG) possibilita entender o quanto a fachada, ou amostra, está degradada considerando a gravidade das manifestações encontradas e a extensão de cada uma;
- O índice de tendência e urgência (ITU) permitem a constatação de quais fachadas, ou amostras das fachadas, possuem maiores tendências de agravamento, bem como urgência em intervir.
- O ITU ampara os gestores, de forma sistemática, no momento da decisão sobre qual fachada, ou parte da fachada, deve ser priorizada em casos de intervenções;
- Os coeficientes de gravidade propostos caracterizam as manifestações patológicas, uma vez que estão proporcionais a proximidade com o fim da vida útil do revestimento, que neste trabalho considera-se como a perda de aderência;
- Os coeficientes de tendência propostos correspondem a ação da chuva dirigida e da temperatura sobre os revestimentos de argamassa, sendo possível determinar as regiões com maior exposição à chuva dirigida;
- O coeficiente de urgência caracterizou de forma satisfatória as fachadas, ou parte delas, com maior urgência de intervenção que visem reduzir os riscos de acidentes, ou seja, priorizando a segurança dos seres vivos que possam se aproximar das fachadas;
- As edificações escolhidas para a aplicação do método foram satisfatórias, uma vez que não existiram barreiras para o levantamento e possibilitaram a comparação dos resultados.

## 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Visto que esta pesquisa considerou coeficientes relacionados a tendência de agravamento das manifestações patológicas, e que durante seu desenvolvimento diversos questionamentos surgiram, algumas sugestões para trabalhos futuros foram elencadas:

- realizar anualmente a avaliação das fachadas com a determinação do IG, sem que ocorram ações de manutenção, de forma a determinar a velocidade do aumento deste índice e progressão da degradação
- comparar a velocidade do aumento do IG de uso residencial e educacional para verificar a influência do uso na velocidade de degradação;
- comparar a velocidade do aumento do IG entre edificações com idades distintas, para verificar a influência da idade na velocidade da degradação;
- realizar a avaliação das fachadas com a determinação do IG após ação de manutenção a fim de avaliar de forma a interferência destas ações neste índice;
- calcular o FGD das fachadas das edificações, comparar os resultados e verificar se os métodos podem se complementar;
- avaliar como a geometria e localização dos detalhes construtivos interferem na degradação das fachadas e qual sua área de interferência;
- avaliar qual a área de interferência das aberturas na suscetibilidade ao aumento degradação nesta região;
- estudar os diferentes agentes de degradação relacionados ao uso da edificação;
- estudar e mensurar a interferência de elementos naturais na ação dos agentes climáticos sobre as fachadas, como a vegetação e a topografia;
- avaliar a suscetibilidade do surgimento de fissuras e demais manifestações mecânicas relacionadas a proximidade de fontes de vibração, como avenidas, terminais de ônibus e etc. e mensurar esta interferência.

## 6 REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3 - Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**Rio de Janeiro, 2005a.
- \_\_\_\_\_. **NBR 15220-2. Desempenho térmico de edificações. Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações.**Rio de Janeiro, 2005b.
- \_\_\_\_\_. **NBR 15575-1 - Edificações habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais**Rio de janeiro, 2013, 2013a.
- \_\_\_\_\_. **NBR 15575-4 - Edificações habitacionais — Desempenho - Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE**Rio de janeiro, 2013b.
- \_\_\_\_\_. **NBR 15575-2 - Edificações habitacionais - Desempenho Parte 2: Requisitos para sistemas estruturais**Rio de janeiro, 2013, 2013c.
- \_\_\_\_\_. **NBR 13749: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação.**Rio de Janeiro, 2013d.
- ABDUL HAMID, A.; WALLENTÉN, P. Hygrothermal assessment of internally added thermal insulation on external brick walls in Swedish multifamily buildings. **Building and Environment**, v. 123, p. 351–362, 2017.
- AIRES-BARROS, L. **As rochas dos monumentos portugueses - tipologias e patologias.** Lisboa, Portugal: [s.n.].
- ALFANO, G. et al. Long-term performance of chemical damp-proof courses: Twelve years of laboratory testing. **Building and Environment**, v. 41, n. 8, p. 1060–1069, ago. 2006.
- ALLSOPP, D. et al. **Introdução à Biodeterioração.** Porto Alegre: [s.n.].
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **C1498: Standard Test Method for Hygroscopic Sorption Isotherms of Building Materials.**ASTM Internacional, West Conshohocken, 2004.
- ANTUNES, G. R. **ESTUDO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM REVESTIMENTOS DE FACHADA EM BRASÍLIA – SISTEMATIZAÇÃO DA INCIDÊNCIA DE CASOS.** Dissertação submetida ao Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de MESTRE EM ENGENHARIA E CONSTRUÇÃO CIVIL: Universidade de Brasília - UNB, 2010.
- BAI, L. et al. Effect of salt on hygroscopic properties of cement mortar. **Construction and Building Materials**, v. 305, n. April, p. 124746, 2021.
- BALARAS, C. A. et al. Deterioration of European apartment buildings. **Energy and Buildings**, v. 37, p. 515–527, 2005.
- BASTOS, P. K. X. **Retração e Desenvolvimento de Propriedades Mecânicas de Argamassas Mistas de Revestimento.** Tese apresentada a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Engenharia: USP, São Paulo., 2001.
- BASTOS, P. K. X. et al. Retração e desenvolvimento de propriedades mecânicas em



argamassas de revestimento. **Ambiente Construído**, v. 2, n. 2, p. 57–70, 2002.

BAUER, E. **Resistência a Penetração da Chuva em Fachadas de Alvenaria de Materiais Cerâmicos - Uma Análise de Desempenho**. Dissertação apresentada ao corpo docentes do curso de Pós Graduação em Engenharia Civ: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Brasil, 1987.

BAUER, E. et al. Infrared thermography – evaluation of the results reproducibility. **Structural Survey**, v. 33, n. 1, p. 20–35, 2015.

BAUER, E. et al. Relative importance of pathologies in the severity of facade degradation. **Journal of Building Pathology and Rehabilitation**, v. 5, n. 1, p. 1–10, 2020.

BAUER, E.; CASTRO, E. K. DE; ANTUNES, G. R. Patologias mais Correntes nas Fachadas de Edifícios em Brasília. **3º Congresso Português de Argamassas de Construção**, 2010.

BAUER, E.; LEAL, F. E. C. B. **ARTIGO TÉCNICO 25 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS SOBRE A TERMOGRAFIA APLICADA À INSPEÇÃO DE FACHADAS**. Disponível em: <<http://materialsandmateriais.blogspot.com.br/2013/08/artigo-tecnico-25-consideracoes.html>>.

BAUER, E.; SOUZA, J. S.; MOTA, L. M. G. Degradação de fachadas revestidas em argamassas nos edifícios de Brasília, Brasil. **Ambiente Construído**, v. 21, n. 4, p. 23–43, 2021.

BERGER, J. **Contribution à la modélisation hygrothermique des bâtiments : Application des méthodes de réduction de modèle**. Tese de doutorado, Université de Grenoble, França: [s.n.].

BERSCH, J. D. et al. Diagnosis of Pathological Manifestations and Characterization of the Mortar Coating from the Facades of Historical Buildings in Porto Alegre — Brazil: A Case Study of Château and Observatório Astronômico. **International Journal of Architectural Heritage**, v. 15, n. 8, p. 1145–1169, 2021.

BERTOLINI, L. **Materiais de Construção: patologia, reabilitação, prevenção**. 1ª ed. São Paulo, SP: [s.n.].

BLOCKEN, B.; CARMELIET, J. A review of wind-driven rain research in building science. v. 92, p. 1079–1130, 2004.

BLOCKEN, B.; DEROME, D.; CARMELIET, J. Rainwater runoff from building facades : A review. **Building and Environment**, v. 60, p. 339–361, 2013.

BRITO, J. DE; SILVA, A. **Influência do nível de exigência dos utentes na previsão da vida útil e nos custos de manutenção de fachadas de edifícios**6ª CONFERÊNCIA SOBRE PATOLOGIA E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS - PATORREB 2018. Rio de Janeiro, Brasil., 2018.

BUSSER, T. et al. Simultaneous hygrothermal performance assessment of an air volume and surrounding highly hygroscopic walls. **Building and Environment**, v. 148, n. September 2018, p. 677–688, 2019.

CABRAL, J. P. S. **Gestão da Manutenção de Equipamentos, Instalações e Edifícios**. 3ª ed. [s.l: s.n.].

CAPPELLARI, E. et al. Influence of concretes compressive strength on superficial wettability. **Revista Materia**, v. 25, n. 1, 2020.

CARASEK, H. **Aderência de argamassas à base de cimento Portland a substratos porosos: Avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da**

**ligação.** Tese (Doutorado em Engenharia/ Construção Civil): Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

CARASEK, H. Patologia das Argamassas de Revestimento. In: IN: ISAIA, G. C. . (ORG. ). (Ed.). . **Materiais de Construção e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** IBRACON ed. São Paulo: [s.n.]. p. 1–11.

CARDEIRA, A. M. C. **Análise macroscópica do efeito de dois modificadores de cristalização com baixa toxicidade.** Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil na especialidade de Reabilitação de Edifícios. A presente dissertação foi realizada no Laboratório Nacional: Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2010.

CARRIÉ, C. .; MOREL, D. **Salissures de façades** Paris: Eyrolles, 1975, 1975.

CARRIÓ, J. M. **PATOLOGÍA DE CERRAMIENTOS Y ACABADOS ARQUITECTÓNICOS.** 2ª ed. Madrid, España: [s.n.].

CATUMBA, M. J. DA S. **Condensações Internas - Critérios de Aceitabilidade.** [s.l.] FEUP, PT, 2009.

CERDEIRA, F. et al. Applicability of infrared thermography to the study of the behaviour of stone panels as building envelopes. **Energy and Buildings**, v. 43, p. 1845–1851, 2011.

CHEN, G. et al. Study on mould germination risk in hygroscopic building wall. **Procedia Engineering**, v. 205, p. 2712–2719, 2017.

CHWAST, J. et al. Gypsum efflorescence on clay brick masonry : Field survey and literature study. **Construction and Building Materials**, v. 85, p. 57–64, 2015.

CINCOTTO, M. A. Patologia das argamassas de revestimento análise e recomendações.pdf. **SIMPÓSIO DE DESEMPENHO DE MATERIAIS E COMPONENTES DE CONSTRUÇÃO CIVIL**, 1988.

COSTERTON, J. W. et al. Microbial biofilms. **Annual review of microbiology**, p. 341–357, 1995.

COUTINHO, M. L.; MILLER, A. Z.; MACEDO, M. F. Biological colonization and biodeterioration of architectural ceramic materials: An overview. **Journal of Cultural Heritage**, v. 16, n. 5, p. 759–777, 2015.

DAL MOLIN, D. C. C. **Fissuras em Estruturas de Concreto Armado. Análise das Manifestações Típicas e Levantamento de Casos Ocorridos no Estado do Rio Grande do Sul.** Dissertação apresentada ao corpo docentes do curso de Pós Graduação em Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia: UFRGS, Porto Alegre, 1988.

DAPPER, S. T. H. **Desenvolvimento De Textura Bioinspirada No Líquen Parmotrema Praesorediosum Visando a Adesão Da Argamassa De Revestimento Em Painéis De Concreto.** Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul para obtenção do Grau de Mestre em Design: UFRGS, Porto Alegre., 2013.

DEPARTAMENT OF ENVIRONMENT AND NATURAL RESOUSCES. **HERITAGE CONSERVATION: Salt attack and rising damp A guide to salt damp in historic and older buildings.** Adelaide City: [s.n.].

EUROPEAN STANDARD NORME EUROPÉENNE EUROPAICHE NORM. **EN 16322 - Conservation of Cultural Heritage - Test methods - Determination of drying properties** Bruxelas, 2013.

- FARMER, M. C. Unique Considerations for Stone Facade Inspection and Assessment. In: **Building Facade Maintenance**. [s.l: s.n.]. p. 327.
- FERREIRA, C. C.; BERGMANN, C. P. Formação da efluorescência em cerâmica vermelha: fatores de influência no transporte dos íons  $SO_4^{2-}$  e  $Ca^{2+}$ . v. 57, p. 356–363, 2011.
- FLORES-COLEN, I.; BRITO, J. DE; FREITAS, V. P. DE. Métodos de Verificação do Desempenho em Serviço de Fachadas Rebocadas. **Conference: 3º Encontro Nacional sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, Patorreb 2009, FEUP, At Porto, Portugal**, 2009.
- FLORES-COLEN, I.; BRITO, J. DE; FREITAS, V. P. DE. Discussion of Criteria for Prioritization of Predictive Maintenance of Building Façades : Survey of 30 Experts. **Performance of Constructed Facilities**, 2010.
- FLORES, I.; BRITO, J. DE. Estratégias de Manutenção em Fachadas de Edifícios. **Engenharia Civil • UM**, p. 47–58, 2002.
- FLORES, M. G. 2014 - Flores, M. G. - **GERAÇÃO DA BASE CLIMÁTICA DE SM-RS-PARA ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES**. Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Área de Concentração em Construção Civil e Preservação Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM): Santa Maria - RS, 2014.
- FONSECA, A. J. et al. An alternative application for preventing biodeterioration of mortars: Evaluation and comparison with other biocides. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 64, n. 5, p. 388–396, 2010.
- FREEDLAND, J. **Salts in Porous Materials : Evaluating Effectiveness of Their Removal**. Theses (Historic Preservation): University of Pennsylvania, Philadelphia., 1999.
- FREITAS, S. S. DE; FREITAS, V. P. D.; BARREIRA, E. Detection of façade plaster detachments using infrared thermography - A nondestructive technique. **Construction and Building Materials**, v. 70, p. 80–87, 2014.
- FREITAS, V. P. DE; ALVES, S. M. **Manchas de sujidade em fachadas sob os peitoris**, 2015.
- FREITAS, V. P. DE; TORRES, M. I.; GUIMARÃES, A. S. **Humidade Ascensional**. 1ª ed. [s.l: s.n.].
- GASPAR, K.; CASALS, M.; GANGOLELLS, M. Classifying System for Façades and Anomalies. **Journal of Performance of Constructed Facilities**, v. 30, n. 1, p. 4014187, 2016.
- GASPAR, P.; BRITO, J. DE. Mapping defect sensitivity in external mortar renders. v. 19, p. 571–578, 2005.
- GASPAR, P. L.; BRITO, J. DE. Quantifying environmental effects on cement-rendered facades: A comparison between different degradation indicators. **Building and Environment**, v. 43, n. 11, p. 1818–1828, 2008.
- GASPAR, P. L.; BRITO, J. DE. Durabilidade, estados limite e vida útil de rebocos em fachadas. **3º Congresso Portugues de Argamassas de Construção, Anais..., Lisboa**, 2010.
- GASPAR, P. L.; BRITO, J. DE. Limit States and Service Life of Cement Renders on Façades. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 23, n. 10, p. 1396–1404, 2011.
- GASPAR, P. L.; BRITO, J. DE. DAMAGE ATLAS OF CEMENT RENDERED FAÇADES. In: FREITAS, V. P. DE (Ed.). **A STATE-OF-THE-ART REPORT ON BUILDING**

**PATHOLOGYCIB – W086 BUILDING PATHOLOGY.** Porto University, Faculty of Engineering. CIB – International Council for Research and Innovation in Building and Construction: [s.n.]. p. 200.

GASPAR, P. L.; FLORES-COLEN, I.; BRITO, J. DE. **Técnicas de Diagnóstico e Classificação de Fissuração em Fachadas Rebocadas** 2º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios–PATORREB, 2006., 2006.

GASPAR, P. M. DOS S. L. **Desenvolvimento de uma metodologia para a estimativa da durabilidade de elementos da construção. Aplicação a rebocos de edifícios correntes.** Dissertação para a obtenção do grau de Doutor em Ciências de Engenharia.: Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior Técnico (IST), 2009.

GEWEHR, U. **APLICABILIDADE E EFICIÊNCIA DE DOIS MÉTODOS DE SANEAMENTO DE PAREDES DEGRADADAS POR UMIDADE E SAIS A PARTIR DE UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E DE UM ESTUDO DE CASO.** Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre., 2004.

GRINZATO, E.; BISON, P. G.; MARINETTI, S. Monitoring of ancient buildings by the thermal method. v. 3, p. 21–29, 2002.

GUERRA, F. L. et al. Biodeterioration of mortar coating in historical buildings : Microclimatic characterization , material , and fungal community. **Building and Environment**, v. 155, n. October 2018, p. 195–209, 2019.

HAAGENRUD, S. Factors Causing Degradation: Part II. In: Guide and Bibliography to Service Life and Durability Research for Buildings and Components. In: **CIB Publication 295**. Rotterdam: [s.n.]. p. 2.1-2.104.

HALL, C.; RAYMOND YAU, M. H. Water movement in porous building materials-IX. The water absorption and sorptivity of concretes. **Building and Environment**, v. 22, n. 1, p. 77–82, 1987.

HENRIQUES, F. M. A. **Humidade em Paredes.** 2ª ed. [s.l: s.n.].

HERRERA, L. K.; VIDELA, H. A. The importance of atmospheric effects on biodeterioration of cultural heritage constructional materials. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 54, p. 125–134, 2004.

HOVDE, P. J. Factor methods for service life prediction. In: Performance Based Methods for Service Life Prediction. In: **Performance Based Methods for Service Life Prediction. CIB Publication 294**, [s.l: s.n.]. p. 01–51.

I'ANSON, S. J.; HOFF, W. D. Water movement in porous building materials—VIII. Effects of evaporative drying on height of capillary rise equilibrium in walls. **Building and Environment**, v. 21, n. 3–4, p. 195–200, 1986.

IBGE. **Cidades.** Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/santa-maria>>. Acesso em: 4 jul. 2018.

ISO/DIS 15686-1. **Buildings and constructed assets — Service life planning Part 1: General principles and framework** International Organization for Standardization, 2011.

ISO 15686-8. **“Building and constructed assets - Service life planning, Part 8 – Reference service life and service-life estimation** International Organization for Standardization, 2008.

JING, G. et al. Improving the cracking resistance of mortar by reduced graphene oxide.

**Construction and Building Materials**, v. 310, n. March, p. 125150, 2021.

JOHN, V. **Avaliação da Durabilidade de Materiais Componentes e Edificações - Emprego do Índice de Degradação**. Dissertação apresentada ao corpo docente do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil para obtenção do grau de Mestre em Engenharia: UFRGS, Porto Alegre, 1987.

JOHN, V. M.; SATO, N. M. N. Durabilidade de componentes da construção. In: OSCAR, S M. A. S. [E] F.; PEREIRA, R. (Eds.). . **Coletânea Habitare - Construção e Meio Ambiente**. Porto Alegre, ANTAC: [s.n.]. v. 7p. 20–57.

KAZMIERCZAK, C. DE S. et al. Considerações sobre a Avaliação da Durabilidade de Revestimentos de Argamassa com Incorporação de Resíduos por Meio de Ensaio Acelerados com Ciclos Térmicos. In: SCIENZA (Ed.). . **Avaliação de Desempenho de Tecnologias Construtivas Inovadoras: Materiais e Sustentabilidade**. Porto Alegre: Avaliação de Desempenho de Tecnologias Construtivas Inovadoras: Materiais e Sustentabilidade, 2016. p. 147–176.

KEPNER, C. H.; TREGOE, B. B. **O Administrador Racional**. 2ª ed. [s.l: s.n.].

KLEBER, D. H. **Análise do desempenho de sistemas de vedação vertical externo com diferentes tipos de argamassa, através de simulação higrotérmica para a cidade de Porto Alegre**. Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre., 2018.

KLOPPMANN, W. et al. ( B , O , S ). **Science of the Total Environment, The**, v. 409, n. 9, p. 1658–1669, 2011.

KÜNZEL, H. M.; KÜNZEL, H.; HOLM, A. Rain Protection of Stucco Facades. **Proceedings of the Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Buildings . IX–International Conference. Florida, USA**, 2004.

LA RUSSA, M. F. et al. Multifunctional TiO<sub>2</sub> coatings for Cultural Heritage. **Progress in Organic Coatings**, v. 74, n. 1, p. 186–191, 2012.

LIMA, F.; BRAGANÇA, L.; MATEUS, R. Edifícios antigos – reabilitação sustentável low cost. **Conference: Workshop on Sustainable Construction and Rehabilitation. Guimarães**, n. April 2015, 2012.

LOURENÇO, T.; MATIAS, L.; FARIA, P. Anomalies detection in adhesive wall tiling systems by infrared thermography. **Construction and Building Materials**, v. 148, p. 419–428, 2017.

MACÊDO, M. S. P. H. DE. **MENSURAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE FACHADAS EM ARGAMASSA EMPREGANDO A INSPEÇÃO DE EDIFÍCIOS**. MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL 2 EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL: UNB - BRASÍLIA/DF, 2017.

MADUREIRA, S. et al. Maintenance planning of facades in current buildings. v. 147, p. 790–802, 2017.

MAHABOONPACHAI, T.; KUROMIYA, Y.; MATSUMOTO, T. Experimental investigation of adhesion failure of the interface between concrete and polymer-cement mortar in an external wall tile structure under a thermal load. **Construction and Building Materials**, v. 22, n. 9, p. 2001–2006, 2008.

MARCHIORI, J. N. C.; MACHADO, P. F. DOS S.; FILHO, V. A. N. **Do Céu de Santa Maria**. Prefeitura Municipal de Santa Maria: [s.n.].

MARINHO, M. I. M. **Diagnóstico De Patologias Associadas À Humidade Utilizando**

Técnicas Não Destrutivas. p. 160, 2014.

MARREIROS, L. S. O TRATAMENTO DE PARAMETROS SALITRADOS: SUCESSOS E INSUCESSOS DA DIRECÇÃO REGIONAL DE LISBOA DO IPPAR. In: LNEC (Ed.). . **Sais solúveis em argamassas de edifícios antigos: danos, processos e soluções**. 2ª ed. Lisboa: [s.n.]. p. 141–146.

MASON, G. Rising Damp. v. 9, n. I, p. 227–231, 1974.

MELO JÚNIOR, C. M.; CARASEK, H. Relationship between the Deterioration of Multi Story Buildings Facades and the Driving Rain. **Revista de la Construcción**, v. 13, p. 64–73, 2014.

MENEZES, A.; GOMES, M. G.; FLORES-COLEN, I. In-situ assessment of physical performance and degradation analysis of rendering walls. v. 75, p. 283–292, 2015.

MENEZES, R. R. et al. Sais solúveis e eflorescência em blocos cerâmicos e outros materiais de construção - revisão. **Cerâmica**, v. 52, p. 37–49, 2006.

MORAIS, M. J. A. **SIMULAÇÃO NUMÉRICA DA HUMIDADE ASCENSIONAL EM EDIFÍCIOS HISTÓRICOS**. Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES: Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2011.

NAPPI, S. C. B.; LALANE, M. M. **A saliidade em edifícios antigos** VI CINPAR. Córdoba, Argentina., 2010.

NASCIMENTO, M. L. M. **APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO HIGROTÉRMICA NA INVESTIGAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE FACHADAS DE EDIFÍCIOS**. Dissertação submetida ao departamento de engenharia civil e ambiental da faculdade de tecnologia da universidade de Brasília como parte dos requisitos necessários para a obtenção do drau de mestre em estruturas e construção civil.: Faculdade de Tecnologia, UNB, Brasília, 2016.

PAGNUSSAT, D. TREGNAGO. **Efeito da temperatura de queima de blocos cerâmicos sobre a resistência de aderência à tração de revestimentos de argamassa**. Tese apresentada ao Programa de PósGraduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia na modalidade Acadêmico: UFRGS, Porto Alegre, 2013.

PALHA, F. et al. Effect of Water on the Degradation of Gypsum Plaster Coatings: Inspection, Diagnosis, and Repair. **Journal of Performance of Constructed Facilities**, v. 26, n. 4, p. 424–432, 2012.

PAVON, E. **Crítérios e padrões de comportamento para avaliação de descolamentos cerâmicos com termografia de infravermelho**. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental: Universidade de Brasília, Brasília- DF, 2017.

PEREIRA, C. et al. Urgency of repair of building elements: Prediction and influencing factors in façade renders. **Construction and Building Materials**, v. 249, p. 118743, 2020.

PEREIRA, C.; BRITO, J. DE; SILVESTRE, J. D. Contribution of humidity to the degradation of façade claddings in current buildings. **Engineering Failure Analysis**, v. 90, n. October 2017, p. 103–115, 2018.

PEREIRA, C.; SILVA, A.; BRITO, J. DE. A PREVISÃO DA VIDA ÚTIL DE ELEMENTOS CONSTRUTIVOS COMO FERRAMENTA DE APOIO À MANUTENÇÃO. **Patorreb 2018: 6 Congreso de patología y rehabilitación de edificios: 04-06de abril de 2018, Rio de Janeiro, RJ.**, 2018.

PETRUCCI, H. M. C. **A Alteração da Aparência das Fachadas dos Edifícios: interaçã**

**entre as condições ambientais e a forma construída.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil: UFRGS, 2000.

PIAZZAROLLO, C. B. **Estudo da Evolução e da Gravidade da Degradação nas Diferentes Zonas Componentes da Fachada.** DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL: Universidade de Brasília, 2019.

PINHEIRO, P. I. S. **APLICAÇÃO DO MÉTODO DE MENSURAÇÃO DA DEGRADAÇÃO (MMD) AO ESTUDO DAS FACHADAS DE EDIFÍCIOS EM BRASÍLIA.** TRABALHO DE PROJETO FINAL SUBMETIDO AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.: UNB, Brasília, 2016.

POSSER, N. D. **Proporcionamento de argamassas para reboco de recuperação.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia na modalidade Acadêmico.: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

POYASTRO, P. **Influência da volumetria e das condições de entorno da edificação no manchamento e infiltração de água em fachadas por ação de chuva dirigida.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia Civil: UFRGS, Porto Alegre, 2011.

RAMÍREZ, C. P. et al. Durability of cement mortars reinforced with insulation waste from the construction industry. **Journal of Building Engineering**, v. 40, n. May, 2021.

RECENA, F. A. P. **Técnicas Aplicáveis a Trabalhos de Restauração de Prédios de Interesse Histórico e Cultural.** Porto Alegre: [s.n.].

RIBEIRO, F. A.; BARROS, M. M. S. B. DE. **Juntas de Movimentação em Revestimentos Cerâmicos de Fachadas.** 1ª ed. São Paulo: [s.n.].

RIBEIRO, I. J. DA C. et al. **DETERMINAÇÃO DOS TIPOS DE SAIS EM EDIFICAÇÕES COM EFLORESCÊNCIA NA CIDADE DE MONTEIRO- PBPatorreb 2018: 6 Congreso de patología y rehabilitación de edificios**Rio de Janeiro, 2018.

RIBEIRO, P. J. T. Análise comparativa de diferentes modelos de simulação numérica na avaliação da ocorrência de condensações internas. 2013.

RIRSCH, E.; ZHANG, Z. Rising damp in masonry walls and the importance of mortar properties. **Construction and Building Materials**, v. 24, n. 10, p. 1815–1820, out. 2010.

ROBINSON, G.; BAKER, M. C. Wind-driven rain and buildings. **Technical Paper n. 445, Division of Building Research, National Research Council**, 1975.

RODRIGUEZ, J. D.; GONÇALVES, T. D. SAIS SOLÚVEIS NAS CONSTRUÇÕES HISTÓRICAS: INTRODUÇÃO E RELATO SUMÁRIO. In: LNEC (Ed.). **Sais solúveis em argamassas de edifícios antigos: danos, processos e soluções.** 2ª ed. Lisboa: [s.n.]. p. 1–13.

RORIZ, M. Arquivos Climáticos de Municípios Brasileiros. **ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações.** São Carlos, SP, 2012.

RUFFOLO, S. A. et al. ZnO and ZnTiO<sub>3</sub> nanopowders for antimicrobial stone coating. **Applied Physics A: Materials Science and Processing**, v. 100, n. 3, p. 829–834, 2010.

RUFFOLO, S. A. et al. Medium-term in situ experiment by using organic biocides and titanium dioxide for the mitigation of microbial colonization on stone surfaces. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v. 123, p. 17–26, 2017.

SANTOS, M. J. B. O. **CATALOGAÇÃO DE PATOLOGIAS EM FACHADAS DE EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS DE BRASÍLIA**. DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL: Universidade de Brasília, 2017.

SANTOS, D. G. DOS. **Estudo da vida útil e degradação de fachadas em argamassa a partir da inspeção de edifícios**. DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL: Universidade de Brasília, 2018.

SEGAT, G. T. **Manifestações patológicas observadas em revestimentos de argamassa: estudo de caso em conjunto habitacional popular na cidade de Caxias do Sul (RS)**. Manifestações patológicas observadas em revestimentos de argamassa: estudo de caso em conjunto habitacional popular na cidade de Caxias 128 do Sul.: Manifestações patológicas observadas em revestimentos de argamassa: estudo de caso em conjunto habitacional popular na cidade de Caxias 128 do Sul, 2005.

SENESI, G. S. et al. Talanta Application of micro X-ray fluorescence and micro computed tomography to the study of laser cleaning efficiency on limestone monuments covered by black crusts. **Talanta**, v. 178, n. June 2017, p. 419–425, 2018.

SHOHET, I. M. et al. Deterioration patterns for maintenance management - a methodological approach. **Durability of Building Materials and Components**, v. 2, 1999.

SILVA, A.; GASPAR, P. L.; BRITO, J. DE. Stochastic, deterministic, statistical and artificial intelligence based models to predict the service life of rendered facades. **XIII International Conference on Durability of Building Materials and Components, XIII DBMC. São Paulo, Brasil**, 2014.

SILVA, M. N. B. . et al. DISTRIBUIÇÃO DE OCORRÊNCIA DE DANOS E PATOLOGIAS EM FACHADAS. **ARGAMASSAS 2014 – I Simpósio de Argamassas e Soluções Térmicas de Revestimento**. ITECons/ APFAC, n. April, 2014.

SILVA, N. S. D. A. E. **SIMULAÇÃO NUMÉRICA DA INFLUÊNCIA DA INTERFACE NO FENÓMENO DA HUMIDADE ASCENSIONAL – WUFI-2D**. Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES: FEUP, Porto, Portugal, 2013.

SILVA, J. M. DA. **IMPACTO DA CONFIGURAÇÃO DO PEITORIL NA EXPOSIÇÃO DE FACHADAS FRENTE À CHUVA DIRIGIDA**. Trabalho de Conclusão apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul: UFRGS, Porto Alegre, 2020.

SILVA, M. DE N. B. DA. **AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DA DEGRADAÇÃO E VIDA ÚTIL DE REVESTIMENTOS DE FACHADA – APLICAÇÃO AO CASO DE BRASÍLIA/DF**. TESE DE DOUTORADO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL: UNB, Brasília, 2014.

SOUSA, R. D. B. DE. **PREVISÃO DA VIDA ÚTIL DOS REVESTIMENTOS CERÂMICOS ADERENTES EM FACHADA**. Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil: Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2008.

SOUZA, J. S. DE. **EVOLUÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE FACHADAS - EFEITO DOS AGENTES DE DEGRADAÇÃO E DOS ELEMENTOS CONSTITUINTES**. DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL: UNB, Brasília, 2016.

SOUZA, J. S. DE. **Impacto dos fatores de degradação sobre a vida útil de fachadas de**



- edifícios.** [s.l.] UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, 2019.
- STOLZ, C. M. **Análise Dos Principais Parâmetros Que Influenciam Na Área De Contato Substrato / Argamassa De Revestimento.** Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul: UFRGS, Porto Alegre., 2015.
- STOLZ, C. M. et al. Influence of substrate texture on the tensile and shear bond strength of rendering mortars. **Construction and Building Materials**, v. 128, p. 298–307, 2016.
- STOLZ, C. M.; MASUERO, A. B. Analysis of main parameters affecting substrate/mortar contact area through tridimensional laser scanner. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 455, p. 16–23, 2015.
- STOLZ, C. M.; MASUERO, A. B. Influence of grains distribution on the rheological behavior of mortars. **Construction and Building Materials**, v. 177, p. 261–271, 2018.
- STRAUBE, J. Moisture in Buildings. **ASHRAE Journal**, n. January 2002, 2002.
- STRAUBE, J. F. **Understanding Water : The Physics of Moisture Dynamics. Presentation.** University of Waterloo. Ontario, Canada, 2005. Disponível em: <[www.civil.uwaterloo.ca/begCE708Moisture\\_physics\\_708.pdf](http://www.civil.uwaterloo.ca/begCE708Moisture_physics_708.pdf)>
- THOMAZ, E. **Trincas em Edifícios: Causas, prevenção e recuperação.** 2ª ed. São Paulo: [s.n.].
- TORRACA, G. **Lectures on Materials Science for Architectural Conservation.** Los Angeles: [s.n.].
- VALLEJO, F. J. L. Ensuciamiento de fachadas pétreas por la contaminación atmosférica. El caso de La ciudad de Valladolid: Universidad, España. **Informes de La Construcción, Madrid, Instituto Eduardo Torroja**, v. 41, p. 45–72, 1990.
- VEGA, J. et al. Evaluation of the open porosity of PVD coatings through electrochemical iron detection. **Surface and Coatings Technology**, v. 350, n. June, p. 453–461, 2018.
- VERDUM, G. et al. Mortar coating degradation in historical buildings facades from Rio Grande do Sul – Brazil. **Construction and Building Materials**, v. 310, n. August, 2021.
- VIEIRA, A. D. A. **Influência dos detalhes arquitetônicos no estado de conservação das fachadas de edificações do patrimônio cultural do centro histórico de porto alegre – estudo de caso.** Trabalho de conclusão apresentado ao Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.— [s.l.] UFRGS, Porto Alegre, 2005.
- WUFI® PRO 6.5. **Manual and software.** IBP – Fraunhofer Institute for Building Physics. Holzkirchen, Germany, 2020.
- YU, Z. et al. Synergistic effects of ettringite-based expansive agent and polypropylene fiber on early-age anti-shrinkage and anti-cracking properties of mortars. **Journal of Building Engineering**, v. 39, n. October 2020, p. 102275, 2021.
- ZAMPIERI, R. V. **Campus da Universidade Federal de Santa Maria : um testemunho, um fragmento.** Dissertação apresentada ao Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura (PROPAR) da Faculdade de Arquitetura da UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre., 2011.
- ZANONI, V. A. G. **Influência dos agentes climáticos de degradação no comportamento higrotérmico de fachadas em Brasília.** Tese de Doutorado apresentada como requisito obrigatório para a obtenção do grau de Doutor pelo Programa de Pesquisa e Pós-Graduação

em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília: UNB, Brasília, 2015.

ZUCCHETTI, L. **Influência das características do peitoril no molhamento dos paramentos próximos às janelas frente à chuva dirigida.** Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul: UFRGS, Porto Alegre, 2016.

## **Apêndice A**

Figura 94 - Planificação dos resultados de Poyastro (2011) para os modelos 1, e entornos 1 (M1E1)



(fonte: adaptado de Poyastro (2011))

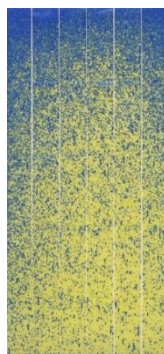
Tabela 41 - Resultados da contabilização das áreas molhadas no sentido dos cantos para o centro. (M1E1)

<b>MODELO/ ENTORNO</b>	<b>M1E1</b>	<b>Nº PIXELS - LARGURA</b>	<b>Nº de pixels ALTURA</b>	<b>3386 %</b>
<b>AMOSTRA</b>	Distância das laterais	Nº pixels - LARGURA	Nº de pixels	%
<b>LADO DIREITO</b>				
<b>M1E1 - VD1</b>	1	78	171674	65%
<b>M1E1 - VD2</b>	2	159	322437	60%
<b>M1E1 - VD3</b>	3	234	453971	57%
<b>M1E1 - VD4</b>	4	315	556388	52%
<b>M1E1 - VD5</b>	5	396	673018	50%
<b>M1E1 - VD6</b>	6	474	782194	49%
<b>M1E1 - VD7</b>	7	549	876592	47%
<b>M1E1 - VD8</b>	8	630	977282	46%
<b>M1E1 - VD9</b>	9	708	1071067	45%
<b>M1E1 - VD10</b>	10	786	1163573	44%
<b>LADO ESQUERDO</b>				
<b>M1E1 - VE1</b>	1	78	97415	37%
<b>M1E1 - VE2</b>	2	159	192579	36%
<b>M1E1 - VE3</b>	3	234	284997	36%
<b>M1E1 - VE4</b>	4	315	370273	35%
<b>M1E1 - VE5</b>	5	396	458878	34%
<b>M1E1 - VE6</b>	6	474	538345	34%
<b>M1E1 - VE7</b>	7	549	615400	33%
<b>M1E1 - VE8</b>	8	630	705530	33%
<b>M1E1 - VE9</b>	9	708	786263	33%
<b>M1E1 - VE10</b>	10	786	870625	33%

Tabela 42 - Resultados da contabilização das áreas molhadas no sentido de cima para baixo (M1E1)

<b>MODELO/ ENTORNO</b>	<b>M1E1</b>	<b>Nº PIXELS - ALTURA</b>	<b>1575</b>	
<b>AMOSTRA</b>	<b>Distância do topo</b>	<b>Nº pixels - altura</b>	<b>Nº de pixels</b>	<b>%</b>
<b>SENTIDO DE CIMA PARA BAIXO</b>				
<b>M1E1 - H1</b>	1	78	110554	90%
<b>M1E1 - H2</b>	2	156	216192	88%
<b>M1E1 - H3</b>	3	234	315194	86%
<b>M1E1 - H4</b>	4	312	408403	83%
<b>M1E1 - H5</b>	5	396	503459	81%
<b>M1E1 - H6</b>	6	474	584139	78%
<b>M1E1 - H7</b>	7	552	661056	76%
<b>M1E1 - H8</b>	8	630	732603	74%
<b>M1E1 - H9</b>	9	708	799814	72%
<b>M1E1 - H10</b>	10	786	866370	70%
<b>M1E1 - H11</b>	11	864	927567	68%
<b>M1E1 - H12</b>	12	942	988510	67%
<b>M1E1 - H13</b>	13	1026	1048224	65%
<b>M1E1 - H14</b>	14	1104	1101788	63%
<b>M1E1 - H15</b>	15	1182	1148709	62%
<b>M1E1 - H16</b>	16	1260	1196216	60%
<b>M1E1 - H17</b>	17	1338	1246078	59%
<b>M1E1 - H18</b>	18	1416	1294689	58%
<b>M1E1 - H19</b>	19	1494	1340693	57%
<b>M1E1 - H20</b>	20	1572	1381340	56%
<b>M1E1 - H21</b>	21	1656	1425377	55%
<b>M1E1 - H22</b>	22	1734	1465179	54%
<b>M1E1 - H23</b>	23	1812	1505311	53%

Figura 95 - Planificação dos resultados de Poyastro (2011) para os modelos 1, e entornos 2 (M1E2)



(fonte: adaptado de Poyastro (2011))

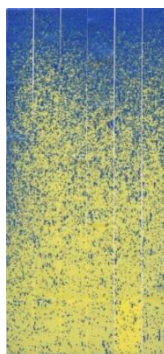
Tabela 43 - Resultados da contabilização das áreas molhadas no sentido dos cantos para o centro. (M1E2)

<b>MODELO/ ENTORNO</b>	<b>M1E2</b>	<b>Nº PIXELS - LARGURA</b>	<b>Nº de pixels ALTURA</b>	<b>3386 %</b>
<b>AMOSTRA</b>	Distância das laterais	Nº pixels - LARGURA	Nº de pixels	%
<b>LADO DIREITO</b>				
<b>M1E2 - VD1</b>	1	78	122168	46%
<b>M1E2 - VD2</b>	2	159	238671	44%
<b>M1E2 - VD3</b>	3	234	339318	43%
<b>M1E2 - VD4</b>	4	315	425810	40%
<b>M1E2 - VD5</b>	5	396	522394	39%
<b>M1E2 - VD6</b>	6	474	613309	38%
<b>M1E2 - VD7</b>	7	549	683888	37%
<b>M1E2 - VD8</b>	8	630	773236	36%
<b>M1E2 - VD9</b>	9	708	863229	36%
<b>M1E2 - VD10</b>	10	786	952243	36%
<b>LADO ESQUERDO</b>				
<b>M1E2 - VE1</b>	1	78	170957	65%
<b>M1E2 - VE2</b>	2	159	329873	61%
<b>M1E2 - VE3</b>	3	234	467409	59%
<b>M1E2 - VE4</b>	4	315	587890	55%
<b>M1E2 - VE5</b>	5	396	717948	54%
<b>M1E2 - VE6</b>	6	474	838410	52%
<b>M1E2 - VE7</b>	7	549	935034	50%
<b>M1E2 - VE8</b>	8	630	1043164	49%
<b>M1E2 - VE9</b>	9	708	1140925	48%
<b>M1E2 - VE10</b>	10	786	1227517	46%

Tabela 44 - Resultados da contabilização das áreas molhadas no sentido de cima para baixo (M1E2)

<b>MODELO/ ENTORNO</b>	<b>M1E2</b>	<b>Nº PIXELS - ALTURA</b>	<b>1575</b>	
<b>AMOSTRA</b>	Distância do topo	Nº pixels - altura	Nº de pixels	%
<b>SENTIDO DE CIMA PARA BAIXO</b>				
<b>M1E2 - H1</b>	1	78	118700	97%
<b>M1E2 - H2</b>	2	156	237406	97%
<b>M1E2 - H3</b>	3	234	354918	96%
<b>M1E2 - H4</b>	4	312	468861	95%
<b>M1E2 - H5</b>	5	396	585750	94%
<b>M1E2 - H6</b>	6	474	687307	92%
<b>M1E2 - H7</b>	7	552	782401	90%
<b>M1E2 - H8</b>	8	630	867894	87%
<b>M1E2 - H9</b>	9	708	948338	85%
<b>M1E2 - H10</b>	10	786	1026922	83%
<b>M1E2 - H11</b>	11	864	1098115	81%
<b>M1E2 - H12</b>	12	942	1163914	78%
<b>M1E2 - H13</b>	13	1026	1231341	76%
<b>M1E2 - H14</b>	14	1104	1290818	74%
<b>M1E2 - H15</b>	15	1182	1346286	72%
<b>M1E2 - H16</b>	16	1260	1395056	70%
<b>M1E2 - H17</b>	17	1338	1440982	68%
<b>M1E2 - H18</b>	18	1416	1482837	66%
<b>M1E2 - H19</b>	19	1494	1529480	65%
<b>M1E2 - H20</b>	20	1572	1571375	63%
<b>M1E2 - H21</b>	21	1656	1616891	62%
<b>M1E2 - H22</b>	22	1734	1652195	60%
<b>M1E2 - H23</b>	23	1812	1687642	59%

Figura 96 - Planificação dos resultados de Poyastro (2011) para os modelos 1, e entornos 1 (M1E3)



(fonte: adaptado de Poyastro (2011))

Tabela 45 - Resultados da contabilização das áreas molhadas no sentido dos cantos para o centro. (M1E3)

<b>MODELO/ ENTORNO</b>	<b>M1E3</b>	<b>Nº PIXELS - LARGURA</b>	<b>Nº de pixels ALTURA</b>	<b>3386 %</b>
<b>AMOSTRA</b>	Distância das laterais	Nº pixels - LARGURA	Nº de pixels	%
<b>LADO DIREITO</b>				
<b>M1E3 - VD1</b>	1	78	112654	43%
<b>M1E3 - VD2</b>	2	159	221198	41%
<b>M1E3 - VD3</b>	3	234	319824	40%
<b>M1E3 - VD4</b>	4	315	420378	39%
<b>M1E3 - VD5</b>	5	396	532779	40%
<b>M1E3 - VD6</b>	6	474	636242	40%
<b>M1E3 - VD7</b>	7	549	729217	39%
<b>M1E3 - VD8</b>	8	630	843339	40%
<b>M1E3 - VD9</b>	9	708	944398	39%
<b>M1E3 - VD10</b>	10	786	1046770	39%
<b>LADO ESQUERDO</b>				
<b>M1E3 - VE1</b>	1	78	164951	62%
<b>M1E3 - VE2</b>	2	159	307857	57%
<b>M1E3 - VE3</b>	3	234	416321	53%
<b>M1E3 - VE4</b>	4	315	511439	48%
<b>M1E3 - VE5</b>	5	396	611163	46%
<b>M1E3 - VE6</b>	6	474	700563	44%
<b>M1E3 - VE7</b>	7	549	780259	42%
<b>M1E3 - VE8</b>	8	630	877504	41%
<b>M1E3 - VE9</b>	9	708	971738	41%
<b>M1E3 - VE10</b>	10	786	1067579	40%



Tabela 46 - Resultados da contabilização das áreas molhadas no sentido de cima para baixo (M1E3)

<b>MODELO/ ENTORNO</b>	<b>M1E3</b>	<b>Nº PIXELS - ALTURA</b>	<b>1575</b>
<b>AMOSTRA</b>	<b>Distância do topo</b>	<b>Nº pixels - altura</b>	<b>Nº de pixels %</b>
<b>SENTIDO DE CIMA PARA BAIXO</b>			
<b>M1E3 - H1</b>	1	78	118060 96%
<b>M1E3 - H2</b>	2	156	237662 97%
<b>M1E3 - H3</b>	3	234	357230 97%
<b>M1E3 - H4</b>	4	312	476366 97%
<b>M1E3 - H5</b>	5	396	604031 97%
<b>M1E3 - H6</b>	6	474	719227 96%
<b>M1E3 - H7</b>	7	552	829904 95%
<b>M1E3 - H8</b>	8	630	935387 94%
<b>M1E3 - H9</b>	9	708	1034912 93%
<b>M1E3 - H10</b>	10	786	1127122 91%
<b>M1E3 - H11</b>	11	864	1211366 89%
<b>M1E3 - H12</b>	12	942	1290873 87%
<b>M1E3 - H13</b>	13	1026	1364859 84%
<b>M1E3 - H14</b>	14	1104	1423654 82%
<b>M1E3 - H15</b>	15	1182	1479152 79%
<b>M1E3 - H16</b>	16	1260	1527862 77%
<b>M1E3 - H17</b>	17	1338	1577063 75%
<b>M1E3 - H18</b>	18	1416	1618564 73%
<b>M1E3 - H19</b>	19	1494	1658162 70%
<b>M1E3 - H20</b>	20	1572	1696780 69%
<b>M1E3 - H21</b>	21	1656	1738659 67%
<b>M1E3 - H22</b>	22	1734	1768163 65%
<b>M1E3 - H23</b>	23	1812	1798531 63%

Figura 97 - Planificação dos resultados de Poyastro (2011) para os modelos 2, e entornos 1 (M2E1)



(fonte: adaptado de Poyastro (2011))

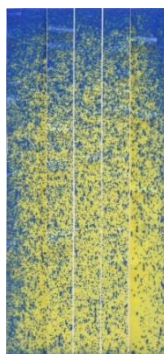
Tabela 47 - Resultados da contabilização das áreas molhadas no sentido dos cantos para o centro. (M2E1)

<b>MODELO/ ENTORNO</b>	<b>M2E1</b>	<b>Nº PIXELS - LARGURA</b>	<b>Nº de pixels ALTURA</b>	<b>3386 %</b>
<b>AMOSTRA</b>	Distância das laterais	Nº pixels - LARGURA	Nº de pixels	%
<b>LADO DIREITO</b>				
<b>M2E1 - VD1</b>	1	78	156475	59%
<b>M2E1 - VD2</b>	2	159	303509	56%
<b>M2E1 - VD3</b>	3	234	420228	53%
<b>M2E1 - VD4</b>	4	315	534707	50%
<b>M2E1 - VD5</b>	5	396	676164	50%
<b>M2E1 - VD6</b>	6	474	775184	48%
<b>M2E1 - VD7</b>	7	549	874356	47%
<b>M2E1 - VD8</b>	8	630	980563	46%
<b>M2E1 - VD9</b>	9	708	1068805	45%
<b>M2E1 - VD10</b>	10	786	1166209	44%
<b>LADO ESQUERDO</b>				
<b>M2E1 - VE1</b>	1	78	193452	73%
<b>M2E1 - VE2</b>	2	159	357122	66%
<b>M2E1 - VE3</b>	3	234	489802	62%
<b>M2E1 - VE4</b>	4	315	616226	58%
<b>M2E1 - VE5</b>	5	396	728864	54%
<b>M2E1 - VE6</b>	6	474	854088	53%
<b>M2E1 - VE7</b>	7	549	966846	52%
<b>M2E1 - VE8</b>	8	630	1073811	50%
<b>M2E1 - VE9</b>	9	708	1168785	49%
<b>M2E1 - VE10</b>	10	786	1255262	47%

Tabela 48 - Resultados da contabilização das áreas molhadas no sentido de cima para baixo (M2E1)

<b>MODELO/ ENTORNO</b>	<b>M2E1</b>	<b>Nº PIXELS - ALTURA</b>	<b>1575</b>
<b>AMOSTRA</b>	<b>Distância do topo</b>	<b>Nº pixels - altura</b>	<b>Nº de pixels %</b>
<b>SENTIDO DE CIMA PARA BAIXO</b>			
<b>M2E1 - H1</b>	1	78	106692 87%
<b>M2E1 - H2</b>	2	156	224956 92%
<b>M2E1 - H3</b>	3	234	339565 92%
<b>M2E1 - H4</b>	4	312	449774 92%
<b>M2E1 - H5</b>	5	396	564364 90%
<b>M2E1 - H6</b>	6	474	669115 90%
<b>M2E1 - H7</b>	7	552	766860 88%
<b>M2E1 - H8</b>	8	630	859256 87%
<b>M2E1 - H9</b>	9	708	946182 85%
<b>M2E1 - H10</b>	10	786	1033794 84%
<b>M2E1 - H11</b>	11	864	1110868 82%
<b>M2E1 - H12</b>	12	942	1188063 80%
<b>M2E1 - H13</b>	13	1026	1262737 78%
<b>M2E1 - H14</b>	14	1104	1330046 76%
<b>M2E1 - H15</b>	15	1182	1396803 75%
<b>M2E1 - H16</b>	16	1260	1453930 73%
<b>M2E1 - H17</b>	17	1338	1508107 72%
<b>M2E1 - H18</b>	18	1416	1567573 70%
<b>M2E1 - H19</b>	19	1494	1625209 69%
<b>M2E1 - H20</b>	20	1572	1668349 67%
<b>M2E1 - H21</b>	21	1656	1718989 66%
<b>M2E1 - H22</b>	22	1734	1760830 64%
<b>M2E1 - H23</b>	23	1812	1803035 63%

Figura 98 - Planificação dos resultados de Poyastro (2011) para os modelos 2, e entornos 2 (M2E2)



(fonte: adaptado de Poyastro (2011))

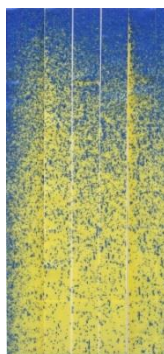
Tabela 49 Resultados da contabilização das áreas molhadas no sentido dos cantos para o centro. (M2E2)

<b>MODELO/ ENTORNO</b>	<b>M2E2</b>	<b>Nº PIXELS - LARGURA</b>	<b>Nº de pixels ALTURA</b>	<b>3386 %</b>
<b>AMOSTRA</b>	Distância das laterais	Nº pixels - LARGURA	Nº de pixels	%
<b>LADO DIREITO</b>				
<b>M2E2 - VD1</b>	1	78	157365	60%
<b>M2E2 - VD2</b>	2	159	286015	53%
<b>M2E2 - VD3</b>	3	234	389293	49%
<b>M2E2 - VD4</b>	4	315	497359	47%
<b>M2E2 - VD5</b>	5	396	575883	43%
<b>M2E2 - VD6</b>	6	474	679045	42%
<b>M2E2 - VD7</b>	7	549	788646	42%
<b>M2E2 - VD8</b>	8	630	900406	42%
<b>M2E2 - VD9</b>	9	708	986310	41%
<b>M2E2 - VD10</b>	10	786	1093664	41%
<b>LADO ESQUERDO</b>				
<b>M2E2 - VE1</b>	1	78	214783	81%
<b>M2E2 - VE2</b>	2	159	414822	77%
<b>M2E2 - VE3</b>	3	234	570927	72%
<b>M2E2 - VE4</b>	4	315	711748	67%
<b>M2E2 - VE5</b>	5	396	837445	62%
<b>M2E2 - VE6</b>	6	474	964996	60%
<b>M2E2 - VE7</b>	7	549	1088587	59%
<b>M2E2 - VE8</b>	8	630	1208918	57%
<b>M2E2 - VE9</b>	9	708	1301722	54%
<b>M2E2 - VE10</b>	10	786	1412874	53%

Tabela 50 - Resultados da contabilização das áreas molhadas no sentido de cima para baixo (M2E2)

<b>MODELO/ ENTORNO</b>	<b>M2E2</b>	<b>Nº PIXELS - ALTURA</b>	<b>1575</b>	
<b>AMOSTRA</b>	Distância do topo	Nº pixels - altura	Nº de pixels	%
<b>SENTIDO DE CIMA PARA BAIXO</b>				
<b>M2E2 - H1</b>	1	78	117354	96%
<b>M2E2 - H2</b>	2	156	236804	96%
<b>M2E2 - H3</b>	3	234	353768	96%
<b>M2E2 - H4</b>	4	312	465708	95%
<b>M2E2 - H5</b>	5	396	585295	94%
<b>M2E2 - H6</b>	6	474	694948	93%
<b>M2E2 - H7</b>	7	552	798113	92%
<b>M2E2 - H8</b>	8	630	894227	90%
<b>M2E2 - H9</b>	9	708	983941	88%
<b>M2E2 - H10</b>	10	786	1069655	86%
<b>M2E2 - H11</b>	11	864	1145183	84%
<b>M2E2 - H12</b>	12	942	1219781	82%
<b>M2E2 - H13</b>	13	1026	1298704	80%
<b>M2E2 - H14</b>	14	1104	1362332	78%
<b>M2E2 - H15</b>	15	1182	1419435	76%
<b>M2E2 - H16</b>	16	1260	1468668	74%
<b>M2E2 - H17</b>	17	1338	1521414	72%
<b>M2E2 - H18</b>	18	1416	1570945	70%
<b>M2E2 - H19</b>	19	1494	1615996	69%
<b>M2E2 - H20</b>	20	1572	1663716	67%
<b>M2E2 - H21</b>	21	1656	1708979	66%
<b>M2E2 - H22</b>	22	1734	1750988	64%
<b>M2E2 - H23</b>	23	1812	1796892	63%

Figura 99 - Planificação dos resultados de Poyastro (2011) para os modelos 2, e entornos 3 (M2E3)



(fonte: adaptado de Poyastro (2011))

Tabela 51 - Resultados da contabilização das áreas molhadas no sentido dos cantos para o centro. (M2E3)

<b>MODELO/ ENTORNO</b>	<b>M2E3</b>	<b>Nº PIXELS - LARGURA</b>	<b>Nº de pixels ALTURA</b>	<b>3386 %</b>
<b>AMOSTRA</b>	Distância das laterais	Nº pixels - LARGURA	Nº de pixels	%
<b>LADO DIREITO</b>				
<b>M2E3 - VD1</b>	1	78	137963	52%
<b>M2E3 - VD2</b>	2	159	261027	48%
<b>M2E3 - VD3</b>	3	234	372459	47%
<b>M2E3 - VD4</b>	4	315	494829	46%
<b>M2E3 - VD5</b>	5	396	574949	43%
<b>M2E3 - VD6</b>	6	474	671265	42%
<b>M2E3 - VD7</b>	7	549	774061	42%
<b>M2E3 - VD8</b>	8	630	889109	42%
<b>M2E3 - VD9</b>	9	708	985517	41%
<b>M2E3 - VD10</b>	10	786	1093712	41%
<b>LADO ESQUERDO</b>				
<b>M2E3 - VE1</b>	1	78	206774	78%
<b>M2E3 - VE2</b>	2	159	363512	68%
<b>M2E3 - VE3</b>	3	234	476758	60%
<b>M2E3 - VE4</b>	4	315	585060	55%
<b>M2E3 - VE5</b>	5	396	680002	51%
<b>M2E3 - VE6</b>	6	474	757564	47%
<b>M2E3 - VE7</b>	7	549	842086	45%
<b>M2E3 - VE8</b>	8	630	934308	44%
<b>M2E3 - VE9</b>	9	708	1011548	42%
<b>M2E3 - VE10</b>	10	786	1114940	42%

Tabela 52 - Resultados da contabilização das áreas molhadas no sentido de cima para baixo (M1E3)

<b>MODELO/ ENTORNO</b>	<b>M2E3</b>	<b>Nº PIXELS - ALTURA</b>	<b>1575</b>
<b>AMOSTRA</b>	<b>Distância do topo</b>	<b>Nº pixels - altura</b>	<b>Nº de pixels %</b>
<b>SENTIDO DE CIMA PARA BAIXO</b>			
<b>M2E3 - H1</b>	1	78	118677 97%
<b>M2E3 - H2</b>	2	156	238909 97%
<b>M2E3 - H3</b>	3	234	358323 97%
<b>M2E3 - H4</b>	4	312	476600 97%
<b>M2E3 - H5</b>	5	396	602205 97%
<b>M2E3 - H6</b>	6	474	715347 96%
<b>M2E3 - H7</b>	7	552	824816 95%
<b>M2E3 - H8</b>	8	630	927861 94%
<b>M2E3 - H9</b>	9	708	1025603 92%
<b>M2E3 - H10</b>	10	786	1111413 90%
<b>M2E3 - H11</b>	11	864	1192384 88%
<b>M2E3 - H12</b>	12	942	1264141 85%
<b>M2E3 - H13</b>	13	1026	1340690 83%
<b>M2E3 - H14</b>	14	1104	1405204 81%
<b>M2E3 - H15</b>	15	1182	1469166 79%
<b>M2E3 - H16</b>	16	1260	1524593 77%
<b>M2E3 - H17</b>	17	1338	1575723 75%
<b>M2E3 - H18</b>	18	1416	1622258 73%
<b>M2E3 - H19</b>	19	1494	1666718 71%
<b>M2E3 - H20</b>	20	1572	1710165 69%
<b>M2E3 - H21</b>	21	1656	1751922 67%
<b>M2E3 - H22</b>	22	1734	1782327 65%
<b>M2E3 - H23</b>	23	1812	1810938 63%

Figura 100 - Planificação dos resultados de Poyastro (2011) para os modelos 3, e entornos 1 (M3E1)



(fonte: adaptado de Poyastro (2011))

Tabela 53 - Resultados da contabilização das áreas molhadas no sentido dos cantos para o centro. (M3E1)

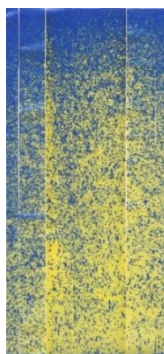
<b>MODELO/ ENTORNO</b>	<b>M3E1</b>	<b>Nº PIXELS - LARGURA</b>	<b>Nº de pixels ALTURA</b>	<b>3386 %</b>
<b>AMOSTRA</b>	Distância das laterais	Nº pixels - LARGURA	Nº de pixels	%
<b>LADO DIREITO</b>				
<b>M3E1 - VD1</b>	1	78	137343	52%
<b>M3E1 - VD2</b>	2	159	266083	49%
<b>M3E1 - VD3</b>	3	234	390995	49%
<b>M3E1 - VD4</b>	4	315	523257	49%
<b>M3E1 - VD5</b>	5	396	637182	48%
<b>M3E1 - VD6</b>	6	474	767482	48%
<b>M3E1 - VD7</b>	7	549	874179	47%
<b>M3E1 - VD8</b>	8	630	1000736	47%
<b>M3E1 - VD9</b>	9	708	1117864	47%
<b>M3E1 - VD10</b>	10	786	1231615	46,28%
<b>LADO ESQUERDO</b>				
<b>M3E1 - VE1</b>	1	78	161277	61%
<b>M3E1 - VE2</b>	2	159	313608	58%
<b>M3E1 - VE3</b>	3	234	436995	55%
<b>M3E1 - VE4</b>	4	315	564182	53%
<b>M3E1 - VE5</b>	5	396	681734	51%
<b>M3E1 - VE6</b>	6	474	799972	50%
<b>M3E1 - VE7</b>	7	549	904965	49%
<b>M3E1 - VE8</b>	8	630	1025321	48%
<b>M3E1 - VE9</b>	9	708	1145998	48%
<b>M3E1 - VE10</b>	10	786	1263551	47%



Tabela 54 - Resultados da contabilização das áreas molhadas no sentido de cima para baixo (M3E1)

<b>MODELO/ ENTORNO</b>	<b>M3E1</b>	<b>Nº PIXELS - ALTURA</b>	<b>1575</b>
<b>AMOSTRA</b>	<b>Distância do topo</b>	<b>Nº pixels - altura</b>	<b>Nº de pixels %</b>
<b>SENTIDO DE CIMA PARA BAIXO</b>			
<b>M3E1 - H1</b>	1	78	119785 98%
<b>M3E1 - H2</b>	2	156	240836 98%
<b>M3E1 - H3</b>	3	234	360816 98%
<b>M3E1 - H4</b>	4	312	478961 97%
<b>M3E1 - H5</b>	5	396	602472 97%
<b>M3E1 - H6</b>	6	474	712394 95%
<b>M3E1 - H7</b>	7	552	816311 94%
<b>M3E1 - H8</b>	8	630	917014 92%
<b>M3E1 - H9</b>	9	708	1012016 91%
<b>M3E1 - H10</b>	10	786	1108777 90%
<b>M3E1 - H11</b>	11	864	1193320 88%
<b>M3E1 - H12</b>	12	942	1276395 86%
<b>M3E1 - H13</b>	13	1026	1356529 84%
<b>M3E1 - H14</b>	14	1104	1423401 82%
<b>M3E1 - H15</b>	15	1182	1492568 80%
<b>M3E1 - H16</b>	16	1260	1552241 78%
<b>M3E1 - H17</b>	17	1338	1609917 76%
<b>M3E1 - H18</b>	18	1416	1685883 76%
<b>M3E1 - H19</b>	19	1494	1719550 73%
<b>M3E1 - H20</b>	20	1572	1771406 72%
<b>M3E1 - H21</b>	21	1656	1824038 70%
<b>M3E1 - H22</b>	22	1734	1869719 68%
<b>M3E1 - H23</b>	23	1812	1913582 67%

Figura 101 - Planificação dos resultados de Poyastro (2011) para os modelos 3, e entornos 2 (M3E2)



(fonte: adaptado de Poyastro (2011))

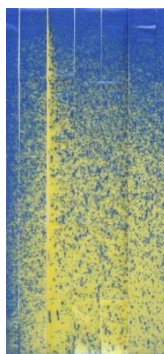
Tabela 55 - Resultados da contabilização das áreas molhadas no sentido dos cantos para o centro. (M3E2)

<b>MODELO/ ENTORNO</b>	<b>M3E2</b>	<b>Nº PIXELS - LARGURA</b>	<b>Nº de pixels ALTURA</b>	<b>3386 %</b>
<b>AMOSTRA</b>	Distância das laterais	Nº pixels - LARGURA	Nº de pixels	%
<b>LADO DIREITO</b>				
<b>M3E2 - VD1</b>	1	78	122322	46%
<b>M3E2 - VD2</b>	2	159	244696	45%
<b>M3E2 - VD3</b>	3	234	349680	44%
<b>M3E2 - VD4</b>	4	315	457020	43%
<b>M3E2 - VD5</b>	5	396	553846	41%
<b>M3E2 - VD6</b>	6	474	643514	40%
<b>M3E2 - VD7</b>	7	549	745601	40%
<b>M3E2 - VD8</b>	8	630	854220	40%
<b>M3E2 - VD9</b>	9	708	963049	40%
<b>M3E2 - VD10</b>	10	786	1085043	41%
<b>LADO ESQUERDO</b>				
<b>M3E2 - VE1</b>	1	78	199393	75%
<b>M3E2 - VE2</b>	2	159	369118	69%
<b>M3E2 - VE3</b>	3	234	532025	67%
<b>M3E2 - VE4</b>	4	315	703512	66%
<b>M3E2 - VE5</b>	5	396	829632	62%
<b>M3E2 - VE6</b>	6	474	938242	58%
<b>M3E2 - VE7</b>	7	549	1065571	57%
<b>M3E2 - VE8</b>	8	630	1215681	57%
<b>M3E2 - VE9</b>	9	708	1356763	57%
<b>M3E2 - VE10</b>	10	786	1484668	56%

Tabela 56 - Resultados da contabilização das áreas molhadas no sentido de cima para baixo (M3E2)

<b>MODELO/ ENTORNO</b>	<b>M3E2</b>	<b>Nº PIXELS - ALTURA</b>	<b>1575</b>	
<b>AMOSTRA</b>	Distância do topo	Nº pixels - altura	Nº de pixels	%
<b>SENTIDO DE CIMA PARA BAIXO</b>				
<b>M3E2 - H1</b>	1	78	111034	90%
<b>M3E2 - H2</b>	2	156	231840	94%
<b>M3E2 - H3</b>	3	234	351961	95%
<b>M3E2 - H4</b>	4	312	471626	96%
<b>M3E2 - H5</b>	5	396	597502	96%
<b>M3E2 - H6</b>	6	474	712979	96%
<b>M3E2 - H7</b>	7	552	822932	95%
<b>M3E2 - H8</b>	8	630	929051	94%
<b>M3E2 - H9</b>	9	708	1022710	92%
<b>M3E2 - H10</b>	10	786	1115431	90%
<b>M3E2 - H11</b>	11	864	1200142	88%
<b>M3E2 - H12</b>	12	942	1276074	86%
<b>M3E2 - H13</b>	13	1026	1350543	84%
<b>M3E2 - H14</b>	14	1104	1417394	82%
<b>M3E2 - H15</b>	15	1182	1479224	79%
<b>M3E2 - H16</b>	16	1260	1544864	78%
<b>M3E2 - H17</b>	17	1338	1602513	76%
<b>M3E2 - H18</b>	18	1416	1654282	74%
<b>M3E2 - H19</b>	19	1494	1704592	72%
<b>M3E2 - H20</b>	20	1572	1756174	71%
<b>M3E2 - H21</b>	21	1656	1813943	70%
<b>M3E2 - H22</b>	22	1734	1858552	68%
<b>M3E2 - H23</b>	23	1812	1910608	67%

Figura 102 - Planificação dos resultados de Poyastro (2011) para os modelos 3, e entornos 3 (M3E3)



(fonte: adaptado de Poyastro (2011))

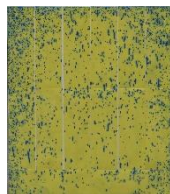
Tabela 57 - Resultados da contabilização das áreas molhadas no sentido dos cantos para o centro. (M3E3)

<b>MODELO/ ENTORNO</b>	<b>M3E3</b>	<b>Nº PIXELS - LARGURA</b>	<b>Nº de pixels ALTURA</b>	<b>3386 %</b>
<b>AMOSTRA</b>	Distância das laterais	Nº pixels - LARGURA	Nº de pixels	%
<b>LADO DIREITO</b>				
<b>M3E3 - VD1</b>	1	78	139867	53%
<b>M3E3 - VD2</b>	2	159	271012	50%
<b>M3E3 - VD3</b>	3	234	394937	50%
<b>M3E3 - VD4</b>	4	315	517124	48%
<b>M3E3 - VD5</b>	5	396	636639	47%
<b>M3E3 - VD6</b>	6	474	789669	49%
<b>M3E3 - VD7</b>	7	549	910952	49%
<b>M3E3 - VD8</b>	8	630	1042023	49%
<b>M3E3 - VD9</b>	9	708	1165543	49%
<b>M3E3 - VD10</b>	10	786	1280355	48%
<b>LADO ESQUERDO</b>				
<b>M3E3 - VE1</b>	1	78	252937	96%
<b>M3E3 - VE2</b>	2	159	452078	84%
<b>M3E3 - VE3</b>	3	234	617798	78%
<b>M3E3 - VE4</b>	4	315	767445	72%
<b>M3E3 - VE5</b>	5	396	887122	66%
<b>M3E3 - VE6</b>	6	474	945502	59%
<b>M3E3 - VE7</b>	7	549	1043301	56%
<b>M3E3 - VE8</b>	8	630	1160805	54%
<b>M3E3 - VE9</b>	9	708	1275251	53%
<b>M3E3 - VE10</b>	10	786	1394265	52%

Tabela 58 - Resultados da contabilização das áreas molhadas no sentido de cima para baixo (M3E3)

<b>MODELO/ ENTORNO</b>	<b>M3E3</b>	<b>Nº PIXELS - ALTURA</b>	<b>1575</b>
<b>AMOSTRA</b>	<b>Distância do topo</b>	<b>Nº pixels - altura</b>	<b>Nº de pixels %</b>
<b>SENTIDO DE CIMA PARA BAIXO</b>			
<b>M3E3 - H1</b>	1	78	115104 94%
<b>M3E3 - H2</b>	2	156	226854 92%
<b>M3E3 - H3</b>	3	234	343083 93%
<b>M3E3 - H4</b>	4	312	462193 94%
<b>M3E3 - H5</b>	5	396	589321 94%
<b>M3E3 - H6</b>	6	474	706635 95%
<b>M3E3 - H7</b>	7	552	822451 95%
<b>M3E3 - H8</b>	8	630	936001 94%
<b>M3E3 - H9</b>	9	708	1046515 94%
<b>M3E3 - H10</b>	10	786	1151696 93%
<b>M3E3 - H11</b>	11	864	1253518 92%
<b>M3E3 - H12</b>	12	942	1354177 91%
<b>M3E3 - H13</b>	13	1026	1452637 90%
<b>M3E3 - H14</b>	14	1104	1541366 89%
<b>M3E3 - H15</b>	15	1182	1623072 87%
<b>M3E3 - H16</b>	16	1260	1703538 86%
<b>M3E3 - H17</b>	17	1338	1772912 84%
<b>M3E3 - H18</b>	18	1416	1837793 82%
<b>M3E3 - H19</b>	19	1494	1894988 81%
<b>M3E3 - H20</b>	20	1572	1947350 79%
<b>M3E3 - H21</b>	21	1656	2005751 77%
<b>M3E3 - H22</b>	22	1734	2051395 75%
<b>M3E3 - H23</b>	23	1812	2095809 73%

Figura 103 - Planificação dos resultados de Poyastro (2011) para os modelos 4, e entornos 4 (M4E4)



(fonte: adaptado de Poyastro (2011))

Tabela 59 - Resultados da contabilização das áreas molhadas no sentido dos cantos para o centro. (M4E4)

<b>MODELO/ ENTORNO</b>	<b>M1E4</b>	<b>Nº PIXELS - LARGURA</b>	<b>Nº de pixels - ALTURA</b>	<b>1811 %</b>
<b>AMOSTRA</b>	Distância das laterais	Nº pixels - LARGURA	Nº de pixels	%
<b>LADO DIREITO</b>				
<b>M1E4 - VD1</b>	1	78	29177	21%
<b>M1E4 - VD2</b>	2	159	53390	19%
<b>M1E4 - VD3</b>	3	234	69158	16%
<b>M1E4 - VD4</b>	4	315	81787	14%
<b>M1E4 - VD5</b>	5	396	95631	13%
<b>M1E4 - VD6</b>	6	474	107494	13%
<b>M1E4 - VD7</b>	7	549	116047	12%
<b>M1E4 - VD8</b>	8	630	130297	11%
<b>M1E4 - VD9</b>	9	708	140804	11%
<b>M1E4 - VD10</b>	10	786	148732	10%
<b>LADO ESQUERDO</b>				
<b>M1E4 - VE1</b>	1	78	40038	28%
<b>M1E4 - VE2</b>	2	159	67370	23%
<b>M1E4 - VE3</b>	3	234	86525	20%
<b>M1E4 - VE4</b>	4	315	101377	18%
<b>M1E4 - VE5</b>	5	396	114071	16%
<b>M1E4 - VE6</b>	6	474	123410	14%
<b>M1E4 - VE7</b>	7	549	130688	13%
<b>M1E4 - VE8</b>	8	630	140893	12%
<b>M1E4 - VE9</b>	9	708	151067	12%
<b>M1E4 - VE10</b>	10	786	160058	11%

Tabela 60 - Resultados da contabilização das áreas molhadas no sentido de cima para baixo (M4E4)

<b>MODELO/ ENTORNO</b>	<b>M1E4</b>	<b>Nº PIXELS - ALTURA</b>	<b>1575</b>
<b>AMOSTRA</b>	Distância do topo	Nº pixels - altura	Nº de pixels %
<b>SENTIDO DE CIMA PARA BAIXO</b>			
<b>M1E3 - H1</b>	1	78	36407 30%
<b>M1E3 - H2</b>	2	157	58319 24%
<b>M1E3 - H3</b>	3	235	76993 21%
<b>M1E3 - H4</b>	4	311	95421 19%
<b>M1E3 - H5</b>	5	396	114784 18%
<b>M1E3 - H6</b>	6	474	127411 17%
<b>M1E3 - H7</b>	7	553	140527 16%
<b>M1E3 - H8</b>	8	630	150240 15%
<b>M1E3 - H9</b>	9	707	160282 14%
<b>M1E3 - H10</b>	10	786	175075 14%
<b>M1E3 - H11</b>	11	864	191310 14%
<b>M1E3 - H12</b>	12	943	203971 14%
<b>M1E3 - H13</b>	13	1027	218587 14%
<b>M1E3 - H14</b>	14	1103	228501 13%
<b>M1E3 - H15</b>	15	1181	240284 13%
<b>M1E3 - H16</b>	16	1260	246654 12%
<b>M1E3 - H17</b>	17	1338	254008 12%
<b>M1E3 - H18</b>	18	1417	262009 12%
<b>M1E3 - H19</b>	19	1493	269064 11%
<b>M1E3 - H20</b>	20	1572	278484 11%
<b>M1E3 - H21</b>	21	1656	293957 11%
<b>M1E3 - H22</b>	22	1734	302175 11%
<b>M1E3 - H23</b>	23	1811	309046 11%

**Apêndice B**

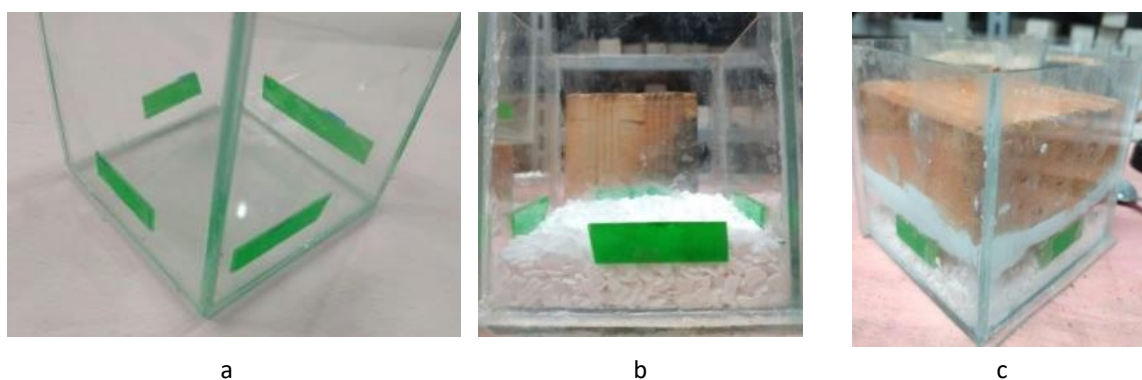


Como explicado no presente trabalho, o tijolos maciço e o bloco cerâmico, foram submetidos aos ensaios no LAMTAC conforme as seguintes normas:

- 15270-1 (2017) - Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria Parte 1: Requisitos;
- 15270-2 (2017) Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria Parte 2: Métodos de ensaio;
- ASTM E96\_E96M (2016) *Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials*
- ASTM C1498 C 1498 – 01 (2004) - *Standard Test Method for Hygroscopic Sorption Isotherms of Building Materials*

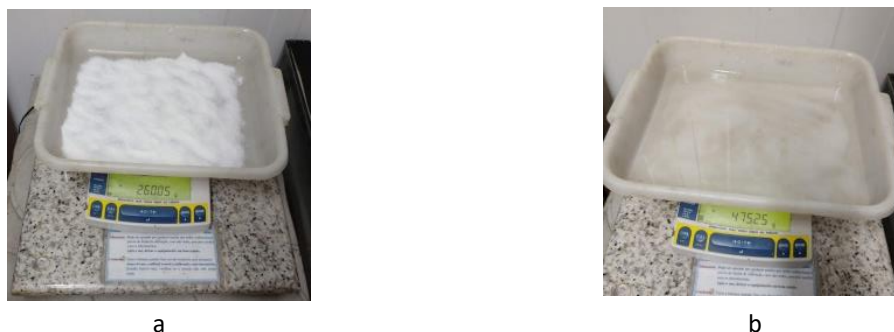
A Figura 104, Figura 105 e Figura 106 mostram, respectivamente, o preparo das amostras, preparo do ambiente e execução do ensaio para obtenção dos valores de permeabilidade ao vapor dos tijolos e blocos. A fita dupla face, na cor verde, observada nas figuras, foi necessária para garantir a distância entre as amostras de tijolos e blocos em relação ao cloreto de cálcio. Quando a fita não era colocada, as amostras desciam devido ao peso.

Figura 104 – Preparo das amostras em recipientes de vidro e dessecador. (a) montagem dos recipientes de vidro como aparato para montagem do sistema; (b) colocação do cloreto de cálcio puro; (c) montagem do sistema conforme a ASTM E96\_E96M.



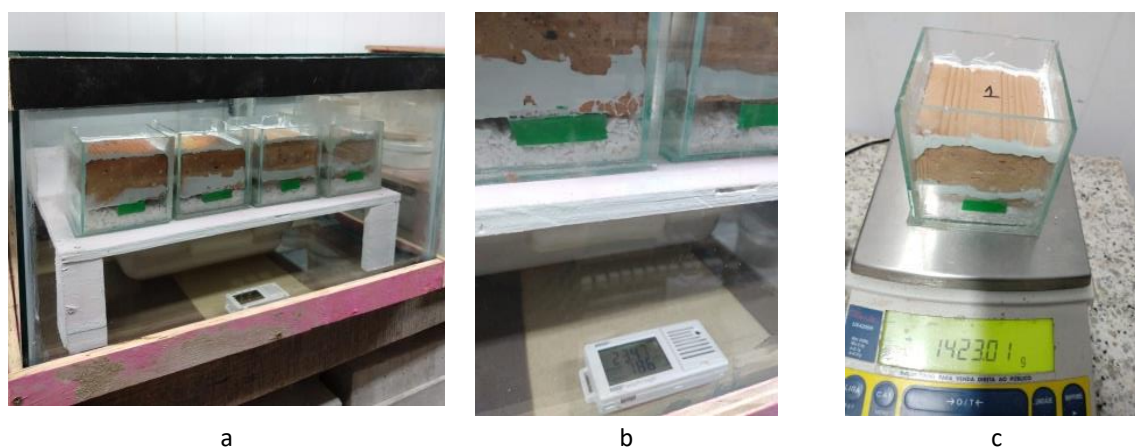
(fonte: elaborado pela autora)

Figura 105 – Preparo do ambiente com umidade e temperatura controladas. (a) medição da quantidade de sal; (b) solução salina que manterá o a umidade do ambiente, na faixa especificada, onde os sistemas serão colocados;



(fonte: elaborado pela autora)

Figura 106 – Execução do ensaio, com as amostras no ambiente com umidade e temperaturas controladas. (a) amostras de tijolos maciços em ambiente controlado; (b) controle da umidade e temperatura de forma constante; (c) medição periódica da massa das amostras.



(fonte: elaborado pela autora)

Para compreender a transferência de umidade dentro do material, é necessário caracterizá-lo em relação à permeabilidade ao vapor, que é capacidade que um material tem de transportar o vapor de água por difusão, além de compor a isoterma de adsorção e dessorção (BUSSE *et al.*, 2019). Assim, na sequência determinou-se a umidade de equilíbrio (em diferentes condições de umidade relativa, para uma temperatura constante) através do ensaio de permeabilidade ao vapor, conforme a ASTM C1498 (2004). A partir dos resultados, deve-se compor as curvas de isotermas de adsorção e dessorção. As isotermas de adsorção são obtidas a partir das amostras secas de argamassa e ocorre através do fenômeno de migração do vapor de água presente no ar

para o interior do material. Já as isotermas de dessorção partem de amostras saturadas e ocorre através do fenômeno de evaporação da umidade presente no material. A curva de adsorção e dessorção são diferentes devido à diferença do nível de energia da água nos poros do material, fenômeno de histerese (ASTM C1498 2004; KLEBER, 2018). Este ensaio, além da ASTM C1498 (2004), teve como base os ensaios de Salomão (2016) e Kleber (2018).

Assim como Salomão (2016) e Kleber (2018), foram utilizados recipientes compostos por um conjunto de potes duplos com tampa (Figura 107), tamanho suficiente para caber às amostras junto a um termo higrômetro, perfurado entre os potes superior e o inferior. Para que os ambientes de ensaio atingissem a temperatura e umidades relativas especificadas pela ASTM C1498 (2004), os recipientes, foram colocados em câmara climatizada que mantinha a temperatura constante em 23 °C, e em cada recipiente, na parte inferior, foram utilizadas soluções salinas específicas para umidade especificada pela ASTM. As soluções salinas utilizadas são as mesmas utilizadas por Kleber (2018), especificadas na Tabela 61.

Figura 107 – Recipiente utilizado para possibilitar a condição climática. Tampa, pote intermediário perfurado para trocas de umidade e pote inferior fechado. (a) conjunto de potes desmontados; (b) conjunto montado.



a



b

(fonte: elaborado pela autora)

Tabela 61 – Soluções salinas utilizadas no ensaio para obter umidade relativa específica.

<b>Umidade Relativa</b>	<b>Solução:</b>
34,05%	Cloreto de magnésio ( $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ )
61,76%	Dicromato de sódio ( $Na_2Cr_2O_7 \cdot 2H_2O$ )
77,75%	Cloreto de sódio ( $NaCl$ )
89,73%	Fosfato de amônio bibásico ( $(NH_4)_2HPO_4$ )
97,35%	água

(fonte: elaborado pela autora)

As amostras devem ter massa mínima de 10g, conforme o recomendado pela ASTM C1498 (2004), sendo que devem ser feitas no mínimo de três amostras para cada condição ambiental (para cada umidade relativa). Para reduzir o tempo para alcançar o equilíbrio com o ambiente, a amostra de teste pode ser cortada em vários pedaços menores, não podendo ser em pó. As amostras foram retiradas dos tijolos, colocadas em um porta amostra e inseridos nos potes superiores dos recipientes, acompanhadas do termo higrômetro abaixo, que continham as soluções salinas, conforme a Figura 108.

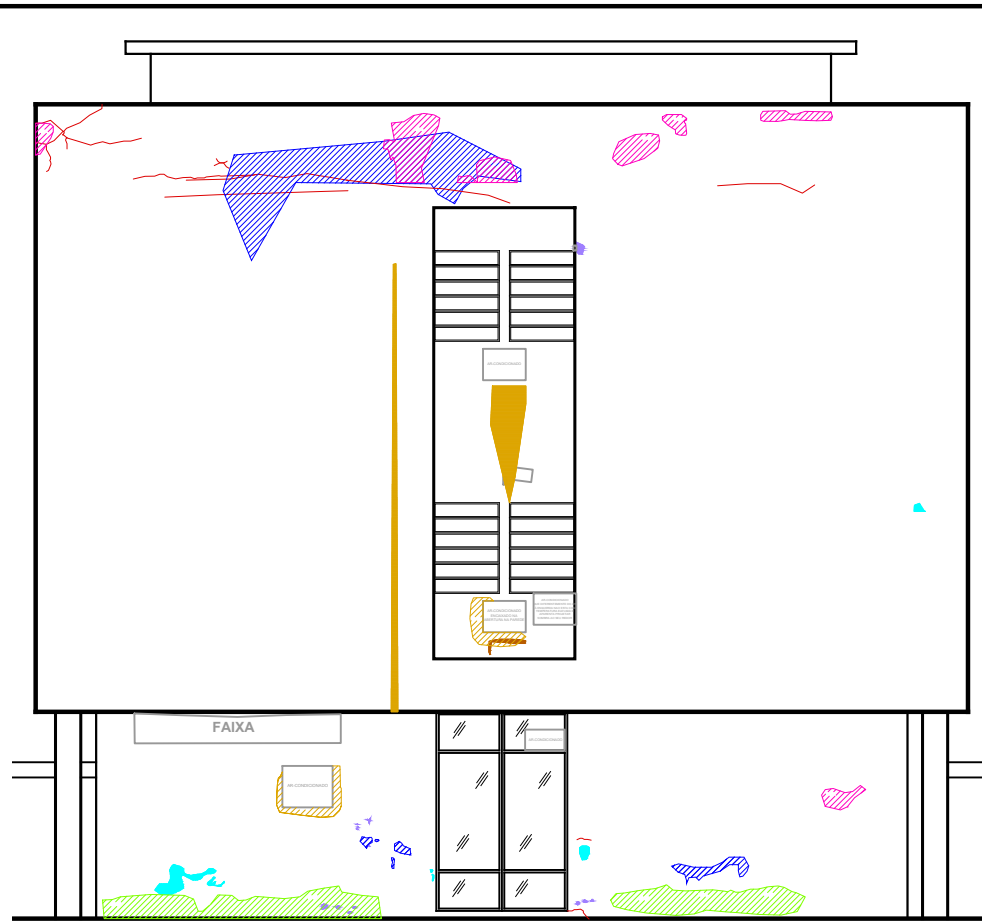
Figura 108 – Amostras inseridas no recipiente com umidade específica.



(fonte: elaborado pela autora)

## Apêndice C

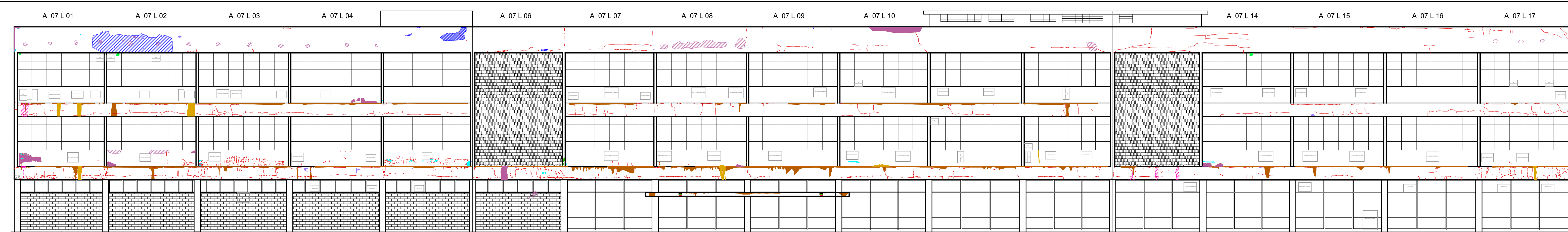




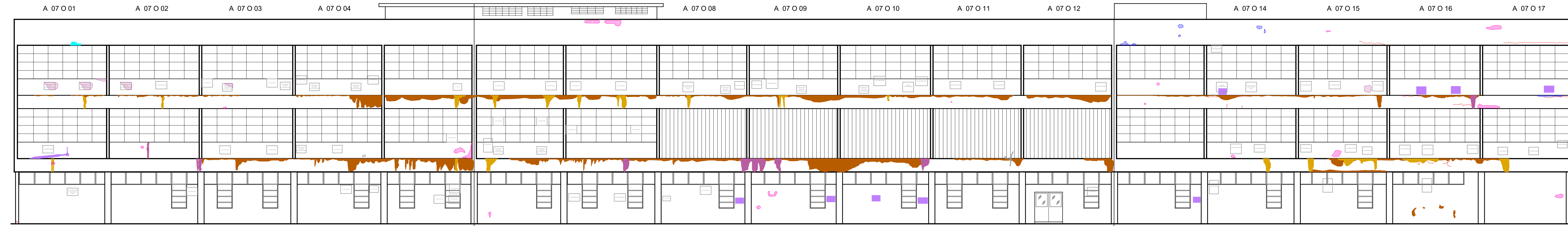
Fachada Norte - Esc. 1/150



Fachada Sul - Esc. 1/150



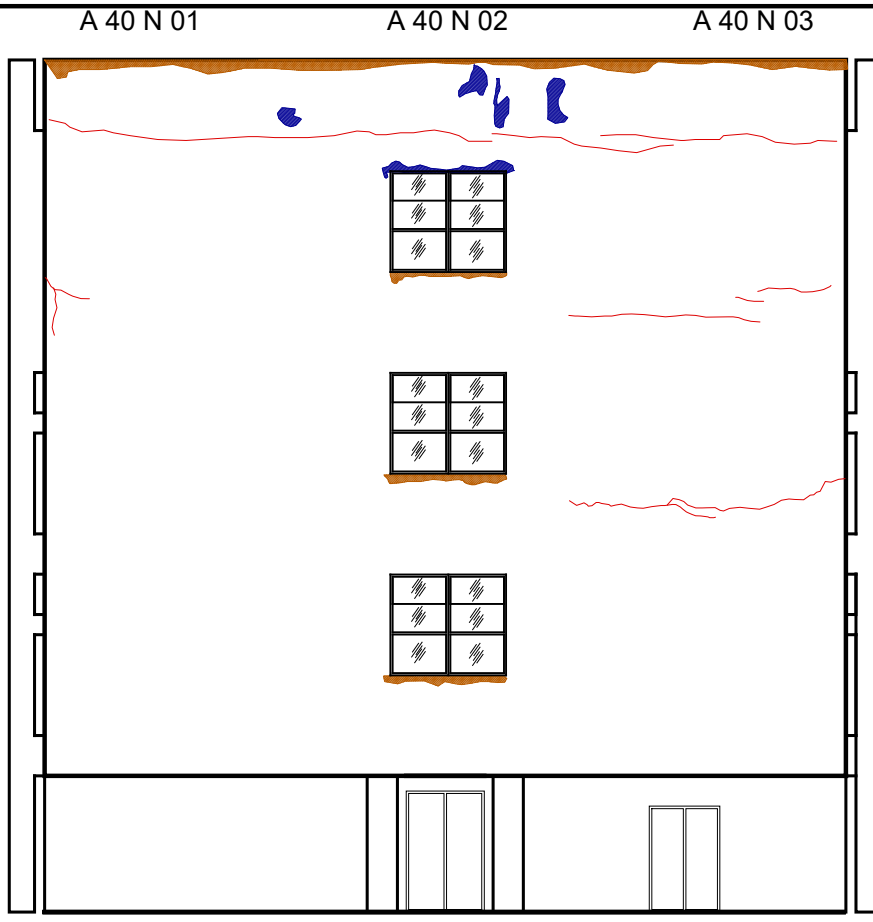
Fachada Leste - Esc. 1/150



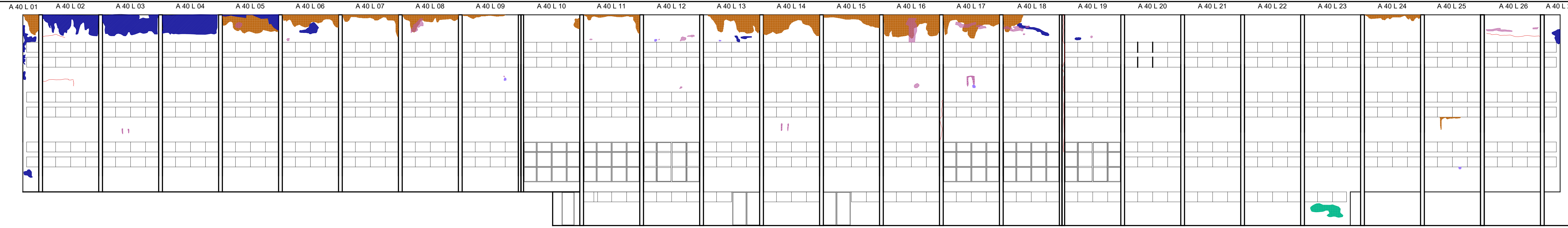
Fachada Oeste - Esc. 1/150

Identificação			
Edifício	07 - Centro de Tecnologia		
Idade	58 anos	Ano da Vistoria	2018

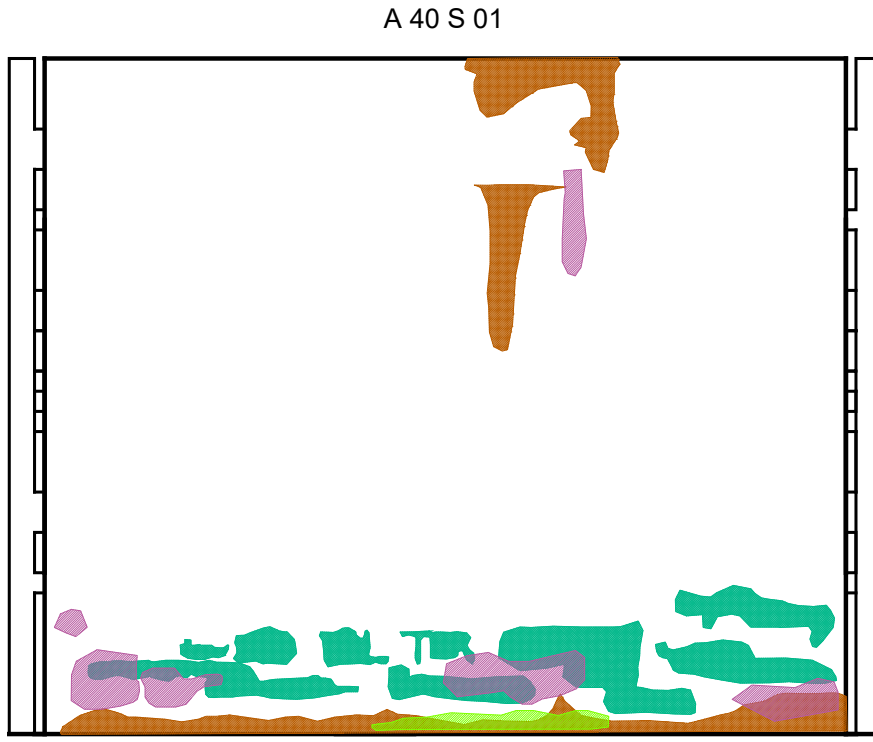
Legenda das Manifestações Patológicas	
	Biodeterioração - animais (fezes de aves, aves, etc.)
	Biodeterioração - insetos
	Biodeterioração - manchação
	Biodeterioração - vegetação
	Descolamento
	Desplacamento
	Fissuras*
	Manchamento por Sujidade
	Manchamento por Umidade Ascensional
	Manchamento por Umidade Acidental
	Manchamento por Umidade de Infiltração da água da chuva
	Pintura - Descolamento
	Pintura - Bolha
	Sais - Criptoflorescência
	Sais - Eflorescência
	Vesículas*



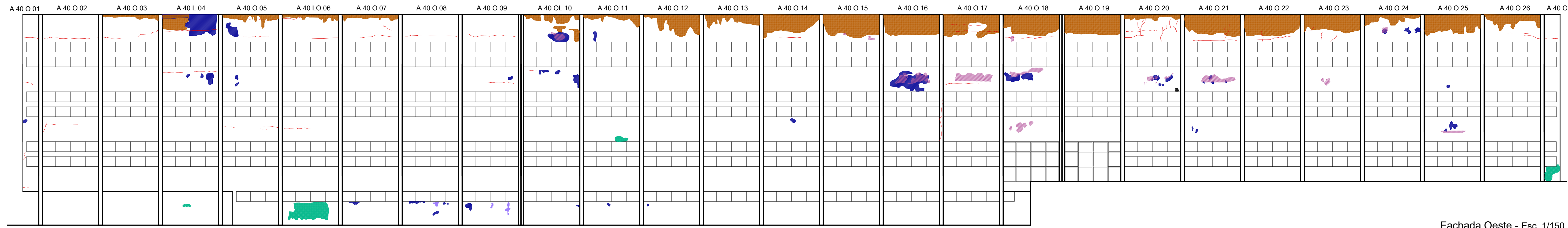
Fachada Norte- Esc. 1/150



Fachada Leste - Esc. 1/150



Fachada Sul - Esc. 1/150

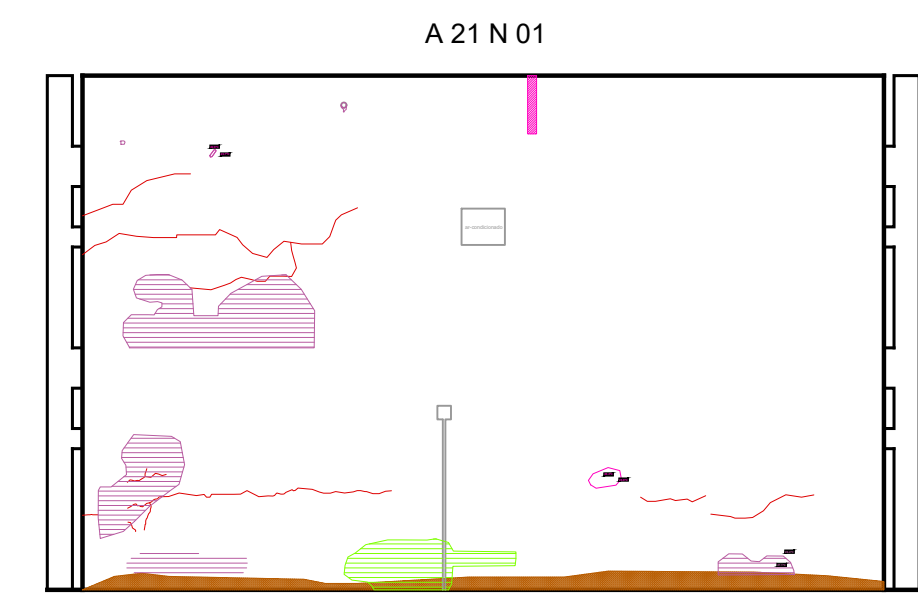


Fachada Oeste - Esc. 1/150

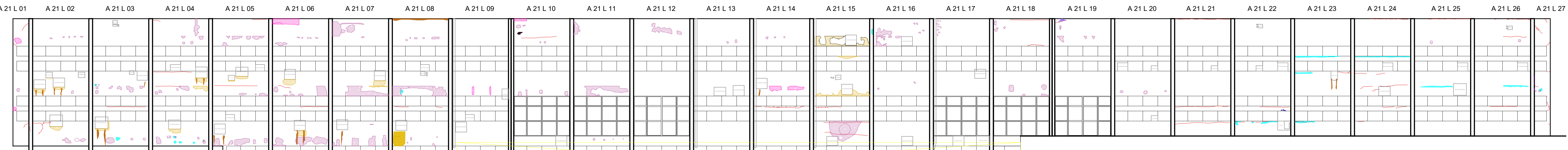
Identificação			
Edifício	40 - Centro de Artes e Letras		
Idade	49 anos	Ano da Vistoria	2018

**Legenda das Manifestações Patológicas**

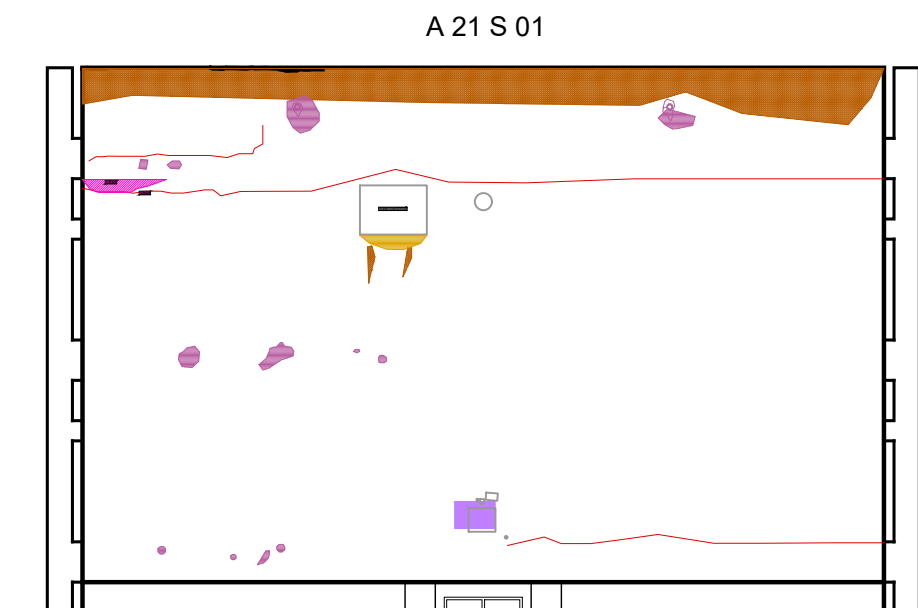
- Biodeterioração - animais (fezes de aves, aves, etc.)
- Biodeterioração - insetos
- Biodeterioração - mancha
- Biodeterioração - vegetação
- Descolamento
- Desplacamento
- Fissuras\*
- Mancha por Sujidade
- Mancha por Umidade Ascensional
- Mancha por Umidade Acidental
- Mancha por Umidade de Infiltração da água da chuva
- Pintura - Descolamento
- Pintura - Bolha
- Sais - Criptoflorescência
- Sais - Eflorescência
- Vesículas\*



Fachada Norte - Esc. 1/150



Fachada Leste - Esc. 1/150



Fachada Sul - Esc. 1/150

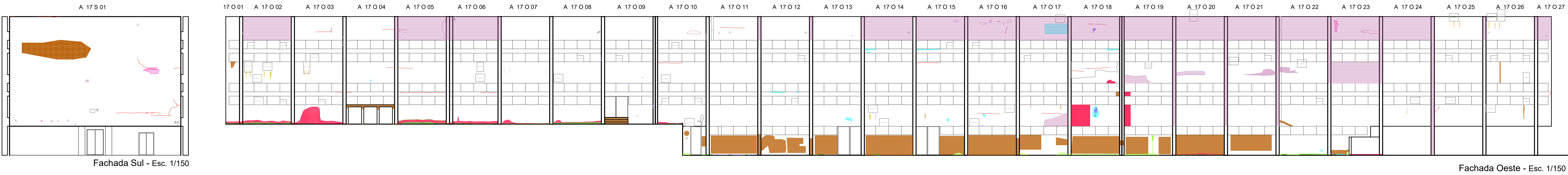
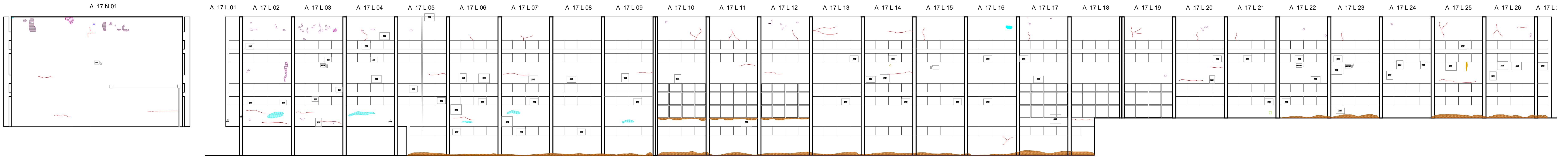


Fachada Oeste - Esc. 1/150

Identificação			
Edifício	21 - Centro de Tecnologia		
Idade	40 anos	Ano da Vistoria	2018

Legenda das Manifestações Patológicas	
	Biodeterioração - animais (fezes de aves, aves, etc.)
	Biodeterioração - insetos
	Biodeterioração - manchação
	Biodeterioração - vegetação
	Descolamento
	Desplacamento
	Fissuras*
	Manchamento por Sujidade
	Manchamento por Umidade Ascensional
	Manchamento por Umidade Acidental
	Manchamento por Umidade de Infiltração da água da chuva
	Pintura - Descolamento
	Pintura - Bolha
	Sais - Criptoflorescência
	Sais - Eflorescência
	Vesículas*





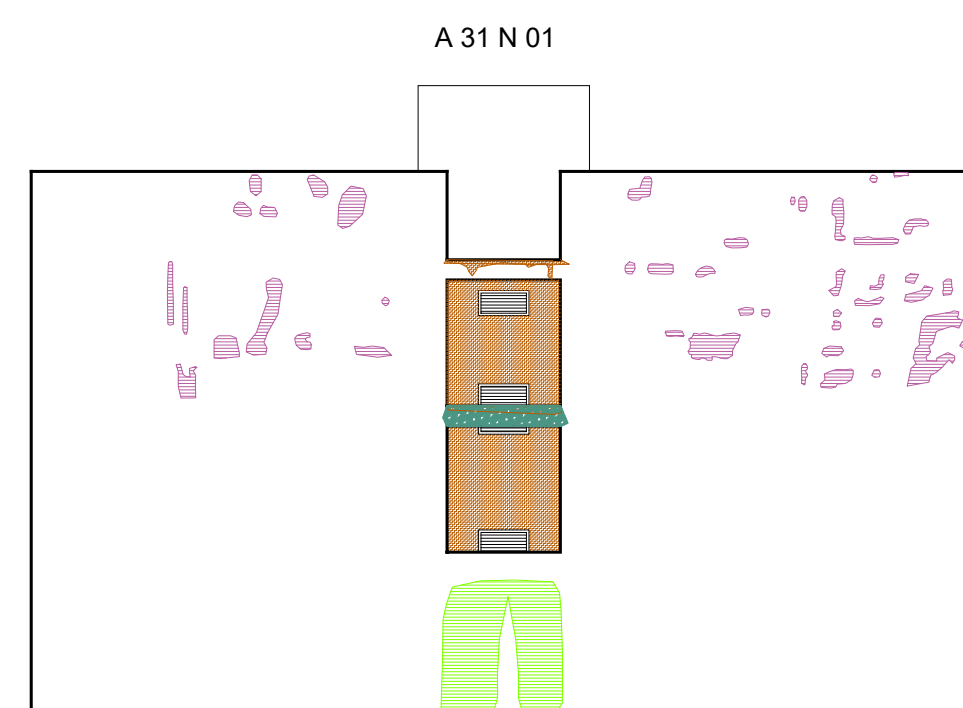
Identificação			
Edifício	17 - Centro de Tecnologia		
Idade	40 anos	Ano da Vistoria	2018

**Legenda das Manifestações Patológicas**

- Biodeterioração - animais (fezes de aves, aves, etc.)
- Biodeterioração - insetos
- Biodeterioração - mancharmento
- Biodeterioração - vegetação
- Descolamento
- Desplacamento
- Fissuras\*
- Mancharmento por Sujidade
- Mancharmento por Umidade Ascensional
- Mancharmento por Umidade Acidental
- Mancharmento por Umidade de Infiltração da água da chuva
- Pintura - Descolamento
- Pintura - Bolha
- Sais - Criptoflorescência
- Sais - Eflorescência
- Vesículas\*

Fachada Sul - Esc. 1/150

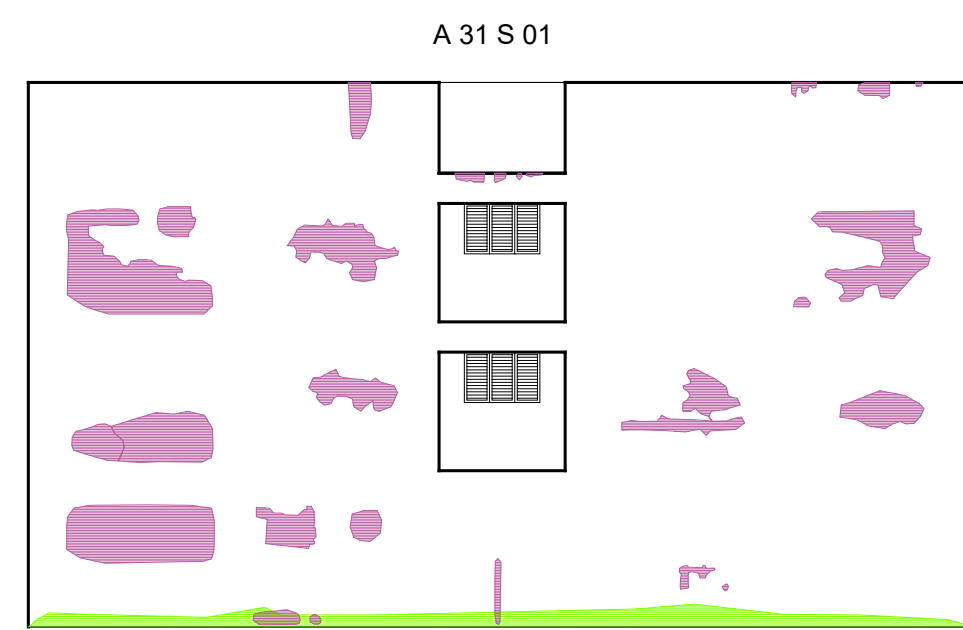
Fachada Oeste - Esc. 1/150



Fachada Norte - Esc. 1/150



Fachada Leste - Esc. 1/150



Fachada Sul - Esc. 1/150



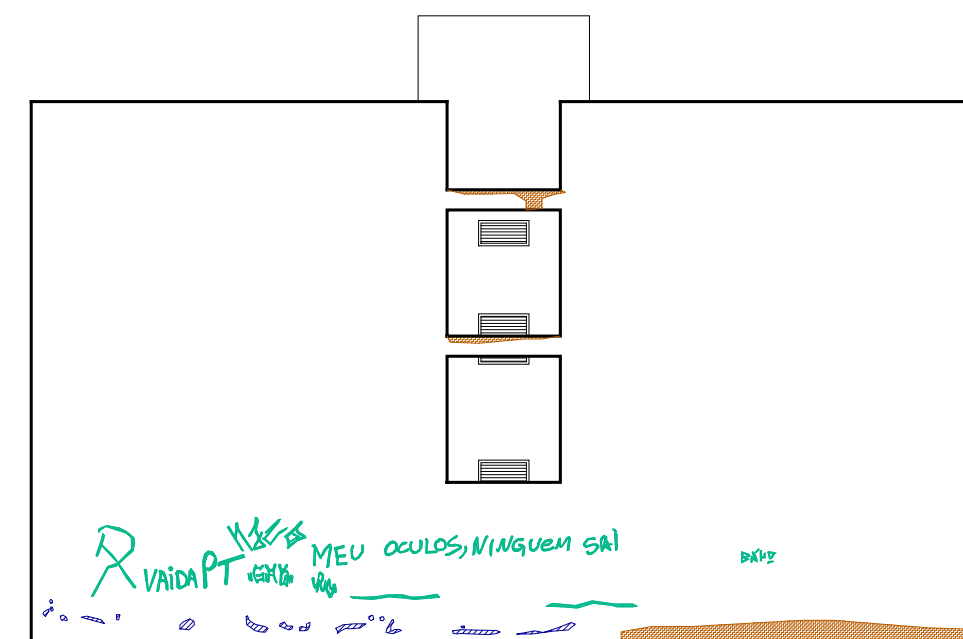
Fachada Oeste - Esc. 1/150

Identificação			
Edifício	31 - Casa do Estudante		
Idade	28 anos	Ano da Vistoria	2018

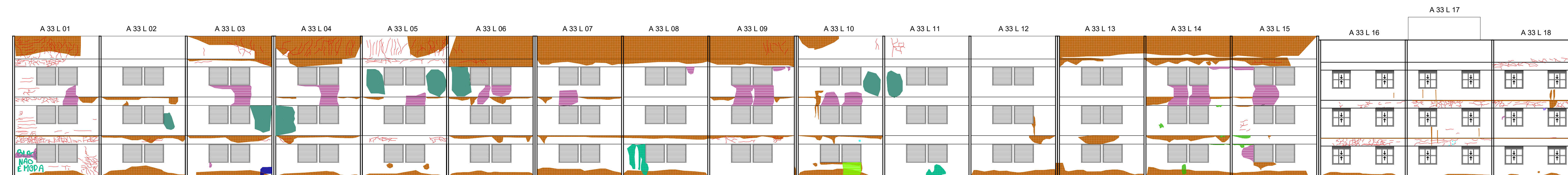
**Legenda das Manifestações Patológicas**

- Biodeterioração - animais (fezes de aves, aves, etc.)
- Biodeterioração - insetos
- Biodeterioração - manchamento
- Biodeterioração - vegetação
- Descolamento
- Desplacamento
- Fissuras\*
- Manchamento por Sujidade
- Manchamento por Umidade Ascensional
- Manchamento por Umidade Acidental
- Manchamento por Umidade de Infiltração da água da chuva
- Pintura - Descolamento
- Pintura - Bolha
- Sais - Criptoflorescência
- Sais - Eflorescência
- Vesículas\*

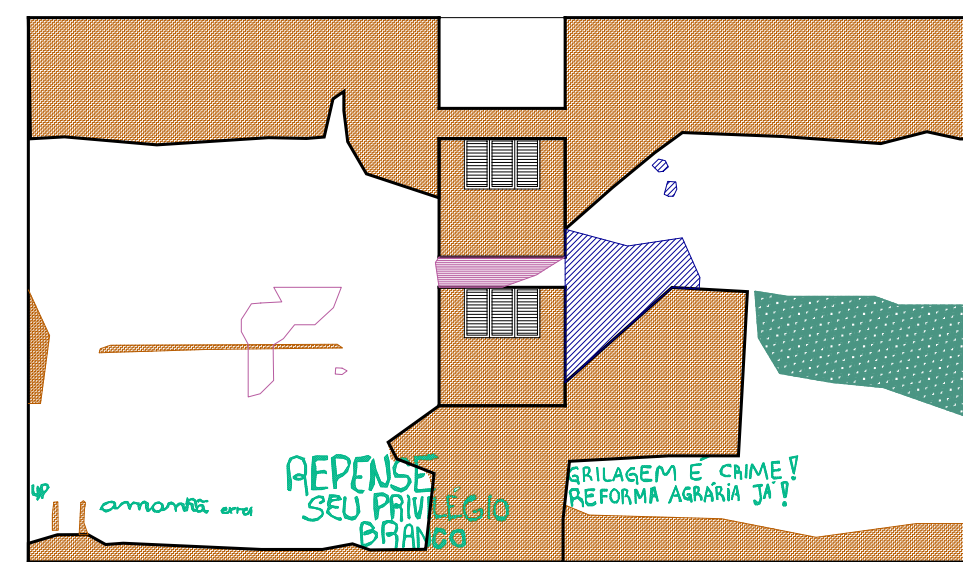




Fachada Norte - Esc. 1/150



Fachada Leste - Esc. 1/150



Fachada Sul - Esc. 1/150



Fachada Oeste - Esc. 1/150

Identificação			
Edifício	33 - Casa do Estudante		
Idade	28 anos	Ano da Vistoria	2018

**Legenda das Manifestações Patológicas**

- Biodeterioração - animais (fezes de aves, aves, etc.)
- Biodeterioração - insetos
- Biodeterioração - manchamento
- Biodeterioração - vegetação
- Descolamento
- Desplacamento
- Fissuras\*
- Manchamento por Sujidade
- Manchamento por Umidade Ascensional
- Manchamento por Umidade Acidental
- Manchamento por Umidade de Infiltração da água da chuva
- Pintura - Descolamento
- Pintura - Bolha
- Sais - Criptoflorescência
- Sais - Eflorescência
- Vesículas\*

## Apêndice D

Tabela 62 - Cálculo de IG e ITU Edifício 07 Norte

Edifício 07																		
Orientação Cardeal Norte																		
A	A. O. (m²)	Á. Man. Pat. Nível 1 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 2 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 3 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 4 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 5 (m²)		IG	Ku	ITU				
		Topo	Canto	Topo	Canto	Topo	Canto	Topo	Canto	Topo	Canto				Topo	Canto		
01	281,25	0,00	1,00	0,00	0,00	6,50	10,25	0,00	0,75	0,00	0,00	12,00	6,50	0,00	3,00	0,10	1,0	1,33
<b>Legenda:</b>		Kn - Coeficientes relacionados ao Nível de Gravidade: N1 = 0,2; N2 = 0,4; N3 = 0,6; N4 = 0,8; N5 = 1,0																
A - amostra		Kit - Coeficientes relacionados ao Impacto da Temperatura (Norte) = 2																
A. O. - área opaca		Kcd - Coeficientes relacionados à Chuva Dirigida (Norte) Topo = 1,50; Canto = 1,15; Centro = 1,00														Ku - coeficiente de urgência (descritos na tabela)		

Tabela 63 - Cálculo de IG e ITU Edifício 07 Sul

Edifício 07																			
Orientação Cardeal Sul																			
A	A. O. (m²)	Á. Man. Pat. Nível 1 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 2 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 3 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 4 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 5 (m²)		IG	Ku	ITU					
		Topo	Canto	Topo	Canto	Topo	Canto	Topo	Canto	Topo	Canto				Topo	Canto			
01	281,25	0,00	1,00	21,25	0,00	0,00	0,50	2,25	0,00	1,00	0,00	0,50	7,75	0,00	0,00	2,25	0,05	1	1,14
<b>Legenda:</b>		Kn - Coeficientes relacionados ao Nível de Gravidade: N1 = 0,2; N2 = 0,4; N3 = 0,6; N4 = 0,8; N5 = 1,0																	
A - amostra		Kit - Coeficientes relacionados ao Impacto da Temperatura (Sul) = 1																	
A. O. - área opaca		Kcd - Coeficientes relacionados à Chuva Dirigida (Sul) Topo = 2,00; Canto = 1,65; Centro = 1,50														Ku - coeficiente de urgência (descritos na tabela)			

Tabela 64 - Cálculo de IG e ITU Edifício 07 Leste

A	A. O. (m <sup>2</sup> )	Edifício 07												Orientação Cardeal Leste												IG	Ku	ITU
		Á. Man. Pat. Nível 1 (m <sup>2</sup> )			Á. Man. Pat. Nível 2 (m <sup>2</sup> )			Á. Man. Pat. Nível 3 (m <sup>2</sup> )			Á. Man. Pat. Nível 4 (m <sup>2</sup> )			Á. Man. Pat. Nível 5 (m <sup>2</sup> )														
		Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro									
01	65,25	0,50	0,00	8,25	0,00	0,00	3,75	0,00	1,25	17,75	3,25	0,00	2,50	0,25	0,00	3,00	0,25	0,00	3,00	0,34	1	1,85						
02	65,25	0,00	0,00	9,50	0,00	0,00	1,50	0,50	1,25	17,75	2,25	0,00	3,00	2,25	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,30	1	1,77						
03	65,25	0,00	0,00	8,25	0,00	0,00	0,00	1,75	0,00	21,00	1,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,25	1	1,62						
04	65,25	0,00	0,00	8,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,50	1,50	0,00	2,00	0,00	0,00	1,50	0,24	0,00	1,50	0,24	1	1,60						
05	65,25	0,00	0,00	7,00	0,00	0,00	0,00	0,75	0,00	16,50	0,00	0,00	0,25	1,50	0,00	1,50	0,23	0,00	1,50	0,23	1	1,57						
06	42,5	0,00	0,00	4,25	0,00	0,00	0,00	3,50	0,00	9,25	0,00	0,00	2,50	0,50	0,00	0,25	0,26	0,00	0,25	0,26	1	1,67						
07	65,25	0,00	0,00	10,75	0,00	0,00	0,00	6,00	0,00	16,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24	0,00	0,00	0,24	1	1,61						
08	65,25	0,00	0,00	11,75	0,00	0,00	1,50	0,50	0,00	13,25	8,00	0,00	0,75	0,00	0,00	1,25	0,30	0,00	1,25	0,30	1	1,78						
09	65,25	0,00	0,00	12,00	0,00	0,00	0,00	4,00	0,00	3,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,12	0,00	1,00	0,12	1	1,32						
10	65,25	0,00	0,00	9,25	0,00	0,00	1,00	4,75	0,00	12,00	4,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24	0,00	0,00	0,24	1	1,64						
11	65,25	0,00	0,00	8,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	0,14	1	1,35						
12	65,25	0,00	0,00	7,75	0,00	0,00	0,50	3,75	0,00	9,00	1,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,17	1	1,43						
13	42,5	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	7,50	0,00	7,25	0,50	0,00	0,00	3,25	0,00	3,25	0,38	0,00	3,25	0,38	1	2,01						
14	65,25	0,50	0,00	4,75	0,00	0,00	0,00	6,75	0,00	9,50	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,25	0,18	0,00	0,25	0,18	1	1,47						
15	65,25	0,00	0,00	4,75	0,00	0,00	0,00	2,75	0,00	13,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,17	0,00	0,25	0,17	1	1,41						
16	65,25	0,00	0,00	3,75	0,00	0,00	0,00	5,75	0,00	8,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	0,14	1	1,37						
17	65,25	0,00	0,00	3,75	0,00	0,00	1,50	4,75	2,25	19,75	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00	0,30	1	1,76						

**Legenda:**  
 Kn - Coeficientes relacionados ao Nível  
 de Gravidade: N1 = 0,2; N2 = 0,4; N3 = 0,6; N4 = 0,8; N5 = 1,0  
 Kit - Coeficientes relacionados ao Impacto da Temperatura (Leste) = 1  
 Kcd - Coeficientes relacionados à Chuva Dirigida (Leste)  
 Topo = 1,93; Canto = 1,58; Centro = 1,43

**A. O. - área opaca**

Tabela 65 - Cálculo de IG e ITU Edifício 07 Oeste

A	A. O. (m <sup>2</sup> )	Edifício 07															Orientação Cardeal Oeste					IG	Ku	ITU
		Á. Man. Pat. Nível 1 (m <sup>2</sup> )			Á. Man. Pat. Nível 2 (m <sup>2</sup> )			Á. Man. Pat. Nível 3 (m <sup>2</sup> )			Á. Man. Pat. Nível 4 (m <sup>2</sup> )			Á. Man. Pat. Nível 5 (m <sup>2</sup> )										
		Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro								
01	88,00	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	2,75	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,25	0,00	0,00	0,50	0,50	0,00	0,06	1	1,17
02	87,00	0,00	0,00	4,00	0,00	0,00	1,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,25	0,00	0,00	0,50	0,50	0,00	0,04	1	1,13
03	84,00	0,00	0,00	8,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,50	0,50	0,00	0,05	1	1,14
04	86,00	0,00	0,00	12,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0	0,59
05	84,00	0,00	0,00	18,25	0,00	0,00	2,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,00	0,00	0,08	1	1,25
06	86,00	0,00	0,00	11,50	0,00	0,00	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,25	0,00	0,05	1	1,15
07	84,00	0,00	0,00	12,25	0,00	0,00	2,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,25	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	1	1,30
08	79,50	0,00	0,00	12,00	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	1	1,16
09	79,50	0,00	0,00	15,25	0,00	0,00	1,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,75	0,00	0,00	1,50	1,50	0,00	0,10	1	1,32
10	79,50	0,00	0,00	14,50	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	1	1,17
11	75,75	0,00	0,00	9,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,25	0,00	0,03	1	1,08
12	77,50	0,00	0,00	10,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0	0,58
13	86,00	0,00	0,00	3,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,00	0,00	0,03	1	1,10
14	86,00	0,00	0,00	4,50	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	3,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,25	0,00	0,04	1	1,13
15	86,00	0,00	0,00	12,00	0,00	0,00	5,00	0,50	1,25	1,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	1	1,23
16	88,50	0,00	0,00	11,50	0,00	0,00	3,25	0,00	5,00	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,25	0,00	0,00	0,25	0,25	0,00	0,09	1	1,28
17	91,25	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	1,50	0,00	3,00	0,25	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,75	1,75	0,00	0,08	1	1,26

**Legenda:**  
 Kn - Coeficientes relacionados ao Nível de Gravidade: N1 = 0,2; N2 = 0,4; N3 = 0,6; N4 = 0,8; N5 = 1,0  
 Kit - Coeficientes relacionados ao Impacto da Temperatura (Oeste) = 2  
 Kcd - Coeficientes relacionados à Chuva Dirigida (Oeste)  
 Topo = 1,62; Canto = 1,27; Centro = 1,12  
 Ku - coeficiente de urgência (descritos na tabela)

Tabela 66 - Cálculo de IG e ITU Edifício 40 Norte

Edifício 40																	
Orientação Cardeal Norte																	
A	A. O. (m <sup>2</sup> )	Á. Man. Pat. Nível 1 (m <sup>2</sup> )		Á. Man. Pat. Nível 2 (m <sup>2</sup> )		Á. Man. Pat. Nível 3 (m <sup>2</sup> )		Á. Man. Pat. Nível 4 (m <sup>2</sup> )		Á. Man. Pat. Nível 5 (m <sup>2</sup> )		IG	Ku	ITU			
		Topo	Canto	Topo	Canto	Topo	Canto	Topo	Canto	Topo	Canto				Topo	Canto	
01	230,25	8,25	0,00	5,25	0,00	0,00	0,00	8,75	1,25	7,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	1,0	1,19
<b>Legenda:</b>		Kn - Coeficientes relacionados ao Nível de Gravidade: N1 = 0,2; N2 = 0,4; N3 = 0,6; N4 = 0,8; N5 = 1,0															
A - amostra		Kit - Coeficientes relacionados ao Impacto da Temperatura (Norte) = 2															
A. O. - área opaca		Kcd - Coeficientes relacionados à Chuva Dirigida (Norte) Topo = 1,50; Canto = 1,15; Centro = 1,00															

Tabela 67 - Cálculo de IG e ITU Edifício 40 Sul

Edifício 40																	
Orientação Cardeal Sul																	
A	A. O. (m <sup>2</sup> )	Á. Man. Pat. Nível 1 (m <sup>2</sup> )		Á. Man. Pat. Nível 2 (m <sup>2</sup> )		Á. Man. Pat. Nível 3 (m <sup>2</sup> )		Á. Man. Pat. Nível 4 (m <sup>2</sup> )		Á. Man. Pat. Nível 5 (m <sup>2</sup> )		IG	Ku	ITU			
		Topo	Canto	Topo	Canto	Topo	Canto	Topo	Canto	Topo	Canto				Topo	Canto	
01	221,75	6,00	0,50	13,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,5	0,56
<b>Legenda:</b>		Kn - Coeficientes relacionados ao Nível de Gravidade: N1 = 0,2; N2 = 0,4; N3 = 0,6; N4 = 0,8; N5 = 1,0															
A - amostra		Kit - Coeficientes relacionados ao Impacto da Temperatura (Sul) = 1															
A. O. - área opaca		Kcd - Coeficientes relacionados à Chuva Dirigida (Sul) Topo = 2,00; Canto = 1,65; Centro = 1,50															



Tabela 68 - Cálculo de IG e ITU Edifício 40 Leste

Edifício 40		Orientação Cardinal Leste																		IG	Ku	ITU
		Á. Man. Pat. Nível 1 (m²)			Á. Man. Pat. Nível 2 (m²)			Á. Man. Pat. Nível 3 (m²)			Á. Man. Pat. Nível 4 (m²)			Á. Man. Pat. Nível 5 (m²)								
A	A. O. (m²)	Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro			
01	17,25	2,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,5	0,59
02	54,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,75	0,00	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	1,0	1,12
03	54,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	1,0	1,04
04	54,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
05	54,00	8,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	1,0	1,13
06	54,00	6,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	1,0	1,08
07	54,00	5,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,5	0,56
08	54,00	6,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	1,0	1,13
09	54,00	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	1,0	1,06
10	53,75	1,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,5	0,51
11	60,25	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	1,0	1,06
12	60,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,03	1,0	1,09
13	66,25	7,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,02	1,0	1,07
14	69,25	8,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,04	1,0	1,10
15	65,25	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,5	0,54
16	69,25	9,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	1,0	1,18
17	60,25	7,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,50	0,00	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,11	1,0	1,30
18	60,25	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	1,0	1,10
19	60,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,25	0,00	4,50	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	1,0	1,16
20	69,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00
21	69,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00
22	69,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00
23	67,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00
24	60,25	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,5	0,53
25	60,25	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	1,0	1,02
26	60,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	1,0	1,14
27	18,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00

**Legenda:** Kn - Coeficientes relacionados ao Nível de Gravidade: N1 = 0,2; N2 = 0,4; N3 = 0,6; N4 = 0,8; N5 = 1,0

**A - amostra**

**A. O. - área opaca**

Kn - Coeficientes relacionados ao Nível de Gravidade: N1 = 0,2; N2 = 0,4; N3 = 0,6; N4 = 0,8; N5 = 1,0

Kit - Coeficientes relacionados ao Impacto da Temperatura (Leste) = 1

Kcd - Coeficientes relacionados à Chuva Dirigida (Leste)

Topo = 1,93; Canto = 1,58; Centro = 1,43

Ku - coeficiente de urgência (descritos na tabela)

Tabela 69 - Cálculo de IG e ITU Edifício 40 Oeste

Edifício 40													Orientação Cardinal Oeste												
A	A. O. (m²)	Á. Man. Pat. Nível 1 (m²)			Á. Man. Pat. Nível 2 (m²)			Á. Man. Pat. Nível 3 (m²)			Á. Man. Pat. Nível 4 (m²)			Á. Man. Pat. Nível 5 (m²)			IG	Ku	ITU						
		Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro									
01	18,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	1,0	1,25						
02	60,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,50	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	1,0	1,19						
03	60,25	2,75	0,00	0,00	0,00	0,00	2,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	1,0	1,13						
04	60,25	3,75	0,00	0,00	0,00	0,00	2,50	0,00	2,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	1,0	1,21						
05	68,50	4,75	0,00	0,00	0,00	0,00	3,75	0,00	1,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	1,0	1,22						
06	69,25	3,25	0,00	0,00	0,00	0,00	2,75	0,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	1,0	1,16						
07	69,25	3,50	0,00	0,00	0,00	0,00	2,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	1,0	1,11						
08	69,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,25	0,00	2,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	1,0	1,07						
09	69,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,25	0,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	1,0	1,11						
10	69,25	7,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	1,0	1,16						
11	69,25	4,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,5	0,55						
12	69,25	7,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,5	0,58						
13	69,25	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,5	0,55						
14	69,25	8,75	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	1,0	1,12						
15	69,25	9,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	1,0	1,16						
16	69,25	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	1,0	1,27						
17	69,25	9,50	0,00	0,00	0,00	0,00	4,00	0,00	3,75	0,00	0,00	3,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	1,0	1,45						
18	53,50	9,50	0,00	0,00	0,00	0,00	2,75	0,00	0,00	1,00	0,00	5,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	1,0	1,55						
19	45,00	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,5	0,66						
20	54,00	3,50	0,00	0,00	0,00	0,00	5,50	0,00	0,00	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	1,0	1,38						
21	54,00	9,50	0,00	0,00	0,00	0,00	3,25	0,00	0,00	0,00	0,00	3,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	1,0	1,41						
22	54,00	9,75	0,00	0,00	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	1,0	1,23						
23	54,00	8,25	0,00	0,00	0,00	0,00	2,25	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	1,0	1,25						
24	54,00	4,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	1,0	1,11						
25	54,00	9,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	1,0	1,24						
26	54,00	6,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	1,0	1,14						
27	17,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	1,0	1,09						

**Legenda:** Kn - Coeficientes relacionados ao Nível de Gravidade: N1 = 0,2; N2 = 0,4; N3 = 0,6; N4 = 0,8; N5 = 1,0

**A - amostra**

**A. O. - área opaca**

Kit - Coeficientes relacionados à Chuva Dirigida  
Kcd - Coeficientes relacionados ao (Oeste) = Topo = 1,62; Canto = 1,27; Centro = 1,12

Ku - coeficiente de urgência (descritos na tabela)

Tabela 70 - Cálculo de IG e ITU Edifício 17 Norte

Edifício 17																	
Orientação Cardeal Norte																	
A	A. O. (m²)	Á. Man. Pat. Nível 1 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 2 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 3 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 4 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 5 (m²)		IG	Ku	ITU			
		Topo	Canto	Topo	Canto	Topo	Canto	Topo	Canto	Topo	Canto				Topo	Canto	
01	160,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	4,00	0,00	5,50	0,00	1,50	0,00	0,00	0,06	1,0	1,19
<b>Legenda:</b>		Kn - Coeficientes relacionados ao Nível de Gravidade: N1 = 0,2; N2 = 0,4; N3 = 0,6; N4 = 0,8; N5 = 1,0															
<b>A - amostra</b>		Kit - Coeficientes relacionados ao Impacto da Temperatura (Norte) = 2															
<b>A. O. - área opaca</b>		Kcd - Coeficientes relacionados à Chuva Dirigida (Norte) Topo = 1,50; Canto = 1,15; Centro = 1,00															

Tabela 71 - Cálculo de IG e ITU Edifício 17 Sul

Edifício 17																			
Orientação Cardeal Sul																			
A	A. O. (m²)	Á. Man. Pat. Nível 1 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 2 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 3 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 4 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 5 (m²)		IG	Ku	ITU					
		Topo	Canto	Topo	Canto	Topo	Canto	Topo	Canto	Topo	Canto				Topo	Canto			
01	168,00	2,00	0,00	11,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,50	6,25	0,50	0,00	2,50	0,00	0,00	2,00	0,07	1,0	1,18
<b>Legenda:</b>		Kn - Coeficientes relacionados ao Nível de Gravidade: N1 = 0,2; N2 = 0,4; N3 = 0,6; N4 = 0,8; N5 = 1,0																	
<b>A - amostra</b>		Kit - Coeficientes relacionados ao Impacto da Temperatura (Sul) = 1																	
<b>A. O. - área opaca</b>		Kcd - Coeficientes relacionados à Chuva Dirigida (Sul) Topo = 2,00; Canto = 1,65; Centro = 1,50																	

Tabela 72 - Cálculo de IG e ITU Edifício 17 Leste

Edifício 17														Orientação Cardinal Leste													
A	A. O. (m²)	Á. Man. Pat. Nível 1 (m²)			Á. Man. Pat. Nível 2 (m²)			Á. Man. Pat. Nível 3 (m²)			Á. Man. Pat. Nível 4 (m²)			Á. Man. Pat. Nível 5 (m²)			IG	Ku	ITU								
		Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro											
01	13,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00								
02	44,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,25	2,00	0,00	1,75	0,00	0,00	0,10	1,0	1,25									
03	44,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,75	4,25	0,00	1,00	0,50	0,00	0,14	1,0	1,39									
04	44,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	1,0	1,07									
05	53,00	0,00	0,00	2,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	1,0	1,07									
06	53,75	0,00	0,00	2,75	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	1,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	1,0	1,08									
07	53,75	0,00	0,00	2,75	0,00	0,00	0,00	1,25	0,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	1,0	1,11									
08	53,75	0,00	0,00	2,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,5	0,52									
09	53,75	0,00	0,00	2,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	1,0	1,05									
10	44,75	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	0,00	1,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	1,0	1,10									
11	44,75	0,00	0,00	5,25	0,00	0,00	0,00	1,50	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	1,0	1,15									
12	44,75	0,00	0,00	5,50	0,00	0,00	0,00	0,75	0,00	1,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	1,0	1,20									
13	53,75	0,00	0,00	2,75	0,00	0,00	0,00	2,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	1,0	1,10									
14	53,75	0,00	0,00	2,75	0,00	0,00	0,25	1,50	0,00	1,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	1,0	1,11									
15	53,75	0,00	0,00	2,75	0,00	0,00	0,00	1,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	1,0	1,07									
16	53,75	0,00	0,00	2,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	1,0	1,05									
17	44,75	0,00	0,00	2,75	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	1,0	1,09									
18	38,00	0,00	0,00	1,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	1,0	1,07									
19	32,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,04	1,0	1,11									
20	41,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	2,75	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	1,0	1,18									
21	41,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,02	1,0	1,05									
22	41,00	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	1,0	1,07									
23	41,00	0,00	0,00	2,75	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	1,0	1,05									
24	41,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,0	1,01									
25	41,00	0,00	0,00	2,75	0,00	0,00	0,75	1,25	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	1,0	1,18									
26	41,00	0,00	0,00	2,75	0,00	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	1,0	1,16									
27	13,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,5	0,54									

**Legenda:**  
 Kn - Coeficientes relacionados ao Nível de Gravidade: N1 = 0,2; N2 = 0,4; N3 = 0,6; N4 = 0,8; N5 = 1,0  
 A - amostra  
 A. O. - área opaca

Kn - Coeficientes relacionados ao Nível de Gravidade: N1 = 0,2; N2 = 0,4; N3 = 0,6; N4 = 0,8; N5 = 1,0  
 Kit - Coeficientes relacionados ao Impacto da Temperatura (Leste) = 1  
 Kcd - Coeficientes relacionados à Chuva Dirigida (Leste)  
 Topo = 1,93; Canto = 1,58; Centro = 1,43  
 Ku - coeficiente de urgência (descritos na tabela)

Tabela 73 - Cálculo de IG e ITU Edifício 17 Oeste

A		Edifício 17												Orientação Cardinal Oeste												IG	Ku	ITU
		Á. Man. Pat. Nível 1 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 2 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 3 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 4 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 5 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 5 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 5 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 5 (m²)												
		Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro			
01	13,00	0,000	0,250	1,500	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,03	0,5	0,58
02	41,00	0,000	0,000	2,750	0,000	0,000	1,500	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,30	1,0	2,05
03	41,00	0,000	0,000	5,500	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,06	1,0	1,19
04	41,00	0,000	0,000	5,750	0,000	0,000	0,000	0,000	0,750	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,07	1,0	1,24
05	41,00	0,000	0,000	3,250	0,000	0,000	0,000	0,000	0,750	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,41	1,0	2,45
06	41,00	0,000	0,000	2,750	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,31	1,0	2,12
07	41,00	0,000	0,000	2,750	0,000	0,000	1,250	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,04	0,5	0,64
08	41,00	0,000	0,000	2,750	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,03	1,0	1,09
09	39,25	0,000	0,000	3,250	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,07	1,0	1,22
10	48,5	0,000	0,000	4,500	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,09	1,0	1,28
11	53,75	0,000	0,000	11,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,11	1,0	1,36
12	53,75	0,000	0,000	9,500	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,05	1,0	1,18
13	49,75	0,000	0,000	6,250	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,06	1,0	1,19
14	53,75	0,000	0,000	10,500	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,26	1,0	1,90
15	49,75	0,000	0,000	5,500	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,26	1,0	1,91
16	53,75	0,000	0,000	11,250	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,26	1,0	1,90
17	53,75	0,000	0,000	7,250	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,36	1,0	2,26
18	53,75	0,500	0,000	17,500	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,40	1,0	2,36
19	53,75	0,000	0,000	14,750	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,36	1,0	2,22
20	53,75	0,000	0,000	12,500	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,37	1,0	2,27
21	53,75	0,000	0,000	8,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,34	1,0	2,17
22	53,75	0,000	0,000	3,500	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,34	1,0	2,18
23	49,00	0,000	0,000	3,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,48	1,0	2,62
24	44,75	0,000	0,000	0,750	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,30	1,0	2,05
25	44,75	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,14	1,0	1,44
26	44,75	0,000	0,000	2,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,05	1,0	1,19
27	13,75	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,37	1,0	2,35

**Legenda:** Kn - Coeficientes relacionados ao Nível de Gravidade: N1 = 0,2; N2 = 0,4; N3 = 0,6; N4 = 0,8; N5 = 1,0

**A - amostra**

**A. O. - área opaca**

Kn - Coeficientes relacionados ao Nível de Gravidade: N1 = 0,2; N2 = 0,4; N3 = 0,6; N4 = 0,8; N5 = 1,0

Kit - Coeficientes relacionados ao Impacto da Temperatura (Oeste) = 2

Kcd - Coeficientes relacionados à Chuva Dirigida (Oeste) = Topo = 1,62; Canto = 1,27; Centro = 1,12

Ku - coeficiente de urgência (descritos na tabela)

Tabela 74 - Cálculo de IG e ITU Edifício 21 Norte

Edifício 21																			
Orientação Cardeal Norte																			
A	A. O. (m²)	Á. Man. Pat. Nível 1 (m²)			Á. Man. Pat. Nível 2 (m²)			Á. Man. Pat. Nível 3 (m²)			Á. Man. Pat. Nível 4 (m²)			IG	Ku	ITU			
		Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro				Topo	Canto	Centro
01	160	0,00	0,50	7,50	0,00	0,00	0,00	1,50	1,00	11,75	0,00	0,00	2,00	1,00	0,00	0,50	0,08	1,0	1,26
<b>Legenda:</b>		Kn - Coeficientes relacionados ao Nível																	
<b>A - amostra</b>		de Gravidade: N1 = 0,2; N2 = 0,4; N3 =																	
<b>A. O. - área opaca</b>		0,6; N4 = 0,8; N5 = 1,0																	
		Kit - Coeficientes relacionados ao																	
		Impacto da Temperatura (Norte) =																	
		2																	
		Kcd - Coeficientes relacionados à Chuva Dirigida																	
		(Norte)																	
		Topo = 1,50; Canto = 1,15; Centro = 1,00																	

Tabela 75 - Cálculo de IG e ITU Edifício 21 Sul

Edifício 21																			
Orientação Cardeal Sul																			
A	A. O. (m²)	Á. Man. Pat. Nível 1 (m²)			Á. Man. Pat. Nível 2 (m²)			Á. Man. Pat. Nível 3 (m²)			Á. Man. Pat. Nível 4 (m²)			IG	Ku	ITU			
		Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro				Topo	Canto	Centro
01	168	17,25	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	9,25	0,50	6,75	3,00	0,00	5,00	1,00	0,25	0,50	0,13	1,0	1,36
<b>Legenda:</b>		Kn - Coeficientes relacionados ao Nível																	
<b>A - amostra</b>		de Gravidade: N1 = 0,2; N2 = 0,4; N3 =																	
<b>A. O. - área opaca</b>		0,6; N4 = 0,8; N5 = 1,0																	
		Kit - Coeficientes relacionados ao																	
		Impacto da Temperatura (Sul) = 1																	
		Topo = 2,00; Canto = 1,65; Centro = 1,50																	
		Kcd - Coeficientes relacionados à Chuva Dirigida																	
		(Sul)																	
		Topo = 2,00; Canto = 1,65; Centro = 1,50																	

Tabela 76 - Cálculo de IG e ITU Edifício 21 Leste

A		Edifício 21												Orientação Cardinal Leste												IG	Ku	ITU
		Á. Man. Pat. Nível 1 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 2 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 3 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 4 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 5 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 5 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 5 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 5 (m²)												
A. O. (m²)		Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro			
01	13,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	1,00	0,25	0,00	0,00	0,22	1,0	1,60		
02	44,75	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00	3,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	1,0	1,35	
03	44,75	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	1,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	1,0	1,33	
04	44,75	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	3,75	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	1,0	1,39	
05	53,00	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	0,00	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	1,0	1,51	
06	53,75	0,00	0,00	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	1,0	1,47	
07	53,75	0,00	0,00	5,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	1,0	1,56	
08	53,75	2,50	0,00	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,25	0,00	0,00	0,00	9,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	1,0	1,50	
09	53,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	1,0	1,07	
10	44,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,75	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	1,0	1,35	
11	44,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	1,0	1,27	
12	44,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	1,0	1,16	
13	53,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	1,0	1,07	
14	53,75	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,25	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	1,0	1,18	
15	53,75	0,00	0,00	0,00	0,00	3,75	0,00	4,50	0,00	0,00	0,00	0,00	5,25	0,00	0,00	0,00	5,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	1,0	1,50	
16	53,75	0,00	0,00	0,00	0,00	3,75	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,5	0,59	
17	44,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	1,0	1,04	
18	38,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,75	0,00	2,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	1,0	1,34	
19	32,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	1,0	1,22	
20	41,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	1,0	1,06	
21	41,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	0,00	5,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	1,0	1,29	
22	41,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	1,0	1,12	
23	41,00	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	1,0	1,11	
24	41,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,75	0,00	0,00	0,00	5,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	1,0	1,27	
25	41,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	1,0	1,11	
26	41,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,75	0,00	0,00	1,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	1,0	1,19	
27	13,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,50	0,50	2,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	1,0	1,59	

**Legenda:** Kn - Coeficientes relacionados ao Nível de Gravidade: N1 = 0,2; N2 = 0,4; N3 = 0,6; N4 = 0,8; N5 = 1,0

**A. O. - área opaca**

**Kit - Coeficientes relacionados ao Impacto da Temperatura (Leste) = 1**

**Kcd - Coeficientes relacionados à Chuva Dirigida (Leste)**

**Topo = 1,93; Canto = 1,58; Centro = 1,43**

**Ku - coeficiente de urgência (descritos na tabela)**

Tabela 77 - Cálculo de IG e ITU Edifício 21 Oeste

A		Edifício 21												Orientação Cardinal Oeste												IG	Ku	ITU
		Á. Man. Pat. Nível 1 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 2 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 3 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 4 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 5 (m²)		Topo		Canto		Centro		Topo		Canto		Centro						
01	13,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,75	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	1,0	1,69			
02	41,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,50	0,00	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	1,0	1,41			
03	41,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,50	0,00	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	1,0	1,35			
04	41,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,00	0,00	1,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27	1,0	1,95			
05	41,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,25	0,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	1,0	1,53			
06	41,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,50	0,00	3,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	1,0	1,30			
07	41,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,25	0,00	4,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	1,0	1,34			
08	41,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,50	0,00	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	1,0	1,25			
09	38,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,75	0,00	0,00	3,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	1,0	1,22			
10	46,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,25	0,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	1,0	1,89			
11	53,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	1,0	1,26			
12	53,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	1,0	1,26			
13	49,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,50	0,03	1,0	1,09			
14	53,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	1,0	1,03			
15	49,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	0,00	4,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	1,0	1,27			
16	53,75	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	1,0	1,19			
17	53,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24	1,0	1,82			
18	53,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	1,0	1,28			
19	53,75	0,00	0,00	3,00	0,00	0,00	0,00	2,25	0,00	5,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,10	1,0	1,34			
20	53,75	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	0,00	1,50	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	1,0	1,11			
21	53,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	1,0	1,16			
22	53,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00			
23	52,00	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	1,0	1,07			
24	44,75	0,50	0,00	1,50	0,00	0,00	0,00	1,50	0,00	2,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	1,0	1,23			
25	44,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00			
26	44,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	1,0	1,06			
27	13,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00			

**Legenda:**  
 Kn - Coeficientes relacionados ao Nível de Gravidade: N1 = 0,2; N2 = 0,4; N3 = 0,6; N4 = 0,8; N5 = 1,0  
 A - amostra  
 A. O. - área opaca

**Kit - Coeficientes relacionados ao Impacto da Temperatura (Oeste) = 2**  
 Kcd - Coeficientes relacionados à Chuva Dirigida (Oeste)  
 Topo = 1,62; Canto = 1,27; Centro = 1,12

**Ku - coeficiente de urgência (descritos na tabela)**



Tabela 78 - Cálculo de IG e ITU Edifício 31 Norte

Edifício 31																	
Orientação Cardeal Norte																	
A	A. O. (m²)	Á. Man. Pat. Nível 1 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 2 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 3 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 4 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 5 (m²)		IG	Ku	ITU			
		Topo	Canto	Topo	Canto	Topo	Canto	Topo	Canto	Topo	Canto				Topo	Canto	
01	196	0,50	0,00	7,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,50	0,75	27,00	0,00	0,00	0,151	1,0	1,46
<b>Legenda:</b>	Kn - Coeficientes relacionados ao Nível de Gravidade: N1 = 0,2; N2 = 0,4; N3 = 0,6; N4 = 0,8; N5 = 1,0																
<b>A - amostra</b>	Kit - Coeficientes relacionados ao Impacto da Temperatura (Norte) = 2																
<b>A. O. - área opaca</b>	Kcd - Coeficientes relacionados à Chuva Dirigida (Norte) Topo = 1,50; Canto = 1,15; Centro = 1,00																

Tabela 79 - Cálculo de IG e ITU Edifício 31 Sul

Edifício 31																	
Orientação Cardeal Sul																	
A	A. O. (m²)	Á. Man. Pat. Nível 1 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 2 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 3 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 4 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 5 (m²)		IG	Ku	ITU			
		Topo	Canto	Topo	Canto	Topo	Canto	Topo	Canto	Topo	Canto				Topo	Canto	
01	196	21,00	0,00	30,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	51,75	0,00	0,00	0,276	1,0	1,71
<b>Legenda:</b>	Kn - Coeficientes relacionados ao Nível de Gravidade: N1 = 0,2; N2 = 0,4; N3 = 0,6; N4 = 0,8; N5 = 1,0																
<b>A - amostra</b>	Kit - Coeficientes relacionados ao Impacto da Temperatura (Sul) = 1																
<b>A. O. - área opaca</b>	Kcd - Coeficientes relacionados à Chuva Dirigida (Sul) Topo = 2,00; Canto = 1,65; Centro = 1,50																

Tabela 80 - Cálculo de IG e ITU Edifício 31 Leste

Edifício 31														
Orientação Cardinal Leste														
A	A. O. (m²)	Á. Man. Pat. Nível 1 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 2 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 3 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 4 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 5 (m²)		IG	Ku	ITU
		Topo	Canto	Topo	Canto	Topo	Canto	Topo	Canto	Topo	Canto			
01	199,00	41,00	0,00	165,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	1	1,57
02	199,00	42,00	0,00	168,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,50	0,50	0,00	1	1,89
03	199,00	42,00	0,00	168,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	28,00	9,25	0,00	1	2,01
04	199,00	42,00	0,00	166,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,00	7,75	0,00	1	1,86
05	199,00	20,75	0,00	162,00	0,00	0,00	2,75	0,00	9,75	2,25	1,00	0,00	1	1,60
06	199,00	42,00	0,00	134,50	0,00	0,00	4,25	0,00	34,25	4,75	1,25	0,00	1	1,81
<b>Legenda:</b>	Kn - Coeficientes relacionados ao Nível de Gravidade: N1 = 0,2; N2 = 0,4; N3 = 0,6; N4 = 0,8; N5 = 1,0													
<b>A - amostra</b>	Kit - Coeficientes relacionados ao Impacto da Temperatura (Leste) = 1													
<b>A. O. - área opaca</b>	Kcd - Coeficientes relacionados à Chuva Dirigida (Leste) Topo = 1,93; Canto = 1,58; Centro = 1,43													

Tabela 81 - Cálculo de IG e ITU Edifício 31 Oeste

Edifício 31														
Orientação Cardinal Oeste														
A	A. O. (m²)	Á. Man. Pat. Nível 1 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 2 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 3 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 4 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 5 (m²)		IG	Ku	ITU
		Topo	Canto	Topo	Canto	Topo	Canto	Topo	Canto	Topo	Canto			
01	192,50	41,00	0,00	163,00	0,00	0,00	0,00	14,50	0,00	21,50	0,00	0,00	1	2,55
02	192,50	41,00	0,00	165,00	0,00	0,00	2,25	0,00	24,50	7,25	0,00	0,00	1	2,49
03	192,50	12,00	0,00	46,50	0,00	0,00	0,00	0,50	20,00	4,25	0,00	0,00	1	1,56
04	192,50	41,00	0,00	167,00	0,00	0,00	10,50	0,00	68,50	24,75	0,00	0,00	1	2,91
05	192,50	38,25	0,00	165,75	0,00	0,00	0,00	0,00	18,00	2,00	0,00	0,00	1	1,98
06	193,75	42,00	0,00	147,50	0,00	0,00	0,00	1,00	4,75	2,75	0,00	0,00	1	1,75
<b>Legenda:</b>	Kn - Coeficientes relacionados ao Nível de Gravidade: N1 = 0,2; N2 = 0,4; N3 = 0,6; N4 = 0,8; N5 = 1,0													
<b>A - amostra</b>	Kit - Coeficientes relacionados ao Impacto da Temperatura (Oeste) = 2													
<b>A. O. - área opaca</b>	Kcd - Coeficientes relacionados à Chuva Dirigida (Oeste) Topo = 1,62; Canto = 1,27; Centro = 1,12													

Tabela 82 - Cálculo de IG e ITU Edifício 33 Norte

Edifício 33															
Orientação Cardeal Norte															
A	A. O. (m²)	Á. Man. Pat. Nível 1 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 2 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 3 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 4 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 5 (m²)		IG	Ku	ITU	
		Topo	Canto	Topo	Canto	Topo	Canto	Topo	Canto	Topo	Canto				Topo
01	196	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,5	0,52
<b>Legenda:</b>		Kn - Coeficientes relacionados ao Nível de Gravidade: N1 = 0,2; N2 = 0,4; N3 = 0,6; N4 = 0,8; N5 = 1,0													
A - amostra		Kit - Coeficientes relacionados ao Impacto da Temperatura (Norte) = 2													
A. O. - área opaca		Kcd - Coeficientes relacionados à Chuva Dirigida (Norte) Topo = 1,50; Canto = 1,15; Centro = 1,00													

Tabela 83 - Cálculo de IG e ITU Edifício 33 Sul

Edifício 33																		
Orientação Cardeal Sul																		
A	A. O. (m²)	Á. Man. Pat. Nível 1 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 2 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 3 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 4 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 5 (m²)		IG	Ku	ITU				
		Topo	Canto	Topo	Canto	Topo	Canto	Topo	Canto	Topo	Canto				Topo	Canto		
01	196	53,50	2,50	52,50	0,00	0,00	0,00	1,25	9,75	0,00	0,00	7,25	0,00	0,00	0,00	0,17	1	1,46
<b>Legenda:</b>		Kn - Coeficientes relacionados ao Nível de Gravidade: N1 = 0,2; N2 = 0,4; N3 = 0,6; N4 = 0,8; N5 = 1,0																
A - amostra		Kit - Coeficientes relacionados ao Impacto da Temperatura (Sul) = 1																
A. O. - área opaca		Kcd - Coeficientes relacionados à Chuva Dirigida (Sul) Topo = 2,00; Canto = 1,65; Centro = 1,50																

Tabela 84 - Cálculo de IG e ITU Edifício 33 Leste

A		Edifício 33																		Orientação Cardeal Leste		
		Á. Man. Pat. Nível 1 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 2 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 3 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 4 (m²)		Á. Man. Pat. Nível 5 (m²)		IG	Ku	ITU								
	(m²)	Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro						
01	65,75	10,75	0,00	7,75	0,00	0,00	0,00	8,00	0,00	22,75	0,00	0,00	5,25	0,00	0,00	0,00	0,40	1	2,03			
02	65,75	0,00	0,00	16,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	1	1,19			
03	65,75	9,25	0,00	14,00	0,00	0,00	0,00	4,00	0,00	2,00	0,00	0,00	5,50	0,00	0,00	0,00	0,19	1	1,50			
04	65,75	14,00	0,00	12,50	0,00	0,00	0,00	10,25	0,00	0,75	0,00	0,00	4,25	0,00	0,00	0,00	0,23	1	1,63			
05	65,75	7,00	0,00	6,00	0,00	0,00	0,00	10,00	0,00	13,25	0,00	0,00	2,75	0,00	0,00	0,00	0,29	1	1,75			
06	65,75	14,00	0,00	16,75	0,00	0,00	0,00	1,50	0,00	6,25	0,00	0,00	3,50	0,00	0,00	0,00	0,21	1	1,53			
07	65,75	14,00	0,00	16,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,75	0,00	0,00	0,00	0,14	1	1,36			
08	65,75	14,00	0,00	10,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,25	0,00	0,00	0,00	0,09	1	1,24			
09	65,75	14,00	0,00	10,25	0,00	0,00	0,00	3,00	0,00	2,50	0,00	0,00	8,50	0,00	0,00	0,00	0,23	1	1,59			
10	65,75	4,50	0,00	20,00	0,00	0,00	0,00	0,75	0,00	3,00	0,00	0,00	7,50	0,00	0,00	0,00	0,20	1	1,50			
11	65,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,50	0,00	3,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	1	1,14			
12	65,75	0,00	0,00	7,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0	0,56			
13	65,75	15,75	0,00	8,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0	0,71			
14	65,75	14,00	0,00	24,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,50	0,00	0,00	0,00	0,22	1	1,55			
15	65,75	12,50	0,00	12,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,25	0,00	0,00	5,75	0,00	0,00	0,00	0,18	1	1,45			
16	69,50	0,00	0,00	7,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	1	1,23			
17	69,50	0,00	0,00	10,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	1	1,31			
18	69,50	0,00	0,00	10,75	0,00	0,00	0,00	3,25	0,00	11,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,17	1	1,42			

**Legenda:**  
 A - amostra  
 A. O. - área opaca  
 Kn - Coeficientes relacionados ao Nível de Gravidade: N1 = 0,2; N2 = 0,4; N3 = 0,6; N4 = 0,8; N5 = 1,0  
 Kit - Coeficientes relacionados ao Impacto da Temperatura (Leste) = 1  
 Kcd - Coeficientes relacionados à Chuva Dirigida (Leste)  
 Topo = 1,93; Canto = 1,58; Centro = 1,43  
 Ku - coeficiente de urgência (descritos na tabela)

Tabela 85 - Cálculo de IG e ITU Edifício 33 Oeste

A		Orientação Cardeal Oeste																		IG	Ku	ITU
		Á. Man. Pat. Nível 1 (m²)			Á. Man. Pat. Nível 2 (m²)			Á. Man. Pat. Nível 3 (m²)			Á. Man. Pat. Nível 4 (m²)			Á. Man. Pat. Nível 5 (m²)								
A. O.	(m²)	Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro	Topo	Canto	Centro			
01	69,50	3,50	0,00	3,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	1,0	1,14
02	65,00	0,50	0,00	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,5	0,53
03	69,50	0,00	0,00	12,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	1,0	1,15
04	55,75	13,75	0,00	6,25	0,00	0,00	0,00	8,50	0,00	4,75	0,00	0,00	0,00	2,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	1,0	1,84
05	65,75	11,25	0,00	0,75	0,00	0,00	0,00	6,50	0,00	8,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	1,0	1,58
06	65,75	13,00	0,00	3,50	0,00	0,00	0,00	6,50	0,00	7,75	0,00	0,00	0,00	3,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	1,0	1,74
07	54,50	11,25	0,00	6,25	0,00	0,00	0,00	11,50	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	1,0	1,70
08	65,75	7,75	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	12,25	0,00	1,25	0,00	0,00	0,00	1,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	1,0	1,59
09	65,75	7,00	0,00	4,75	0,00	0,00	0,00	14,75	0,00	8,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24	1,0	1,84
10	54,50	11,75	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	9,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	1,0	1,61
11	65,75	17,25	0,00	6,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,25	0,00	0,00	0,00	5,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	1,0	1,50
12	65,75	11,25	0,00	8,50	0,00	0,00	0,00	6,00	0,00	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	1,0	1,55
13	54,50	0,00	0,00	4,25	0,00	0,00	0,00	8,75	0,00	0,75	0,50	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	1,0	1,68
14	65,75	0,00	0,00	4,50	0,00	0,00	0,00	9,00	0,00	4,50	0,00	0,00	0,00	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	1,0	1,50
15	65,75	0,25	0,00	8,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,00	0,00	0,00	0,00	7,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	1,0	1,46
16	54,50	3,50	0,00	2,75	0,00	0,00	0,00	1,50	0,00	4,50	0,00	0,00	0,00	4,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	1,0	1,51
17	65,75	3,75	0,00	9,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	1,0	1,21
18	65,75	3,50	0,25	11,75	0,00	0,00	0,00	9,75	0,00	10,00	0,00	0,00	0,00	7,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,32	1,0	2,04

**Legenda:**  
 A - amostra  
 A. O. - área opaca

Kn - Coeficientes relacionados ao Nível de Gravidade: N1 = 0,2; N2 = 0,4; N3 = 0,6; N4 = 0,8; N5 = 1,0  
 Kit - Coeficientes relacionados ao Impacto da Temperatura (Oeste) = 2  
 Kcd - Coeficientes relacionados à Chuva Dirigida (Oeste)  
 Topo = 1,62; Canto = 1,27; Centro = 1,12