



**FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS – FATECS**  
**CURSO: ENGENHARIA CIVIL**

Lukas Augusto Moreira

MATRÍCULA:

2103793-6

**ESTUDO DE CASO: Avaliação Quantitativa de Degradação e Vida Útil de  
fachadas com Revestimento Cerâmico em Brasília**

Brasília  
2017

LUKAS AUGUSTO MOREIRA

**ESTUDO DE CASO: Avaliação Quantitativa de Degradação e Vida Útil de fachadas com Revestimento Cerâmico**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado como um dos requisitos para a conclusão do curso de Engenharia Civil do UniCEUB– Centro Universitário de Brasília

Orientadora: Eng<sup>a</sup> Civil Nathaly Sarasty Narváez

Brasília  
2017

LUKAS AUGUSTO MOREIRA

**ESTUDO DE CASO: Avaliação Quantitativa de Degradação e Vida Útil de fachadas com Revestimento Cerâmico**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado como um dos requisitos para a conclusão do curso de Engenharia Civil do UniCEUB– Centro Universitário de Brasília

Orientadora: Eng<sup>a</sup> Civil NATHALY SARASTY NARVÁEZ

Brasília, 2017.

**Banca Examinadora**

---

Eng<sup>a</sup>.Civil: Nathaly Sarasty Narvaéz, M.Sc  
Orientadora

---

Eng. Civil: Jorge Antônio da Cunha Oliveira, DS.c  
Examinador Interno

---

Eng<sup>a</sup>.Produção: Eugenia Cornils Monteiro, M.Sc  
Examinador Interno

## RESUMO

O presente trabalho apresenta um conteúdo sobre as manifestações patológicas que acontecem em fachada de revestimento cerâmico, fazendo com que o revestimento cerâmico não apresente o desempenho mínimo para o qual foi projetado. O revestimento cerâmico serve para proteger as fachadas dos agentes externos, além de melhorar o conforto térmico e acústico, prolongar a vida útil da fachada e valorizar a arquitetura da edificação. Por conta da grande variação térmica em Brasília - DF, os edifícios com revestimento cerâmico sofrem muitos danos, por conta da diferença do coeficiente de dilatação nos diversos materiais a que compõe. A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR 15.575/2013, conhecida como norma de desempenho, vem definindo cada tipo de patologia e conceitos de vida útil (VU), vida útil de projeto (VUP), desempenho, manutenção e durabilidade. As manifestações patológicas como fissuras, descolamento, deslocamento, eflorescência, falha no rejunte e falha nas juntas são bem comuns nas vedações verticais. Por falta de manutenção, as fachadas apresentam manifestações patológicas, portanto, diminui sua vida útil. Para determinar essa vida útil, foi elaborado um estudo que permite avaliar se a fachada apresenta uma degradação aceitável ou uma degradação não aceitável. O fator de dano (FD) permite calcular o primeiro estágio das patologias ocorrentes na fachada, fazendo com que todas as patologias tenham a mesma importância. O fator geral de dano (FGD) é um modelo de cálculo que avalia as patologias por valores diferentes, enfatizando a importância de cada patologia presente na fachada. Com o FGD é possível comparar com a curva de vida útil da fachada. Essa curva de vida útil foi elaborada na tese de doutorado da Maria de Nazaré Batista da Silva (2014), da universidade de Brasília – UNB, com a coleta de dados de 90 amostras de fachada com revestimento cerâmico Silva (2014). Elaborou uma curva determinando a vida útil de fachada com revestimento cerâmico no DF. Foi localizado um edifício com grandes níveis de manifestações patológicas, por esse motivo, a Agência de Fiscalização do Distrito Federal (AGEFIS), interditou a fachada do lado nascente. Com a curva de vida útil determinada por Silva (2014), e comparando com o cálculo do FGD podemos assemelhar os dados obtidos. Conclui-se que a vida útil do edifício está dentro do previsto.

Palavras-chave: Degradação, Fachada, Revestimento Cerâmico, Vida Útil.

## ABSTRACT

The present work presents a content about the pathological manifestations that they happen in facade of ceramic covering, doing with that the ceramic covering doesn't present the minimum acting for which was projected. The ceramic covering is to protect the external agents' facades, besides improving the thermal and acoustic comfort, to prolong the useful life of the facade and to value the architecture of the construction. Due to the great thermal variation in Brasília - DF, the buildings with ceramic covering suffer many damages, due to the difference of the dilation coefficient in the several materials the one that composes. The Brazilian Association of Technical Norms - ABNT NBR 15.575/2013, known as acting norm, it is defining each pathology type and life concepts useful (VU), useful life of project (VUP), acting, maintenance and durability. The pathological manifestations as fissures, descolamento, deslocamento, eflorescência, fails in the rejunte and flaw in the very common healthy committees in the vertical fence. For maintenance lack, the facades present pathological manifestations, therefore, it reduces his/her useful life. To determine that useful life, it was elaborated a study that allows to evaluate the facade presents an acceptable degradation or a degradation no acceptable. The damage (FD) factor allows to calculate the first apprenticeship of the pathologies ocorrentes in the facade, doing with that all of the pathologies have the same importance. The general factor of damage (FGD) is a calculation model that evaluates the pathologies for different values, emphasizing the importance of each pathology present in the facade. With FGD it is possible to compare with the curve of useful life of the facade. That curves of useful life was elaborated in the theory me of Maria of Nazaré Batista of Silva (2014), of the university of Brasília - UNB, with the collection of data of 90 facade samples with ceramic covering Silva (2014). It elaborated a curve determining the useful life of facade with ceramic covering in DF. It was located a building with great levels of pathological manifestations, for that reason, it Negotiates her/it of Fiscalization of Federal district, (AGEFIS) it interdicted the facade on the nascent side. With the curve of certain useful life for Silva (2014), and comparing with the calculation of FGD can assimilate the obtained data. It is ended that the useful life of the building is inside of the foreseen

Keywords: Degradation, Facade, Ceramic Coating, Shelf Life.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	13
<b>1.1 Justificativa</b>	13
<b>1.2 Objetivos</b>	14
1.2.1 <i>Geral</i>	14
1.2.2 <i>Específicos</i>	14
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	15
<b>2.1 Vedação Vertical Externa das Fachadas</b>	15
<b>2.2 Revestimento de Fachada Cerâmica</b>	16
2.2.1 <i>Durabilidade</i>	17
2.2.2 <i>Vida Útil</i>	17
2.2.3 <i>Desempenho</i>	20
2.2.4 <i>Manutenção</i>	21
<b>2.3 Degradação em Vedações Verticais das Fachadas</b>	22
2.3.1 <i>Tipos de Danos</i>	23
2.3.2 <i>Condições Climáticas da Região de Estudo – Distrito Federal - DF</i>	23
<b>2.4 Manifestações Patologias comuns em fachadas</b>	26
2.4.1 <i>Fissuras e Trincas</i>	27
2.4.2 <i>Descolamento (Perda de Aderência)</i>	28
2.4.3 <i>Desplacamento</i>	29
2.4.4 <i>Falha de Rejuntamento</i>	32
2.4.5 <i>Manchas na Superfície – Eflorescência</i>	33
2.4.6 <i>Falha na Vedação</i>	33
2.4.7 <i>Deterioração de Placas Cerâmicas – Gretamento</i>	34
<b>2.5 Modelos Desenvolvidos Para Estudo de Degradação em Fachada</b>	35
<b>2.6 Modelo Proposto por Gaspar e Brito (2008) e Gaspar e Brito (2010)</b>	35
2.6.1 <i>Curvas de degradação</i>	36
2.6.2 <i>Nível Geral de Degradação de Fachada</i>	37
2.6.3 <i>Modelo Proposto por Taguchi (2010)</i>	39
<b>3 METODOLOGIA</b>	42
<b>3.1 Estudo de Caso</b>	42
<b>3.2 Levantamento de Dados</b>	43
3.2.1 <i>Investigação documental</i>	43
3.2.2 <i>Investigação de campo</i>	44
<b>3.3 Ensaio de Percussão</b>	46
3.4.1 <i>Cálculo da área total e o Cálculo da área danificada</i>	49
3.4.2 <i>Cálculo do Fator de Dano</i>	49
3.4.3 <i>Calculo do Fator Geral de Dano</i>	50
<b>4 CONCLUSÃO</b>	57
<b>5 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS</b>	58
<b>6 BIBLIOGRAFIA</b>	59

## Lista de Figuras

<b>Figura 1 - Desempenho ao longo do tempo .....</b>	<b>18</b>
<b>Figura 2 - Mapa zoneamento biológico brasileiro .....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 3- Mapa com destaque a zona 4 onde se enquadra a cidade de Brasília-DF .....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 4 - Fissura na fachada de revestimento cerâmico. ....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 5 - Descolamento de placas cerâmicas. ....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 6 - Deslocamento de cerâmica.....</b>	<b>30</b>
<b>Figura 7 - Falhas nas Juntas de Dilatação.....</b>	<b>31</b>
<b>Figura 8 - Falha no Rejunte.....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 9 - Mancha na Fachada – Eflorescência. ....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 10 - Falha na vedação.....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 11- Gretamento.....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 12 - Condomínio SQS 102 Bloco H e SQS 102 Bloco I. ....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 13 - Retirada de ceramica para o uso de ar condicionados. ....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 14 - Danificação da junta de dilatação para o uso de rede de proteção. ....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 15 - Deslocamento Encontrado no Edifício Analisado.....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 16 - Utilização de Câmera de Infravermelho .....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 17 - Ensaio de Percussão. ....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 18- Identificação das áreas comprometidas.....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 19 - Ensaio de Aderência.....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 20 - Sobreposição de Malhas e Legenda de Cores.....</b>	<b>49</b>

## Lista de Tabelas e Gráficos

### Tabelas

<b>Tabela 1 - Exigencias do usuário (ABNT NBR 15575-1:2013).....</b>	<b>19</b>
<b>Tabela 2– Vida útil de projeto e nível de desempenho mínimo (M) e superior (S) de sistema de revestimento. ....</b>	<b>20</b>
<b>Tabela 3 – Agentes de degradação em função da natureza .....</b>	<b>25</b>
<b>Tabela 4 – Tipos de curva de degradação.....</b>	<b>36</b>
<b>Tabela 5– Valor básico associado ao tipo de dano i.....</b>	<b>40</b>
<b>Tabela 6 - Fator indicativo da intensidade do dano i. ....</b>	<b>40</b>
<b>Tabela 7– Fator indicativo da extensão do dano i.....</b>	<b>41</b>
<b>Tabela 8– Fator indicativo da urgência de intervenção para o dano i.....</b>	<b>41</b>
<b>Tabela 9 – Gravidade de cada patologia. ....</b>	<b>51</b>
<b>Tabela 10 - Composição de valores para o cálculo do FGD.....</b>	<b>52</b>

### Gráficos

<b>Gráfico 1 - Nível Geral de Degradação. ....</b>	<b>38</b>
<b>Gráfico 2- Tendência do comportamento do Fator de Dano .....</b>	<b>53</b>
<b>Gráfico 3 – Patologias e Graus de Manifestação.....</b>	<b>54</b>
<b>Gráfico 4 – Fator Geral de Dano.....</b>	<b>55</b>
<b>Gráfico 5 – FGD Total x FGD .....</b>	<b>56</b>

## **1 INTRODUÇÃO**

Existem diversos tipos de construções civis e em todas elas tendem a sofrer danos ao longo do tempo. No caso dos edifícios as fachadas acabam por sofrer mais danos patológicos, isso acontece pelo fato de estarem expostos à todo tipo de mudança climática.

Existem vários tipos de fachadas, feitas com revestimento de massas, madeira, pedra, cerâmica e diversos outros tipos de materiais. A escolha do material vai além da estética, já que a fachada também serve como uma camada protetora que impede que os agentes externos atinjam as áreas internas. As fachadas também funcionam como isolamento térmico e acústico, essas funções dependem diretamente do material utilizado na fachada.

Com o passar dos anos, diversos estudiosos, como Brito (2011), Taguichi (2010) e Gaspar (2008), publicaram suas pesquisas a respeito das fachadas, analisando as suas patologias, o que acontecem nela e também sobre as manutenções necessárias para que as fachadas tenham uma Vida Útil (VU) maior.

Esta pesquisa baseou-se no estudo feito nas regulamentações previstas na norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 15.575/2013, também conhecida como a norma de desempenho, e na tese da pesquisadora Maria Silva (2014), que em seu estudo determinou uma curva padrão de vida útil para os edifícios com revestimento cerâmico em Brasília -DF.

### **1.1 Justificativa**

O presente trabalho justifica-se por um grande nível de manifestações patológicas em edifícios de Brasília – DF. Essas manifestações surgem pelo grande nível de variação térmica na região. Ao passear por Brasília, é perceptível grande quantidade de edifícios com revestimento cerâmico, mas em sua maioria com vastos níveis de manifestações patológicas. Com a perda do revestimento cerâmico, a alvenaria e a estrutura do edifício, ficam cada vez mais expostas a outros tipos de danos mais graves. Em Brasília a pesquisadora Doutora pela Universidade de Brasília – UNB Maria de Nazaré Silva (2014) desenvolveu em sua pesquisa métodos para definir a vida útil de um edifício com revestimento cerâmico em Brasília.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Geral

Estudar e quantificar a degradação das fachadas, baseando-se em um estudo de campo realizado e mapeamentos na fachada, de modo a de classificar e quantificar as degradações na fachada e aplicar um modelo de vida útil desenvolvido para ser aplicado no Distrito Federal.

### 1.2.2 Específicos

A partir de coletas de informações das vedações verticais com revestimento cerâmico, almeja-se:

- Estabelecer metodologias para o levantamento, mapeamento e quantificação das áreas de manifestação patológica com base na retirada de amostras de fachada com o revestimento cerâmico;
- Inspecionar *in loco*, registrando em fotografias com câmera especial de termografia;
- Realizar o ensaio de aderência de acordo com a ABNT – NBR 13.528/2010: revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração
- Realizar o ensaio de percussão para identificar as patologias que agredirem as fachadas;
- Observar se a fachada apresenta um mínimo de conforto de acordo a norma de desempenho ABNT NBR 15575-1/2013
- Utilizar metodologias adaptadas de quantificação de dados em fachadas;
- Apresentar uma modelo de gráfico, em forma de curva, para identificar a degradação estabelecendo a vida útil;

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Vedação Vertical Externa das Fachadas

As fachadas que tem uma frente, área externa de uma edificação que é uma forma de segurança, servem como uma barreira contra ventos e chuva, além de fornecerem proteção acústica e térmica.

Silva (2014) também afirma que “as vedações externas ou fachadas constituem a envoltória vertical de proteção das edificações atuando como a primeira barreira para os diferentes tipos de solicitações causadas por esforços externos e internos”.

As fachadas podem ser feitas de diversos tipos de materiais, como cerâmica, mármore, argamassa com reboco, porcelanato, entre outros, e cada tipo de revestimento tem um tipo de instalação diferente. Esses revestimentos nas fachadas têm um grande papel de proteger e dar acabamento estético nas edificações, além de valorizá-las.

Para Goldberg (1998), a principal função de uma vedação externa consiste em separar o ambiente externo do ambiente interno. Para tanto, deve simultaneamente servir como uma limitação, uma barreira e um filtro seletivo para controlar fatores complexos, muitas vezes conflitantes de força de ocorrências, tais como:

- Pressão do vento e resistência a sismos;
- Resistência a movimentação térmica e umidade;
- Conservação de energia e controle do fluxo de calor entre o meio interior e exterior;

- Resistência e controle a penetração de chuva;
- Controle da migração do vapor de água e condensação;
- Resistência acústica;
- Resistência e contenção ao fogo;
- Permitir iluminação natural para o ambiente interior;
- Permitir circulação de ar entre o meio interior e exterior.

A NBR 15575-4 (ABNT, 2013b) apresenta as vedações verticais como os principais subsistemas que mesmo sem função estrutural podem atuar como contraventamento de estruturas. Possuem como principais funções o compartimento da edificação, proporcionando ao ambiente conforto hidrotérmico, acústico, segurança de utilização frente às ações excepcionais como incêndios e desempenho.

## **2.2 Revestimento de Fachada Cerâmica**

A NBR 13755 (ABNT, 1997a) define “o revestimento externo como sendo o conjunto de camadas superpostas e intimamente ligadas, constituído pela estrutura-suporte, alvenarias, camadas sucessivas de argamassas e revestimento final”.

Toledo (2007) determina que o revestimento cerâmico de fachada se constitui em apenas uma peça, formando em apenas um bloco aderida à base suporte da fachada do edifício (alvenaria ou estrutura), onde o seu exterior é constituída por placas cerâmicas, assentadas e rejuntadas com argamassa ou material adesivo.

Para Medeiros e Sabbattini (1999) as placas cerâmicas de revestimento podem ser utilizadas como acabamento de fachadas de duas maneiras principais, função da técnica construtiva utilizada:

a) Sistema aderidos: que as placas cerâmicas trabalham completamente aderidas sobre a base (emboço).

b) Sistema não aderidos: é um sistema que as placas cerâmicas são fixadas com um suporte, onde a cerâmica não fica em contato direto com o emboço. Com

essa metodologia fica um espaço intermediário entre a cerâmica e o emboço que é preenchida com ar com finalidade de impermeabilização e isolamento térmico e acústico.

### *2.2.1 Durabilidade*

A durabilidade é a capacidade de se conservar ao longo do tempo sob condições de instalação, operação e manutenção. Para as edificações a durabilidade é o desempenho compatível com a utilização prevista no projeto. Dependendo da agressividade do meio ambiente a manutenção pode-se tornar mais periódica. Ensaio que tem como objetivo espelhar a durabilidade de certos materiais ao longo do tempo são um grande motivo de estudos e pesquisas, existindo alguns ensaios que são específicos para determinados sistemas.

Alguns sistemas tradicionais possuem a própria história como prova do seu desempenho (ABNT, 2013a). Como requisito de durabilidade, o edifício deve manter a capacidade funcional durante a vida útil prevista em projeto sem os sinais de desgaste, desde que realizadas as intervenções periódicas de manutenção e conservação.

A durabilidade de edifícios pode ser expressa em tempo de vida (anos) ou em função da capacidade de resistência a agentes que normalmente afetam o desempenho durante o tempo de uso (CONSOLI, 2006).

O método de avaliação é a análise do projeto. Os sistemas do edifício devem ser adequadamente detalhados e especificados em projeto, de modo a possibilitar a avaliação da sua vida útil. É desejável conhecer as especificações dos elementos e componentes empregados de modo que possa ser avaliada a sua adequabilidade de uso (SILVA, 2014).

### *2.2.2 Vida Útil*

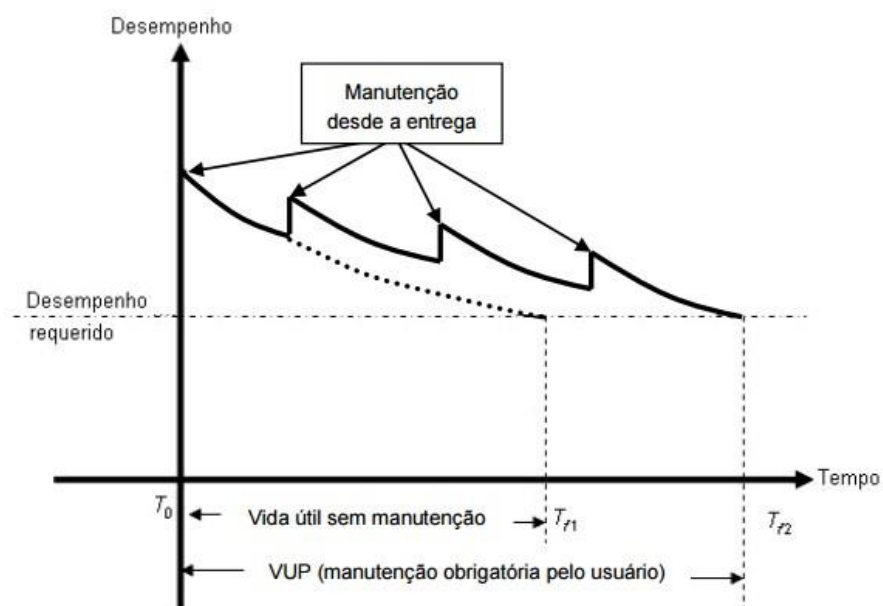
A norma NBR 15575-1(ABNT, 2013a) determina que a “vida útil (VU) é o período de tempo durante o qual o sistema pode ser utilizado sob condições satisfatórias de segurança, saúde e higiene”.

A ABNT (2013<sup>a</sup>) também define por meio da norma de desempenho NBR 15575-1, determina que a Vida Útil do Projeto (VUP) é o tempo, em que é projetado o sistema para entender os requisitos de desempenho da norma de desempenho (ABNT, NBR 15575-1), desde que cumprimento do programa de manutenção determinado no manual de operação, uso e manutenção.

De acordo com a NBR 15575-1 (ABNT, 2013a), o custo global da vida útil de projeto é o fator determinante para definição da durabilidade requerida. O estabelecimento da vida útil de projeto se deu em função do processo de otimização do custo global. O ideal do ponto de vista da sociedade é estabelecer a melhor relação custo x benefício. Atualmente, a opção por construções de menor custo, entretanto menos duráveis está necessariamente transferindo o ônus desta escolha para as gerações futuras.

A figura 1 mostra a uma relação/comparação entre a vida útil com e sem manutenção até atingir o desempenho requerido, com essa figura podemos ver a importância da manutenção. Com a falta das manutenções necessárias no tempo certo, o custo da manutenção posterior pode elevar muito o preço. As eventuais patologias resultantes podem ter origem no uso inadequado e não necessariamente em uma construção falha (ABNT, 2013a).

**Figura 1 - Desempenho ao longo do tempo**



A vida útil é o tempo após a instalação de material que atende as exigências do usuário (tabela 1), necessidades, segurança, habitabilidade e a sustentabilidade após ter manutenções rotineiras excedendo o valor mínimo necessário.

**Tabela 1 - Exigências do usuário (ABNT NBR 15575-1:2013).**

<b>Exigências do usuário</b>	<b>Requisitos e critérios</b>
<b>Segurança</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Segurança estrutural</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Segurança contra o fogo</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Segurança no uso e na operação</li> </ul>
<b>Habitabilidade</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estanqueidade</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conforto térmico</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conforto acústico</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conforto lumínico</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Saúde, higiene e qualidade do ar</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Funcionalidade e acessibilidade</li> </ul>
<b>Sustentabilidade</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conforto tátil e antropodinâmico</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durabilidade</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manutenibilidade</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impacto ambiental</li> </ul>

Fonte: ABNT NBR 15575-1:2013

A vida útil de um edifício é condicionada, não só pela estrutura, mas também pelos seus elementos constituintes. Os revestimentos são os elementos mais expostos as condições adversas, constituindo um sistema de proteção da própria estrutura. Devem, por isso, conservar as suas características durante o período de vida útil, de modo a respeitarem os níveis mínimos de desempenho (SILVA, 2009).

### 2.2.3 Desempenho

Desempenho é definido como o comportamento em uso de uma edificação e seus sistemas, conforme a ABNT NBR 15575-1 (ABNT, 2013a). Logo, tem como objetivo definir desempenho como a capacidade de atendimento das necessidades dos usuários da edificação quanto ao conforto, saúde, adequação ao uso e economia dando a condição mínima. As manutenções das edificações visam preservar e recuperar os serviços realizados para prevenir ou corrigir as degradações, perda de desempenho, decorrente da deterioração dos seus componentes ao longo do tempo, ou de atualizações nas necessidades de seus usuários.

Essa norma também prevê um planejamento de manutenção, definidos em planos de curto, médio e longo prazos, de maneira a:

- Coordenar os serviços de manutenção para reduzir a necessidade de sucessivas intervenções;
- Minimizar a interferência dos serviços de manutenção no uso da edificação e a interferência dos usuários sobre a execução dos serviços de manutenção;
- Otimizar o aproveitamento de recursos humanos, financeiros e equipamentos.

A ABNT NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) também tem como o objetivo definir os níveis de desempenho mínimos (M), que são obrigatórios para o atendimento de cada requisito quanto da análise do projeto, na melhoria da qualidade da edificação almejando o valor da relação custo-benefício dos sistemas, e estabelecer o nível de desempenho superior (S), dando um limite de exigência para atendimento de desempenho, como mostra a tabela 2.

**Tabela 2– Vida útil de projeto e nível de desempenho mínimo (M) e superior (S) de sistema de revestimento.**

Sistemas, elementos ou componentes	VUP (Anos)	
	M	S
Paredes de vedação externas, painéis de fachada, fachadas-cortina	≥40	≥60

Revestimento de fachada aderido e não aderido – Revestimento, molduras, componentes decorativos e cobre muros	≥20	≥30
Componentes de juntas e rejuntamentos; mata-juntas, sancas, golas, rodapés e demais componentes de arremate.	≥4	≥6
Janelas (componentes fixos e móveis), portas-balcão, gradis, grades de proteção, cobogós, brises. Inclusos complementos de acabamentos como peitorais, soleiras, pingadeiras e ferragens de manobra e fechamento.	≥20	≥30

Fonte: (adaptado da ABNT NBR 15575-1:2013)

A presença dos requisitos mínimos de desempenho para os empreendimentos somados a indicadores na avaliação da conformidade de produtos e processos com a qualidade especificada na fase de produção e utilização contribui com a prevenção de manifestações patológicas e, por consequência, com a consolidação de técnicas construtivas adequadas e produtivas visando a uma maior durabilidade das edificações (ANTUNES, 2004 apud SILVA, 2014).

#### 2.2.4 Manutenção

Em questão da manutenção, a norma NBR 15575 (ABNT, 2013) esclarece que a manutenção compreende uma série de atividade a serem realizadas para conservar ou recuperar a capacidade funcional da edificação e suas partes constituintes de atender as necessidades e segurança dos seus usuários. Segundo a norma NBR 14037 (2011) os construtores devem fornecer um formulário, em forma manual, com todas as informações necessárias para orientar as atividades da operação e manutenção, que tem como finalidade:

- Informar aos usuários as características técnicas da edificação construída;
- Descrever procedimentos recomendáveis para o melhor aproveitamento da edificação;
- Orientar os usuários para a realização das atividades de manutenção;

- Prevenir a ocorrência de falhas e acidentes decorrentes de uso inadequado;
- Contribuir para o aumento da durabilidade da edificação.

Para Consoli (2006), os estudos sobre durabilidade iniciaram-se há muitos anos nos países desenvolvidos tendo como motivação o desempenho econômico das edificações e o planejamento das manutenções, somando-se a este contexto a redução de impactos ambientais oferecidas por edificações duráveis.

Para Gaspar e Brito (2005) deram ênfase no diagnóstico para o melhor estado de conservação dos elementos de fachada e o seu prognóstico de fazer um planejamento para a manutenção que possibilitaram identificar a durabilidade desses componentes. Com isso, entende-se que a grande vantagem na investigação das fachadas das edificações é um elemento chave para a uma adequada manutenção, apenas analisando e identificando das necessidades, pode-se buscar alternativas de intervenção o menos onerosas e traumáticas possível.

### **2.3 Degradação em Vedações Verticais das Fachadas**

Tudo ao longo do tempo tende-se desgastar, degradar, com as fachadas de revestimento cerâmico não é diferente, como elas são a primeira barreira de proteção do edifício, tendo contato com os agentes externos, os revestimentos ficam sujeitos a fatores físicos, químicos e mecânicos. Por causa do mau uso e da manutenção inadequada, a degradação nas fachadas é algo inevitável.

Por conta de falta de manutenção e um uso inadequado, as patologias nas fachadas são presentes, tanto nos edifícios antigos até mesmo nos mais novos. Mesmo com a inovação de produtos no mercado de trabalho e um rígido controle de qualidade as patologias continuam aparecendo devido as falhas de execução, manutenção e de projeto.

As falhas ocorrem e qualquer tipo de obra, seja ela por causa de um mau projeto, uma má execução, por falta de planejamento e por conta do material inapropriado.

No ano de 1985, Conforme Lichtenstein, relatou nas fachadas verticais que a grande maioria dos problemas patológicos são originados por falta de qualidade e quantidade de documentos. Esses documentos são a fonte para o estudo das anomalias que ali surgem.

Para Gaspar e Brito (2005), o processo de degradação ocorre em função da perda de capacidade do material em responder às exigências, ao longo do tempo, aos agentes de deterioração, à natureza do material e ainda da própria idade do material, culminando como o surgimento dos danos.

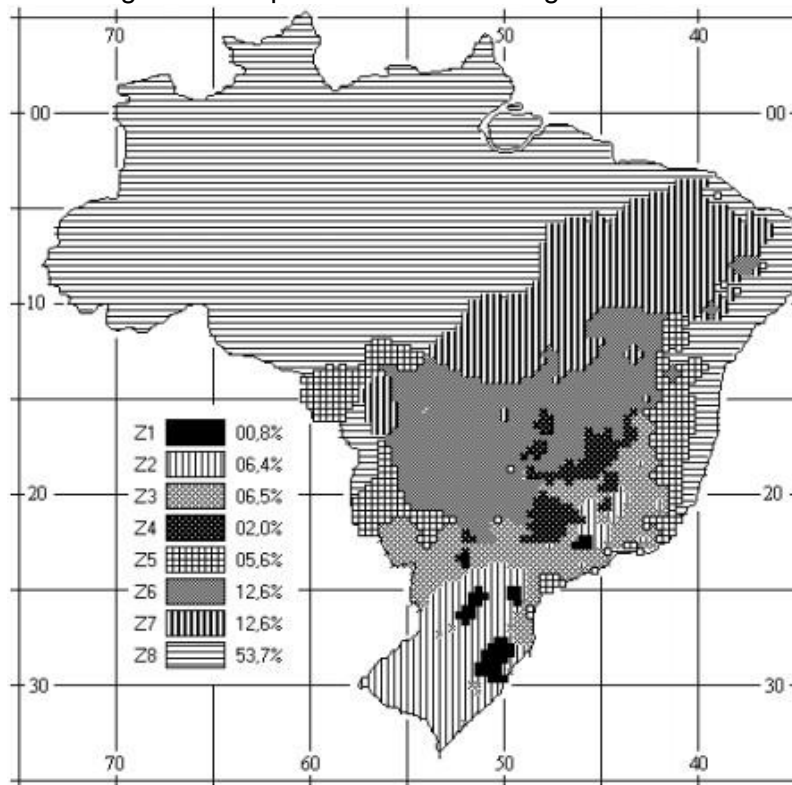
### *2.3.1 Tipos de Danos*

As patologias em fachadas surgem por conta de dos agentes externos, como o calor, humidade e o vento por exemplo. Os revestimentos cerâmicos externos ficam sujeito à exposição climática que varia de acordo com a região. Os elementos climáticos contribuem para o processo de degradação, causando danos direito ao edifício diminuindo a durabilidade do material ali aplicado.

### *2.3.2 Condições Climáticas da Região de Estudo – Distrito Federal - DF*

A norma de desempenho térmico (ABNT, 2005) determina 8 áreas climáticas, chamado de zoneamento bioclimático brasileiro (Figura 2). Esse zoneamento permite organizar e agrupar climas semelhantes estabelecendo diferentes características de construção em função do ambiente.

Figura 2 - Mapa zoneamento biológico brasileiro



Fonte: (ABNT NBR 15220-3):2005.

Onde será realizado o estudo de caso se localiza no zoneamento bioclimático 4 (Figura 3) que abrange apenas 2% do Brasil. Nessa zona se encontra na totalidade o Distrito Federal, parte do Goiás, parte de Minas Gerais e São Paulo.

Figura 3- Mapa com destaque a zona 4 onde se enquadra a cidade de Brasília- DF

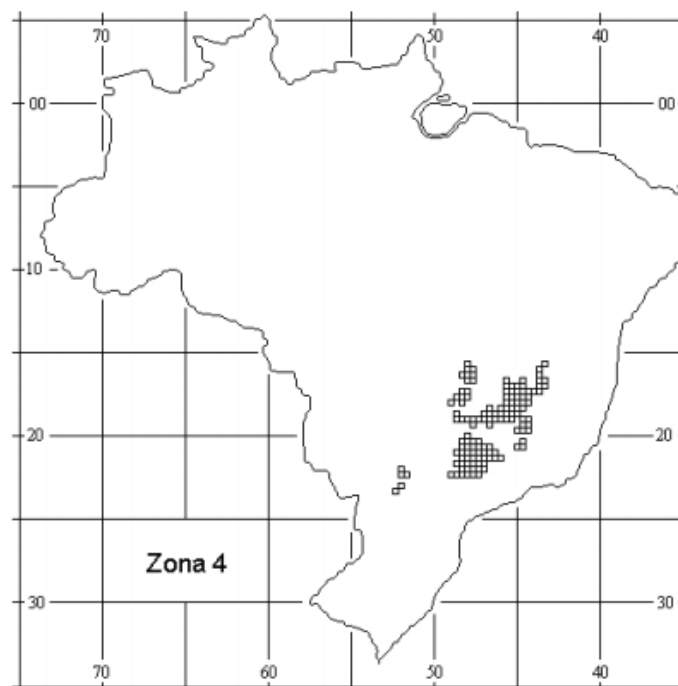


Figura 3 - (ABNT NBR 15220-3:2005)

O Distrito Federal tem uma grande variação térmica, segundo o Instituto Nacional de Meteorologia INMET (2015), a temperatura média nas madrugadas de julho 12,9°C e de 31,3°C nas tardes de setembro.

Os agentes mecânicos, agentes eletromagnéticos, agentes térmicos, agentes químicos e os agentes biológicos são classificados como Agentes de Degradação em Função da Natureza (Tabela 3), eles são um dos grandes fatores para a existência das patologias nas fachadas. Os agentes de procedência são aqueles encontrados na atmosfera, no solo, enquanto ao uso e de projeto (Tabela 4). Esses agentes quando atuam juntos, para os autores, devem ser analisados quanto o nível de agressividade, logo, devem ser levados em conta considerado análises da avaliação da degradação (ASTM, 1996; JOHN *et al.*, 2002; CONSOLI, 2006).

**Tabela 3 – Agentes de degradação em função da natureza**

<b>Natureza</b>	<b>Classe</b>
<b>Agentes mecânicos</b>	Gravidade Esforço e deformações Energia cinética Vibrações e ruídos Atritos
<b>Agentes eletromagnéticos</b>	Radiação Eletricidade Magnetismo
<b>Agentes térmicos</b>	Níveis extremos ou variações muito rápidas de temperatura
<b>Agentes químicos</b>	Água e solventes Agentes oxidantes Agentes redutores Ácidos Bases Sais Quimicamente neutros
<b>Agentes biológicos</b>	Vegetais e microrganismos Animais

Fonte: adaptado da ASTM 632:1996, John *et al.* (2002) e Consoli (2006).

**Tabela 4 – Agentes de degradação da procedência**

<b>Procedência</b>	<b>Classe</b>
--------------------	---------------

<b>Provenientes da Atmosfera</b>	Água no estado líquido Umidade Temperatura Radiação solar – radiação ultravioleta Gases de oxigênio (O, O <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> ) Ácido sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) Gases ácidos Bactérias, insetos Vento com partículas em suspensão
<b>Provenientes do solo</b>	Sulfatos Cloretos Fungos Bactérias Insetos
<b>Provenientes ao uso</b>	Esforços de manobra Agentes químicos normais em uso doméstico
<b>Provenientes do projeto</b>	Compatibilidade química Compatibilidade física Cargas permanentes e periódicas

Fonte: (adaptado da ASTM 632:1996, John *et al.* (2002) e Consoli (2006).

Como as fachadas estão em contato direto com o meio externo, tem uma maior probabilidade de sofrer patologias em sua vida, diminuindo a vida útil da edificação. Podendo reduzir a vida útil das fachadas em mais da metade, podendo atingir sérios níveis de degradação.

## 2.4 Manifestações Patologias comuns em fachadas

As patologias nas fachadas com o revestimento cerâmico são classificadas em dois tipos (GOLDBERG, 1998):

- Estéticas, que geralmente não apresentam riscos para a segurança do prédio, afetam apenas a aparência da edificação;
- Funcionais, são aquelas que não afetam só a aparência, mas também afetam a segurança dos usuários. Essas patologias geralmente são

iniciadas como apenas patologias estéticas, mas com a falta de manutenção vão evoluindo gradualmente.

#### 2.4.1 Fissuras e Trincas

As fissuras (Figuras 4) em fachadas com revestimento cerâmico geralmente acontecem quando existe uma fissura na alvenaria e reflete nas fachadas, geralmente nos encontros dos pilares e alvenarias ou vigas com a alvenaria pela deformação da estrutura e pelos coeficientes de dilatação diferentes.

**Figura 4 - Fissura na fachada de revestimento cerâmico.**



Fonte: Silva (2014).

Carasek (2007) relatou que em edificações as manifestações patologias em fachadas ocorrem após o alívio de tensão pelas alterações dimensionais, deslocamentos e variações de volume ao longo do período em serviço, podendo ocorrer processos físicos-mecânicos ou químicos.

Logo a maioria das vezes o problema não está no revestimento em si, mas na base onde foi aplicado.

A norma de desempenho NBR 15575-4 (ABNT,2013b) menciona sobre as fissuras ou descolamentos toleráveis caso tenha as seguintes características:

- Não detectáveis ao olho nu por um observador posicionado a 1,00 m da superfície do elemento em análise, em um cone visual com ângulo igual ou inferior a 60°, sob a iluminação natural;
- Detectáveis visualmente ou por um exame de percussão (som cavo), desde que não impliquem em descontinuidade ou risco de projeção de material, não ultrapassando área individual de 0,10m<sup>2</sup> ou área total correspondente a 5% do pano de fachada em análise.

Sabbatini e Barros (2001) definiram a diferença de fissuras e trincas, tendo que em vista a diferença de abertura entre elas:

- Fissuras são aquelas que não ultrapassam 0,5mm na abertura apresentada;
- Trincas são aquelas que ultrapassam os 0,5mm na abertura apresentada.

#### *2.4.2 Descolamento (Perda de Aderência)*

A perda de aderência (Figura 5) pode é um processo causado por falhas ou ruptura na interface entre as camadas do revestimento cerâmico. Essa perda de aderência ocorre quando as tensões que surgem ultrapassam a capacidade de aderência das ligações (BARROS, 2001).

**Figura 5 - Descolamento de placas cerâmicas.**



Fonte: Silva (2013)

Para o Centro Cerâmico do Brasil (CCB) os fatores que causam os descolamentos das fachadas são:

- O mau preparo da argamassa colante;
- Utilização da argamassa depois do tempo excedido;
- Técnicas e ferramentas inadequadas;
- Infiltração de água.

Silva (2014) aponta que o descolamento geralmente acontece depois do primeiro ano da ocupação do edifício, ocorrendo casos isolados ou em grandes painéis e correm, em sua maioria, no primeiro e no último pavimento, provavelmente pelo maior nível de solicitação.

#### *2.4.3 Desplacamento*

O deslocamento (figura 6) é considerada a patologia mais perigosa, pois causa danos a integridade física do material, e não só isso, também pode cair sobre uma pessoa que esteja passando no momento da queda.

**Figura 6 - Deslocamento de cerâmica.**



Fonte: Silva (2014)

Essa patologia é causada por muitas interações acontecendo simultaneamente. As prováveis causas para ocorrer o deslocamento da fachada é a falta de aderência entre as camadas, a expansão da cerâmica em virtude da umidade, a retração excessiva da argamassa e as tensões decorrentes do efeito térmico que pode levar todo o sistema de revestimento cerâmico à ruptura por fadiga (FIORITO,1994; SARAIVA, 1998; SILVA, 2000; UCHÔA, 2007; BARBOSA, 2013).

O deslocamento na fachada é visível uma grande distância comparando com as outras patologias. Perde o aspecto estético e a sua função. O destacamento da fachada vertical pode ocorrer a ruptura dos seguintes jeitos:

- Placa cerâmica/argamassa colante;
- Argamassa colante/ emboço;
- Emboço/chapisco;
- Chapisco/substrato.

#### 2.4.4 Falhas nas Juntas

A Falha nas juntas (figura 7) pode acontecer, geralmente, na região de encontros, principalmente nas esquadrias. Essa patologia ocorre devido a fadiga do rejunte por ciclos hidrotérmico; A aplicação do rejunte incorretamente pode implicar um alto índice de porosidade superficial e baixa resistência mecânica; A infiltração de produtos potencialmente agressivos e água. Todas essas ações podem implicar em fissuração e a queda do rejunte da fachada.

**Figura 7 - Falhas nas Juntas de Dilatação.**



Fonte: Silva (2014)

As falhas ocorrentes nas placas cerâmicas pode facilitar a entrada da água, comprometendo a sua verdadeira função e desempenho. Facilitando a entrada de água e ar, pode ocorrer o descolamento nessas áreas de juntas.

#### 2.4.4 Falha de Rejuntamento

O rejunte serve para fazer a impermeabilização do revestimento, evitar a penetração da água para as camadas internas das fachadas (BAUER, BEZERRA e CASTRO, 2006).

A falha nos rejuntos (figura 8) pode ocorrer na ausência ou deterioração do rejunte ao longo do tempo, pela insolação ou pela ação da água ao longo tempo. Em edifícios mais antigos é comum encontrar essa patologia.

**Figura 8 - Falha no Rejunte**

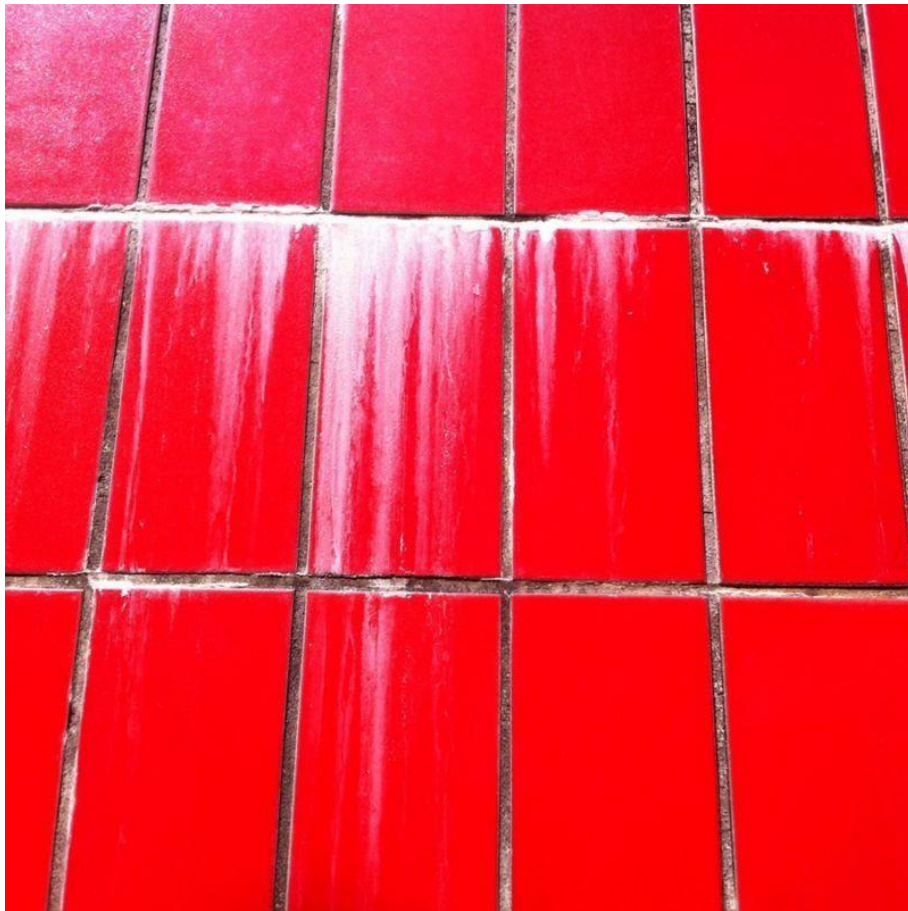


Fonte: Silva (2014)

#### 2.4.5 Manchas na Superfície – Eflorescência

A eflorescência (figura 9) é uma patologia estética, afetando o lado arquitetônico da fachada, mas ela também pode facilitar a manifestação das demais patologias podendo ocorrer até o destacamento. Ocorrem pela falta de acabamento superior da platibanda e peitoris das janelas, como pingadeiras, pode contribuir para as manchas, principalmente nas argamassas e rejuntas (LUZ, 2004).

**Figura 9 - Mancha na Fachada – Eflorescência.**



Fonte: Silva (2014)

#### 2.4.6 Falha na Vedação

A falha na vedação (figura 10) ocorre no encontro com as esquadrias, levando a perda de estanqueidade, podendo ocorrer pela falta de manutenção, a má aplicação e/ou no processo de corrosão de esquadrias metálicas.

**Figura 10 - Falha na vedação**



Fonte: Silva (2014)

#### *2.4.7 Deterioração de Placas Cerâmicas – Gretamento*

O gretamento (figura 11) são pequenas fissuras no elemento cerâmico, podendo ser um defeito de fábrica ou ocorrer ao longo do tempo.

A norma NBR 13813 (ABNT,1997b) determina um limite de 0,6 mm/m para a EPU (expansão por umidade de materiais cerâmicos) obtida por fervura e aconselha que as placas cerâmicas não devem aparentar gretamento durante o uso.

**Figura 11- Gretamento**



Fonte: Silva (2014)

A norma NBR 13813 (ABNT,1997b) determina um limite de 0,6 mm/m para a EPU (expansão por umidade de materiais cerâmicos) obtida por fervura e aconselha que as placas cerâmicas não devem aparentar gretamento durante o uso.

## **2.5 Modelos Desenvolvidos Para Estudo de Degradação em Fachada**

Muitos autores que já vem estudando e aperfeiçoando seus métodos para avaliar, inspecionar e quantificar as degradações em fachadas. No decorrer do tempo alguns autores veem se destacando dos demais como Gaspar e Brito (2008), Taguchi (2010) e Gaspar e Brito (2010).

## **2.6 Modelo Proposto por Gaspar e Brito (2008) e Gaspar e Brito (2010)**

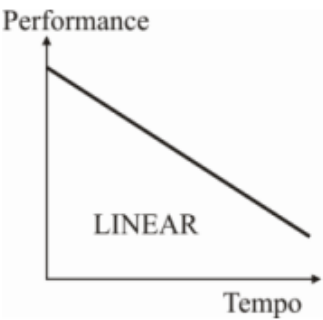
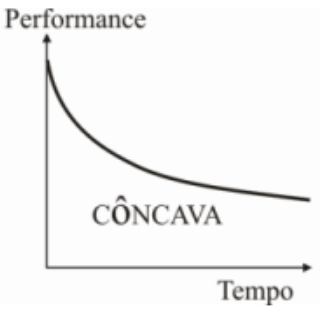
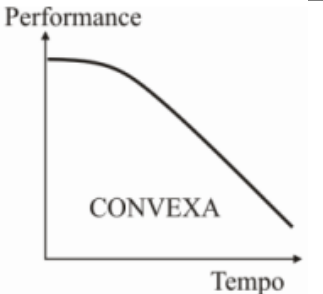
O trabalho realizado por Gaspar e Brito (2008) apresenta uma metodologia que quantifica o nível de degradação das fachadas rebocadas. Os resultados desses estudos, foram de grande relevância, pois com ela obtiveram padrões de degradação

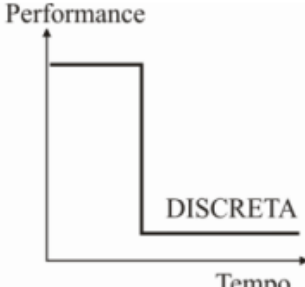
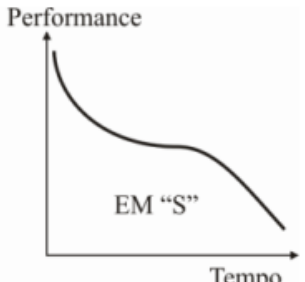
através de curva de degradação e ainda deram o gancho para pesquisas com revestimentos de cerâmica e pedra.

### 2.6.1 Curvas de degradação

Curvas de degradação é um modelo determinado por Brito e Gaspar (2008) (tabela 2.5) que sugere que cada patologia tem um padrão de degradação através de curvas de degradação em cerâmicas e pedras.

**Tabela 4 – Tipos de curva de degradação**

Curvas	Descrição
	<p>A curva de tendência linear apresenta uma constante perda da capacidade funcional ao longo do tempo. Essa curva está associada às ações de agentes atmosféricos permanentes (radiação solar ou ventos)</p>
	<p>Apresenta uma degradação acelerada inicialmente e ao longo de tempo se torna menos acelerada. Exemplos são as manchas e a eflorescência.</p>
	<p>Apresenta uma degradação lenta inicialmente e esse processo de degradação acelera ao longo do tempo. Essa curva é considerada a melhor configuração para representação dos fenômenos de degradação</p>

	<p>Essa curva caracteriza a perda espontânea da sua função, podendo ocorrer em qualquer período da vida útil, fazendo que atinja muito rápido a sua função, antes mesmo da vida útil de projeto.</p>
	<p>Essa curva apresenta fenômenos associados às anomalias que ocorrem em idades recentes. Esses fenômenos estabilizam em determinados períodos e no decorrer do tempo voltam a ficar ativos e passam a apresentar uma evolução acelerada em seu desenvolvimento.</p>

Fonte: (GASPAR; BRITO, 2008)

### 2.6.2 Nível Geral de Degradação de Fachada

Obtendo um modelo de Nível Geral de Degradação (NGD) de fachadas de reboco. Gaspar e Brito (2008) tiveram um levantamento realizado por Silvestre (2005) das fachadas de Portugal. Com esses dados Gaspar e Brito (2008) tiveram um banco de dados de cem prédios da capital de Portugal, Lisboa. Com base nos seus estudos de caso basearam nos seguintes critérios:

- Edifícios com fachada rebocada;
- Não há registros conhecidos de deterioração como resultado de ações acidentais;
- Com registro de ações de manifestação efetuada anteriormente ou a idade da construção.

A última condição é indispensável para o padrão de variação do cálculo de NGD.

#### Calculo de Nível Geral Degradação de Fachada

$$NGD = \sum [(A_n \times K_n \times K_{a,n}) / (A_r \times K)]$$

Eq. 1

Sendo: NGD – Nível geral de Degradação (%);

$A_n$  – Área de uma fachada afetada por n defeitos (m<sup>2</sup>);

$k_n$  – Nível de condição para cada tipo de patologia;;

$k$  – Constante, (k=4);

$k_{a,n}$  – Equivalência ao custo do reparo;

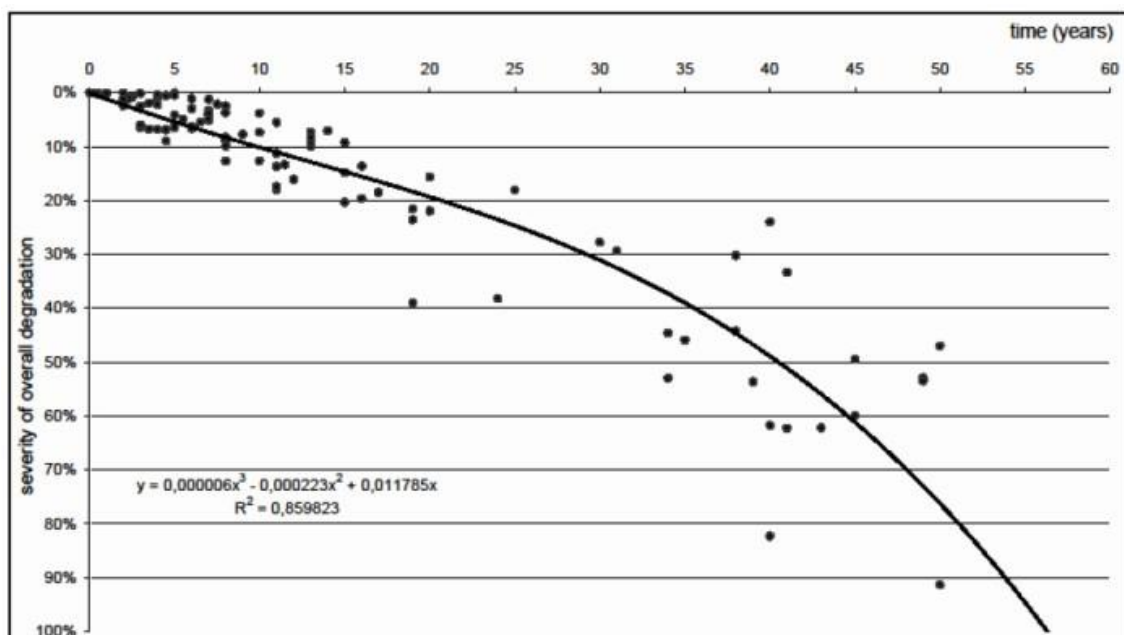
$A_r$  – Superfície da fachada exposta (m<sup>2</sup>).

Em 2011, Gaspar e Brito, apresentam uma nova curva de degradação média para valores determinados do NGD ao longo do tempo como podemos ver no gráfico abaixo (Gráfico 1).

Conforme publicou Gaspar e Brito:

uma vez que diferentes níveis de referências mínimos de desempenho são estabelecidos, os diagramas de dispersão podem fornecer uma metodologia simples para estimar a vida útil e posteriormente a incorporação dos resultados em metodologias que utilizam o método fatorial (GASPAR E BRITO, 2011, p. 1399)

**Gráfico 1 - Nível Geral de Degradação.**



Fonte: Gaspar e Brito (2011)

### 2.6.3 Modelo Proposto por Taguchi (2010)

Em sua dissertação, Taguchi (2010) desenvolveu um modelo de avaliação de fachadas com o revestimento cerâmico baseados em inspeções visuais, qualificando e classificando as patologias. Esse método permite identificar os casos com a maior deterioração através de um Índice de Dano, para obter uma análise mais detalhada e intervenção de reparos, além de um Fator de Deterioração.

Taguchi (2010) deu prioridade em alguns procedimentos de avaliação quantitativo e qualitativo com as seguintes fases:

- Observação visual – verificação preliminar das condições da alvenaria;
- Região criticamente danificada – identificar a extensão do dano na fachada;
- Índice numéricos – determinar valores para cada tipo de dano no elemento ou no conjunto considerado, baseados em observações visuais da intensidade e extensão dos danos;
- Avaliação – quanto a segurança.

A expressão geral para a determinação do índice de performance do elemento (IP) corresponde a soma de todos os fatores para cada tipo de dano  $i$ , como podemos ver na equação,

#### **Cálculo do Índice de Performance do Elemento**

$$IP = \sum D = \sum B_i \times K_{1i} \times K_{2i} \times K_{3i} \times K_{4i} \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

IP - Índice de performance do elemento;

D – Índice dos danos;

$B_i$  – Valor básico associado ao tipo de dano  $i$  (tabela 5);

$K_{1i}$  – Fator da importância do elemento de vedação;

$K_{2i}$  – Fator indicativo da intensidade do dano  $i$  (tabela 6);

$K_{3i}$  – Fator indicativo da extensão do dano  $i$  (tabela 7);

$K_{4i}$  – Fator indicativo da urgência de intervenção para o dano  $i$  (tabela 5).

Para entender melhor os parâmetros usaram-se a também tabela 6.

**Tabela 5– Valor básico associado ao tipo de dano  $i$**

Tipo de dano	$B_i$	Classe de severidade			
		1	2	3	4
		5~10%	11~30%	31~50%	>50%
Umidades	1	Leve, aparente	Leve, aparente	Localizada	Extensas infiltrações
Manchas	1	Leve, aparente	Presença de fungos, mofos, eflorescências	Pintura/textura, desagregados	Extensas manchas de fungos, mofos, eflorescências
Destacamento	2	Leve, aparente	Leve desagregação da cor, textura	Arestas e cantos danificados	Separação de paredes/muros ou revestimento cerâmico, pedra
Fissuras	2	Eventual fissura capilar, <0,1mm	Fissuras visíveis com lente 0,1~0,3mm	Trincas visíveis a olho nu, 0,3~10mm	Fissuras extensas, fragmentação da superfície

Fonte: Taguchi (2010)

**Tabela 6 - Fator indicativo da intensidade do dano  $i$ .**

Classe de severidade	Grau	Critério	$K_{2i}$
0	Não detectado	Não detectado na inspeção visual	0
1	Baixo, inicial	Danos de pequenas dimensões, geralmente visíveis em poucas áreas dos elementos.	0,5
2	Médio, em propagação	Danos de médias dimensões, confinados em ambientes, ou danos de pequenas dimensões visíveis em pequenas áreas dos elementos (<2%)	1
3	Alto e/ou ativo	Danos de grandes dimensões, visíveis em muitos elementos, ou em grandes áreas do elemento (25~75%)	1,5
4	Muito alto ou crítico	Danos muito grandes, visíveis na maior parte dos elementos (>50%)	2

Fonte: Taguchi (2010).

**Tabela 7– Fator indicativo da extensão do dano i.**

<b>Critério</b>	<b>K<sub>3i</sub></b>
Danos confinados em um ambiente	0,5
Danos aparentes em vários elementos da mesma edificação (<25%)	1,0
Danos aparentes em vários elementos da mesma edificação (25~75%)	1,5
Danos aparentes na maioria dos elementos da mesma edificação (>75%)	2,0

Fonte: Taguchi (2010)

**Tabela 8– Fator indicativo da urgência de intervenção para o dano i.**

<b>Critério</b>	<b>K<sub>4i</sub></b>
Intervenção não necessária, danos não afetam segurança, estética e durabilidade.	1
Danos devem ser reparados dentro de um período de 1 ano para prevenção da durabilidade, segurança e funcionalidade.	2 a 3
Reparos imediatos pois estão afetando a segurança e funcionalidade.	3 a 5
Interdição temporária ou limitação de tráfego.	5

Fonte: Taguchi (2010)

### **3 METODOLOGIA**

O trabalho esboça um estudo cujos dados são oriundos de fontes qualitativas, considerando-se, ainda, que na realização da pesquisa, foi obedecido alguns procedimentos: delimitação inicial do tema, levando-se em consideração o interesse; a disponibilidade de tempo; as dificuldades encontradas e a sua aplicação prática. Nesse sentido, avaliou-se a possibilidade e a disponibilidade necessária para obtenção dos dados e se elaborou hipóteses.

Foi realizado também um estudo de campo que começou com a procura de um edifício que possuísse em sua fachada as características necessárias para a elaboração deste estudo, após ser localizado o edifício foi feita uma coleta de dados por meio de investigação documental, investigação de campo e mapeamento. Após a coleta, os dados foram analisados, todos os cálculos necessários foram feitos, inclusive o cálculo do Fator de Danos (FD) e o Fator Geral de Danos (FGD). Após os cálculos realizados, foi possível determinar a curva de vida.

#### **3.1 Estudo de Caso**

O edifício analisado foi condomínio SQS 102 Bloco H e SQS 102 Bloco I (Figura 12), que apresenta níveis críticos de degradação da fachada. Mediante a solicitação pela Agência de Fiscalização do Distrito Federal, AGEFIS, interditou-se a área frontal (prumada nascente) da fachada, por causa do deslocamento do revestimento cerâmico, garantindo a segurança dos pedestres que ali passam.

**Figura 12 - Condomínio SQS 102 Bloco H e SQS 102 Bloco I.**



Fonte: Google Mapas

## **3.2 Levantamento de Dados**

### *3.2.1 Investigação documental*

O edifício escolhido para análise está localizado em Brasília-DF no endereço SQS 102 Bloco H e Bloco I. As coordenadas geográficas são 15°48'29" e 47°53'20" com altitude 1160m. Essa edificação é composta por blocos, 6 pavimentos tipos, 1 pilotis com 6 entradas totalizando 72 apartamentos e um subsolo. A área de fachada com o revestimento cerâmico corresponde um total de 1869m<sup>2</sup>.

O clima que se encontra nessa região é totalmente tropical, por isso Brasília possui duas estações que se destacam: quente e seca nos meses de maio a setembro e quente-úmida nos meses de outubro a abril.

### 3.2.2 Investigação de campo

Para a inspeção de campo foi utilizado:

- Binóculos;
- Câmera fotográfica;
- Câmera especial (termografica);

Para melhor análise dados obtidos serão divididos em:

- Orientação;
- Prumada;;
- Empena;

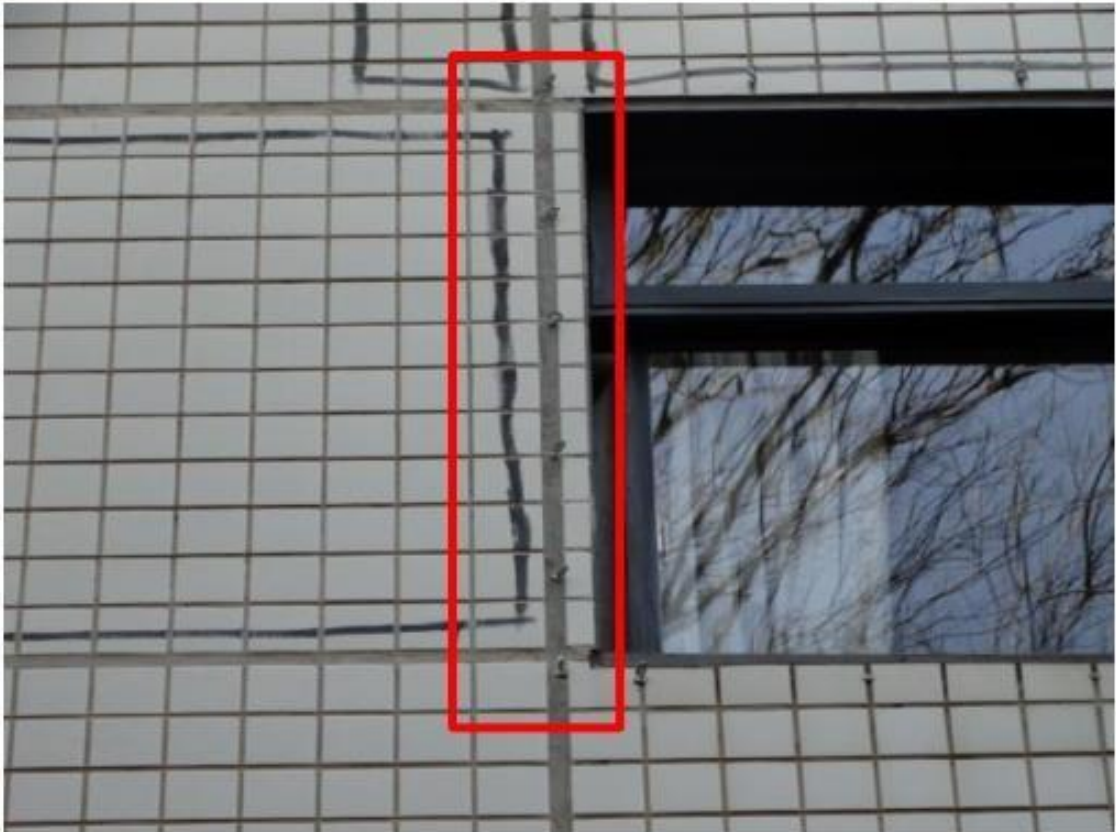
Com a inspeção visual foi encontrado alguns danos causados pelos moradores, tanto no revestimento cerâmico (figura 14) quanto nas juntas de dilatação (figura 15), para fazer o uso do ar condicionado e redes de proteção (anexo 1).

**Figura 13 - Retirada de ceramica para o uso de ar condicionados.**



Fonte: TECNOPLAN (2017)

**Figura 14 - Danificação da junta de dilatação para o uso de rede de proteção.**



Fonte: TECNOPLAN (2017)

Os danos encontrados na fachada desse edifício não foram só por causa do mau uso dos moradores. Também foi encontrado um grande nível crítico de deslocamento (figura 16).

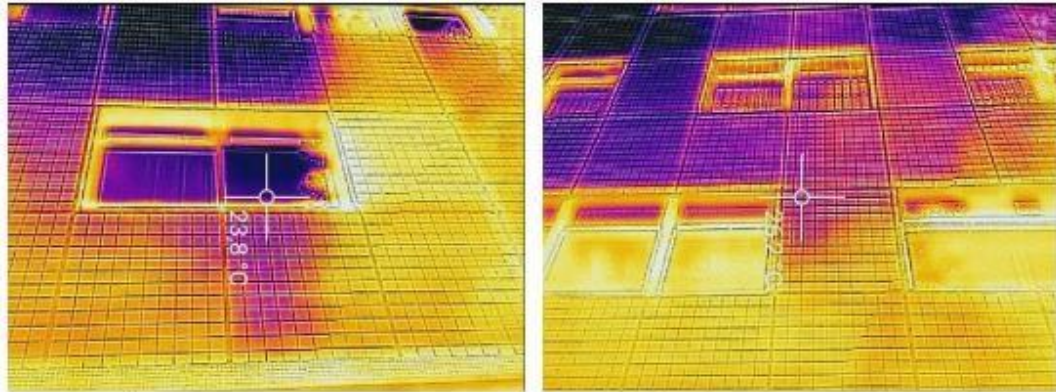
**Figura 15 - Deslocamento Encontrado no Edifício Analisado.**



Fonte: TECNOPLAN (2017)

Com a utilização de uma câmera de infravermelho foi possível detectar onde o revestimento cerâmico está tendo a perda de aderência (figura 17). Com a diferença térmica, a imagem indica claramente a região danificada representada pela cor mais escura como o roxo e o preto.

**Figura 16 - Utilização de Câmera de Infravermelho**



Fonte: TECNOPLAN (2017)

### **3.3 Ensaio de Percussão**

A técnica de percussão tem como o objetivo de uma rápida verificação das condições de aderência do revestimento. Utilizando um martelo metálico, dando uns impactos leves no revestimento cerâmico, escutando o som se apresenta um som cavo e oco, o que indica a falta de aderência entre o revestimento de argamassa e a peça cerâmica.

A figura 18 mostra o ensaio de percussão sendo realizado no edifício. A imagem mostra a equipe fazendo as marcações através da verificação do som, áreas que apresentam som cavo, outras apresentam o som oco.

**Figura 17 - Ensaio de Percussão.**



Fonte: TECNOPLAN (2017)

Com a técnica de percussão foi realizado as demarcações com tinta, identificando as áreas comprometidas (figura 19).

**Figura 18- Identificação das áreas comprometidas.**



Fonte: TECNOPLAN (2017)

### **3.4 Ensaio de Resistência a Tração**

De acordo com a norma NBR 13.528 (ABNT, 2010) que fala sobre Revestimento de parede e tetos de argamassas inorgânicas (figura 20) – Determinação da resistência de aderência á tração, foi retirado um total de 6 corpos-de-prova com medidas de 100mm x 100mm, distribuídos de forma aleatória e espaçados entre si.

**Figura 19 - Ensaio de Aderência.**



Fonte: TECNOPLAN (2017)

### **3.4 Mapeamento de Danos**

O mapeamento dos danos patológicos tanto nas empenas como nas prumadas é feito com a inspeção visual. O mapeamento serve para atender o processo metodológico, por isso, é importante ressaltar a orientação da fachada, pois o lado poente tende a ter maiores danos patológicos do que a nascente.

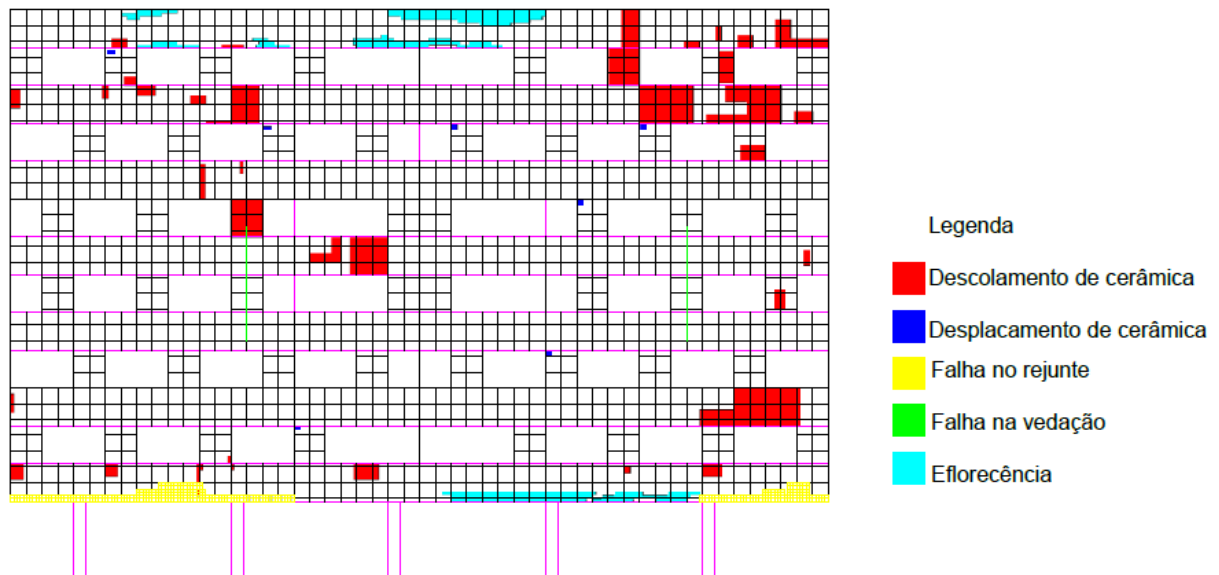
A pruma é dividida em partes iguais para facilitar o cálculo da área danificada. Esta técnica foi desenvolvida por Gaspar e Brito (2008) com o objetivo de otimizar os cálculos.

Após a divisão da fachada com revestimento cerâmico afetada foi utilizado o método de sobreposição de malhas (figura 21). Esse método serve para facilitar e agilizar o processo de quantificação de danos na fachada. Com o desenho da fachada é colocado malhas (com dimensão pré-definida) sobre ela, e assim, quantificando o dano causado.

Não pode usar uma malha com a área muito grande, pois com a área maior condenará áreas da fachada que não apresenta patologias e se colocar uma área muito pequena o cálculo será mais minucioso, mas não compensa por causa da demora. Teste de malhas foram feitas como de 1,50mx1,50m; 1,00mx1,00m e de 0,20mx0,20m. A malha que vai ser utilizada vai ser de 0,50m X 0,50m, dando uma área de 0,25m<sup>2</sup>, pois a diferença de erro é pequena comparada a menor malha testada (Anexo 2).

Para classificar os danos irei utilizar uma legenda de cores (figura 21) para cada tipo de patologia.

**Figura 20 - Sobreposição de Malhas e Legenda de Cores.**



Fonte: Próprio Autor (2017).

### 3.4 Tratamento dos Dados

#### 3.4.1 Cálculo da área total e o Cálculo da área danificada

Para calcular a fachada foi feito o calcula da área geral, de cada uma das faces da fachada e depois foi retirada a área das esquadrihas que tinham na fachada. As empenas da fachada são cegas, ou seja, não possui esquadrihas.

A área total da fachada com o revestimento é de 1869 m<sup>2</sup>, sendo 36m<sup>2</sup> tanto para empena norte quanto para empena sul e 912 m<sup>2</sup> de fachadas da prumada do lado nascente e do poente.

#### 3.4.2 Cálculo do Fator de Dano

O Fator de Dano (FD) serve para dar a primeira ideia, noção, da danificação da fachada. O fator de dano é a razão da área danificada pela área total das fachadas

(empenas e prumadas) e o resultado é dado em porcentagem. Com isso conclui que cada vez maior o fator de dano maior será o estágio de degradação.

#### Cálculo do Fator de Dano

$$FD = \frac{A_d}{A} \times 100 \quad \text{Eq. 3}$$

Onde:

FD – Fator de Dano (%);

$A_d$  – Área de manifestação patológica (m<sup>2</sup>);

A – Área total da fachada com revestimento cerâmico (m<sup>2</sup>).

#### 3.4.3 Cálculo do Fator Geral de Dano

O modelo Fator Geral de Dano (FGD) retirado na tese de doutorado da Maria de Nazaré Batista da Silva (2014), consiste em calcular a degradação da fachada com revestimento cerâmico ponderando pesos para cada tipo diferente de patologia.

Os pesos para calcular o FGD é o custo relativo do reparo e a gravidade que a patologia apresenta. Com esses dois parâmetros é possível estabelecer um grau de dano das fachadas com revestimento cerâmico e assim encontrar a velocidade que ocorre o processo de degradação. Esses resultados podem ser obtidos pela inflexão das curvas de degradação.

O FGD é um somatório de todas as anomalias presentes na fachada de revestimento cerâmico.

#### Cálculo do Fator de Dano

$$FGD = \sum \frac{A_n \times K_n \times K_{c,n}}{A \cdot K}$$

Eq. 4

onde:

FDG – Fator de Dano Geral (%);

$A_n$  – Área da fachada afetada pela patologia ( $m^2$ );

$k_n$  – Nível de condição para cada tipo de patologia;

k – Constante (k=4);

$k_{c,n}$  – Custo relativo de reparo das anomalias;

A - Área de amostra de fachada.

O  $k_n$  foi determinado por Sousa (2008) e adaptado pela Maria Nazaré da Silva para o estudo em Brasília. Esse coeficiente serve para determinar o ponderar o peso para diferentes patologias como mostra na tabela 9.

O k é variável de 0,00 a 4,00, sendo que:

- 0 = sem danos visíveis;
- 1 = dano de nível inicial;
- 2 = dano de nível em propagação;
- 3 = dano de nível alto;
- 4 = dano de nível crítico.

**Tabela 9 – Gravidade de cada patologia.**

Nível de condição (k)	Tipo de dano	Nível de ponderação da extensão do dano ( $k_n$ )	Custo de reparo (R\$/m <sup>2</sup> )	Fator relativo de custo de reparo ( $k_{c,n}$ )
Nível 0 – Melhor condição	Degradação não detectável visualmente	-	-	-
Nível 1 – Boa condição	-	-	-	-
Nível 2 - Degradação suave	Falha de rejunte	0,20	8,40	0,06
	Eflorescência		16,00	0,12
	Falha de vedação		10,90	0,08
Nível 3 - Degradação elevada	-	-	-	-
Nível 4 – Degradação grave (extrema)	Fissuras	4,00	136,70	1,00
	Descolamento cerâmico		113,00	0,82

Fonte: Silva (2014)

Para o presente estudo, onde a prumada nascente está condenada por causa do nível crítico de deslocamento, por isso a constante assume o valor  $k=4,00$ .

Para determinar o fator relativo de custo ( $k_{c,n}$ ) é preciso fazer um composição de custos de todas as anomalia por  $m^2$  para determinar o custo de reparo (R\$/ $m^2$ ), ou seja, saber o preço do  $m^2$  para poder curar doença da fachada. Esta variável é achada pela proporção do custo mais elevado entre todas as patologias. Por tanto o valor mais alto do  $k_{c,n} = 1,00$  e os demais  $k_{c,n}$  serão proporcional dele.

Para um melhor esclarecimento do uso dos pesos de cada anomalia para o cálculo do FGD, a tabela 10 será apresenta para esse estudo de caso.

**Tabela 10 - Composição de valores para o cálculo do FGD.**

Tipo de Dano	An( $m^2$ )	A( $m^2$ )	FD(%)	Kn	K	Preço Uni (R\$/ $m^2$ )	Kc,n
Descolamento Cerâmico	752,53	1843,2	40,83%	4	4	123,21	1
Falha de Rejunte	145,24		7,88%	0,2		10,58	0,09
Fissuras	-		0,00%	4		-	-
Eflorescência	31,2		1,69%	0,2		17,42	0,14
Falha de Vedação	8,21		0,45%	0,2		14,22	0,12

Fonte: Próprio Autor (2017).

#### Equação 5: Cálculo do Total do Fator Geral de Dano

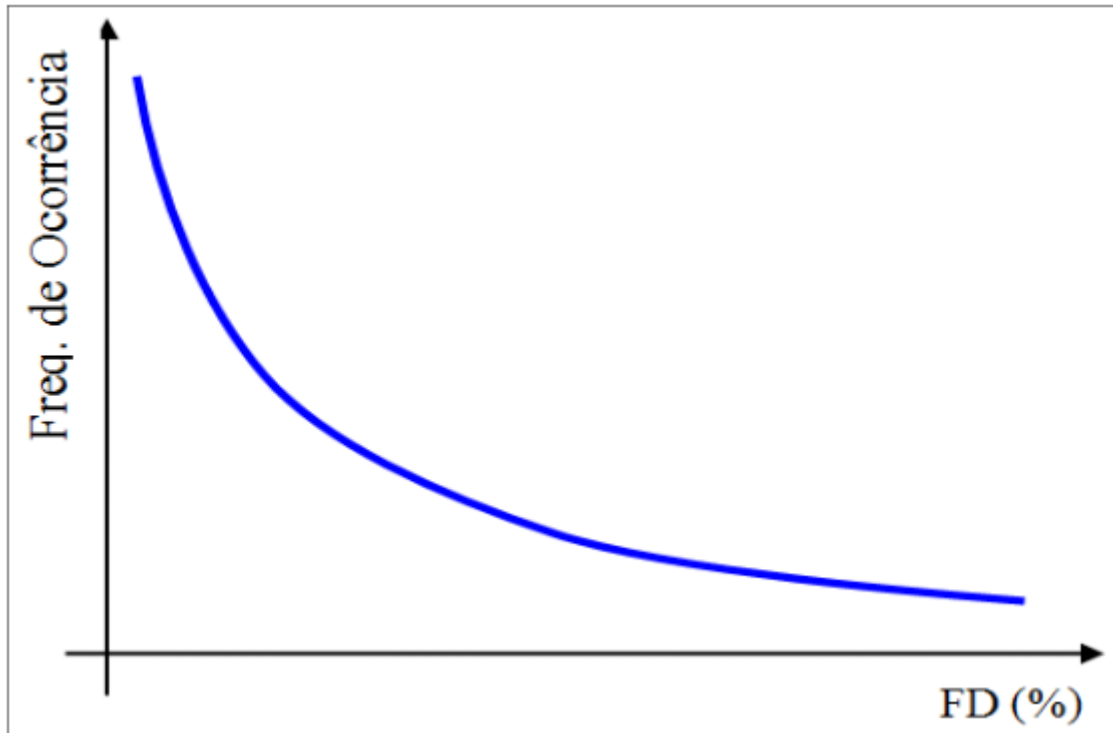
$$FGD_{TOTAL} = \frac{(752,53 \times 4 \times 1 + 145,24 \times 4 \times 0,09 + 31,2 \times 4 \times 0,14 + 8,21 \times 4 \times 0,12) \times 100}{1843,2 \times 4} = 41,79\%$$

Na presente amostra não tem presença de fissura na fachada.

### 1.1 Resultados

Na pesquisa da Maria Nazaré da Silva (2014) que a curva para o cálculo do fator de dano tem a tendência que pode ser representada pelo gráfico 2 quando maior o fator de dano menor a ocorrência.

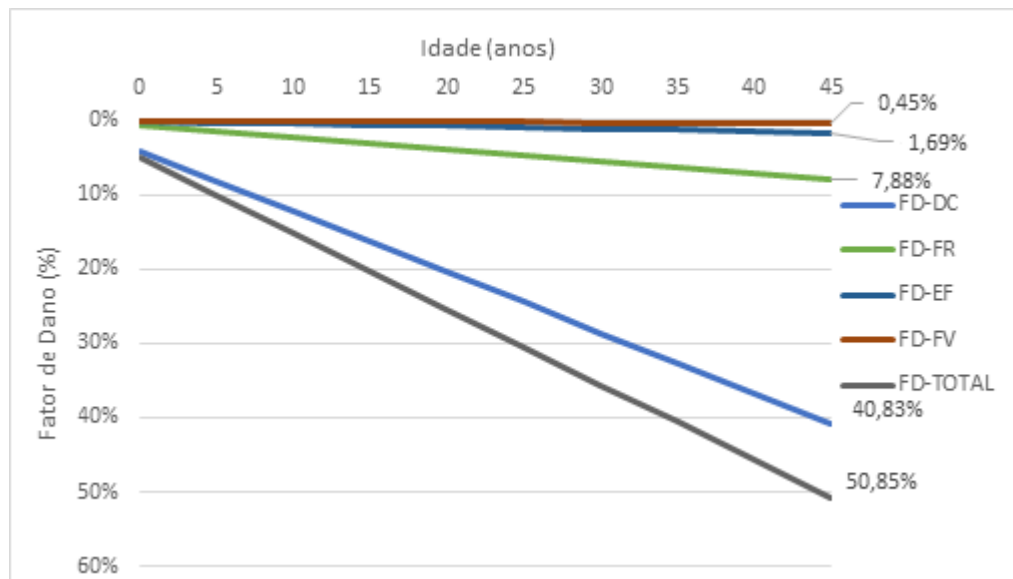
**Gráfico 2- Tendência do comportamento do Fator de Dano**



Fonte: Silva (2014)

Com a idade do edifício condomínio bloco H e bloco I é de aproximadamente de 45 anos, foi de extrema relevância o cálculo do FD individualmente (tabela 11), para poder saber qual a patologia que mais danifica a fachada. Para entender melhor o gráfico 3, foi feito a seguinte legenda:

- ✓ Fator de Dano de descolamento de cerâmica - FD-DC;
- ✓ Fator de Dano de falha de rejunte – FD-FR;
- ✓ Fator de Dano de fissuras - FD-FI;
- ✓ Fator de Dano de eflorescência – FD-EF;
- ✓ Fator de Dano de falha de vedação – FD-FV;
- ✓ Fator de Dano total - FD-TOTAL.

**Gráfico 3 – Patologias e Graus de Manifestação**

Fonte: Próprio Autor (2017)

Com esse gráfico, é possível ver que a patologia que mais se manifesta é a de deslocamento da cerâmica na fachada. O deslocamento é correspondente por 80,34% do fator de dano total.

A desvantagem do cálculo do fator de dano (FD) é que não pondera o grau de gravidade para cada tipo de patologia. Com a ponderação o resultado poderia ser melhor qualificado.

Depois dos estudos de Silva (2014), que fez um estudo com 90 amostras de fachada e estabeleceu um padrão de curva média para definir a idade de fachada com revestimento cerâmico em Brasília-DF. Com esse estudo, Silva (2014) estabeleceu uma equação para determinar a vida útil mínima de fachada com revestimento cerâmico. Essa equação é limitada pela Norma NBR 15575 (ABNT, 2013<sup>a</sup>).

#### **Equação 6: Somatória do Fator Geral de Dano Total com a Idade da Amostra**

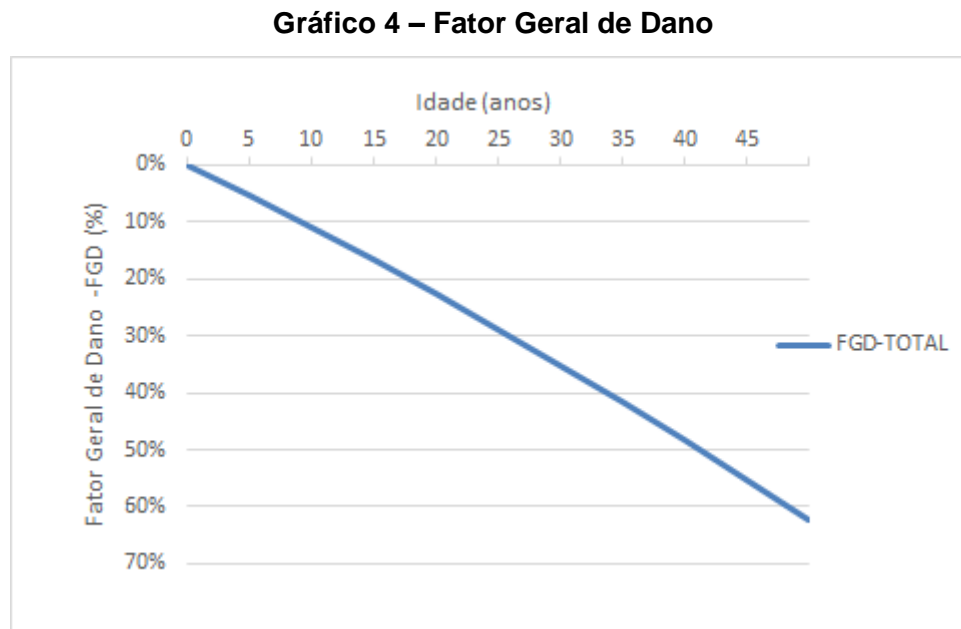
$$FGD - TOTAL = 0,00003910^2 \times ID + 0,01051050 \times ID$$

Onde:

FGD – TOTAL = Fator geral de dano (%);

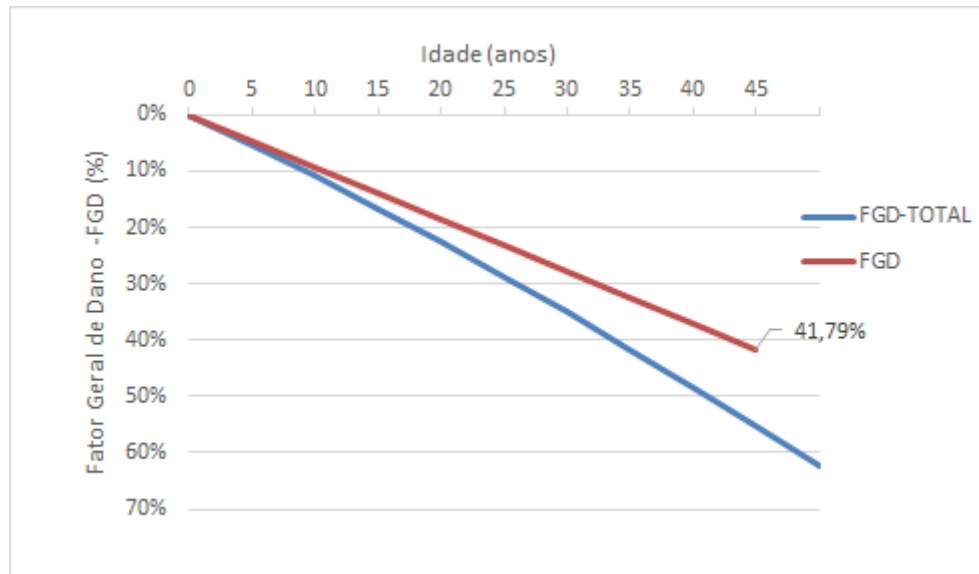
ID – Idade da amostra da fachada (anos).

Essa equação apresenta um gráfico do seguinte tipo;



Fonte: Silva (2014)

Com o FDG =41,79 que foi calculado na tabela 11, podemos observar que o dano está próximo à curva prevista pela doutora, dando uma diferença aproximada de 5 anos.

**Gráfico 5 – FGD Total x FGD**

Fonte: Próprio Autor(2017).

## 4 CONCLUSÃO

Manifestações patológicas encontradas na edificação que serve de base de estudo tais como a eflorescência, falha no rejunte e o grietamento, não são de grande nível de degradação, mas podem ser o início para a presença de patologias que apresentam um nível de crítico com a descolamento e o deslocamento.

O cálculo do fator de dano (FD) generaliza os danos, dando a mesma importância para todas as patologias, e por ele apresenta uma faixa de erro quanto a preocupação.

Com o cálculo do FD separadamente, conclui-se que o deslocamento cerâmico foi o de maior evidência, correspondente a 80,34% do fator de dano total.

O cálculo do fator geral de dano (FGD) deu um resultado mais preciso em relação a degradação da fachada, pois pondera cada tipo de patologia. A margem de erro entre o fator de dano e o fator de dano geral foi de 1,22 vezes.

Com o resultado do fator geral de dano (FGD = 41,79%), em comparação a curva estabelecida por Silva (2014), apresenta uma curvatura na média prevista para a região do Distrito Federal.

No condomínio SQS 102 bloco H e bloco I apresentou manifestações patológicas generalizadas, mas apenas na prumada nascente que foi possível observar o deslocamento.

Por falta de manutenção periódica, a fachada apresenta em um estado grave de danos que poderiam ser evitados.

## 5 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Como sugestões para pesquisas futuras é recomendado:

- Comparar as fotos termográficas com o ensaio de percussão;
- Comparar níveis de manifestação patológica de cerâmica de cor clara com cerâmica de cor escura;
- Estabelecer novos modelos de cálculo de degradação;
- Determinar curvas de degradação para cada tipo de manifestação patológica.

## 6 BIBLIOGRAFIA

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12721**: Avaliação de custo unitários de construção – Procedimento. Rio de Janeiro 2007.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13528**. Revestimentos de Parades de Argamassas Inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à Tração. 2010.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13755**: Revestimento de paredes externos e fachadas com placas cerâmicas e com utilização de argamassas colantes – Procedimento. Rio de Janeiro, 1997a.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13816**: Placas cerâmicas para revestimento – Terminologia. Rio de Janeiro, 1997b.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações. Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social, 2005.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575-1**: Edifícios habitacionais – Desempenho – Parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013a.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575-3**: Edifícios habitacionais – Desempenho – Parte 4: Sistemas de vedações verticais externas e internas. Rio de Janeiro, 2013b.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5674**: Manutenção de edifícios. Procedimento. Rio de Janeiro, 2012.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7200**: execução de revestimento de paredes e tetos de argamassa inorgânicas – Procedimentos. Rio de Janeiro, 1998.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14037**: Diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações. Requisitos para elaboração e apresentação dos conteúdos, 2011.

ALMEIDA, G. D. **Metodologia de Controle de Qualidade de Revestimentos Argamassados em Parede**. Monografia de Projeto Final, Universidade de Brasília, Brasília, 1994, 185p.

ANTUNES, G. R. **Estudo de manifestações patológicas em revestimento de fachada em Brasília**: sistematização da incidência de casos. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Brasília, 2010, 166p.

ASTM. American Society for Testing and Materials. **E 632-82: Standard Practice for Developing Accelerated Tests to aid Prediction of the Service Life of Building Components and Materials**, Philadelphia, 1996.

BARBOSA, A. S. **Estudo numérico-computacional e analítico do choque térmico em fachadas de edificações**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 2013, 275p.

BARROS, M. M. S. B.; SABBATINI, F. H. **Produção de revestimentos cerâmicos para paredes de vedação em alvenaria: diretrizes básicas**, 2001.

BAUER, E; BEZERRA, N. M.; CASTRO, E. K. **Relatório técnico: n.º 06090072-c**. Laboratório de Ensaios de Materiais, Universidade de Brasília, Brasília, 2006b.

BORDALO, R.; BRITO, J. P.; GASPAR, L.; SILVA, A. **Abordagem a um modelo de previsão da vida útil de revestimentos cerâmicos aderentes**. Teoria e Prática na Engenharia Civil. Portugal, 2010, n.16, pp. 55-69.

BRAGA, D. K.; AMORIM, C. N. D. **Conforto térmico em edifícios residenciais do plano piloto de Brasília**. In: I Conferência Latino-americana de Construção Sustentável e X Encontro Nacional de Tecnologia de Ambiente Construído, Anais. São Paulo, ENTAC 2004.

CHAGAS, S. V. M das. **Estudo e Proposta de um Modelo de Resistência a Fadiga de Argamassas de Revestimento e Estado Plano e Tridimensional de Tensões**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 2009, 173p.

CONSOLI, O. J. **Análise da durabilidade dos componentes de fachadas de edifícios, sob a ótica do projeto arquitetônico**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

FERREIRA, P. C. **Alguns dados sobre o clima para a edificação em Brasília**. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UNB. Brasília, 1965, 103 p.

FIORITO, A. J. S. L. **Manual de argamassa e revestimentos: estudos e procedimentos de execução**. PINI, São Paulo, 1994.

GASPAR, P. L.; BRITO, J. **Durabilidade, estados limites e vida útil de rebocos em fachadas**. APFAC, 2010.

GASPAR, P. **Vida útil das construções: desenvolvimento de uma metodologia para a estimativa da durabilidade de elementos da construção**. Aplicação a revoco de edifícios corretes. Dissertação de Doutorado em Construção, IST, 2009.

GASPAR, P.; BRITO, J. **Quantifying environmental effects on cement-rendered facades**: a comparison between different degradation indicators. *Building and Environment*, v. 43, n. 11, 2008.

GOLDBERG, R. P. **Direct adhered ceramic tile, stone and thin brick facades. Technical Design Manual**. LATICRETE International, Inc. USA. 1998.

GUIMARÃES, L. E. **Avaliação comparativa de grau de deterioração de edificações – Estudo de caso**: prédios pertencentes á Universidade Federal de Goiás. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2003,186p.

GUIMARÃES, L. E.; CARASEK, H.; CASCUDO, O. **Proposta de Metodologia para Avaliação Comparativa de Grau de Deterioração em Edificações**. Mérida, 2003. V2. P.9-16.

INMET – **Instituto Nacional de Metereologia**. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/html/clima.php#>>. Acesso em: 16 de novembro de 2013.

JOHN, V.M.; SJÖSTRÖM, C.; AGOPYAN, V. **Durability in the built environment and sustainability in developing countries**. 9DBMC, 2002.

LOPES, B. A. R. **Patologia de Estruturas. Curso de Extensão – Patologia e Peívia de Estruturas de Concreto**. Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil, Universidade de Brasília e Instituto de Engenharia de Avaliação e Perícia, 2005.

LUZ, M. A. **Manifestações Patológicas Em Revestimentos Cerâmicos de Fachada em Três Estudos de Caso na Cidade de Balneário Camboriú**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

MEDEIROS, J. S.; SABBATINI, F. H. **Tecnologia e projeto de revestimentos cerâmicos de fachadas de edifícios**. Boletim Técnico: BT/PCC/246. São Paulo: EPUSP, 1999, 28p.

SABBATINI, F, H. **Tecnologia de execução de revestimentos de argamassa**. In: Simpósio de Aplicação de Tecnologia do Concreto, Campinas, Anais... 13º SIMPATCON, 1990.

SABBATINI, F. H.; BARROS, M. M. S. B. **Produção de revestimentos cerâmicos para paredes de vedação em alvenaria: diretrizes básicas**. Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2001.

SILVA, A. F. F. S. **Previsão da vida útil de revestimentos de pedra natural de paredes**. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Porto, Portugal, 2009.

SILVA, Maria de Nazaré Batista da. **AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DA DEGRADAÇÃO E VIDA ÚTIL DE REVESTIMENTOS DE FACHADA – APLICAÇÃO AO CASO DE BRASÍLIA/DF**. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília UNB. BRASÍLIA – DF. 2014.

SILVESTRE, J. **Sistema de Apoio à Inspeção e Diagnóstico de Anomalias em Revestimentos Cerâmicos Aderentes**. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2005.

SOUSA, R. D. B. **Previsão da vida útil dos revestimentos cerâmicos aderentes em fachadas**. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal, 2008.

TAGUCHI, M. K. **Avaliação e qualificação das patologias das alvenarias de vedação nas edificações**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2010.

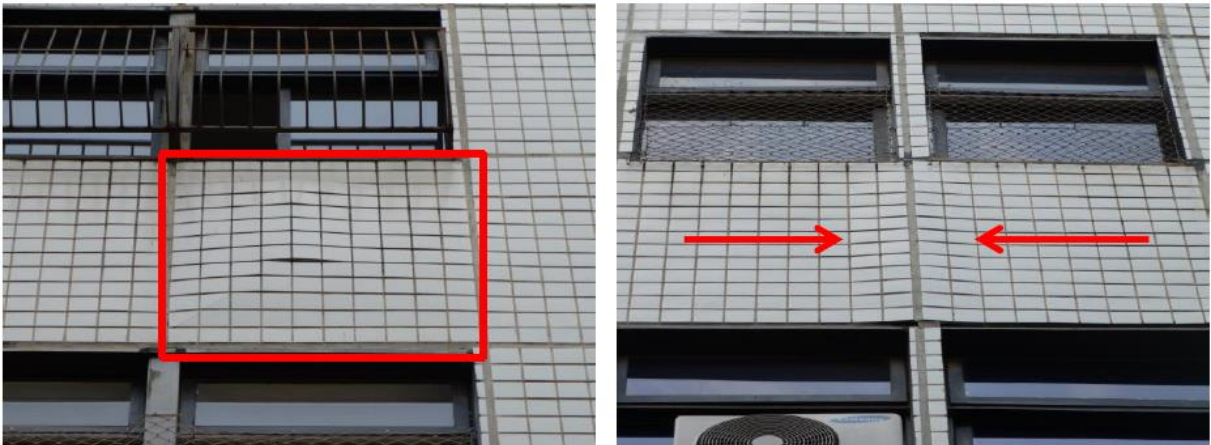
## ANEXO 1

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS ENCONTRADAS NA INSPEÇÃO *IN LOCO*

Nas figuras A-1, A-2, A-3, A-4 são manifestações patológicas encontradas no Condomínio SQS 102 Bloco H e Bloco I



Figura 21 - Manifestação Patológica





## ANEXO 2

## MODELO DE SOBREPOSIÇÃO DE MALHA EM MAPEAMENTO

Na figura B-1, B-2, B-3, B-4, B-5 e B-6 são apresentados a fachada nascente, da direita para a esquerda respectivamente.

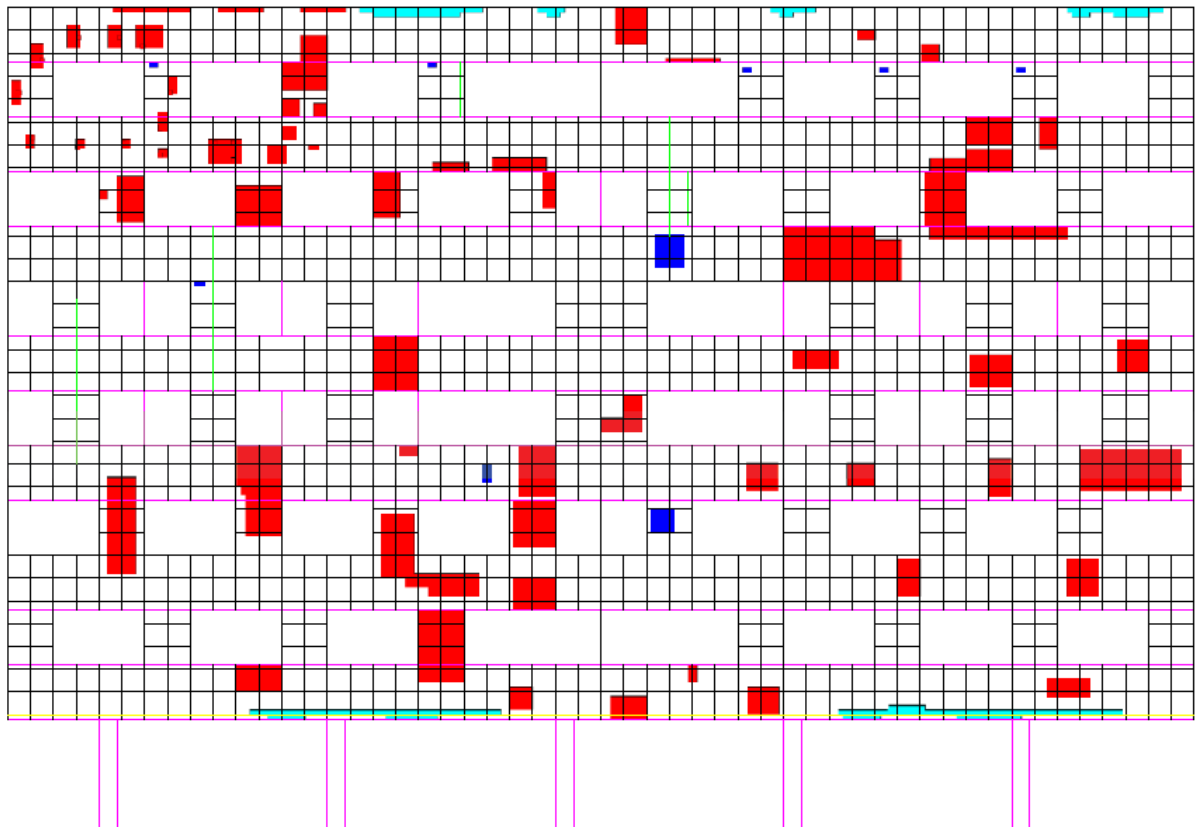


Figura B-1 – Sobreposição de malha em mapeamento da amostra.

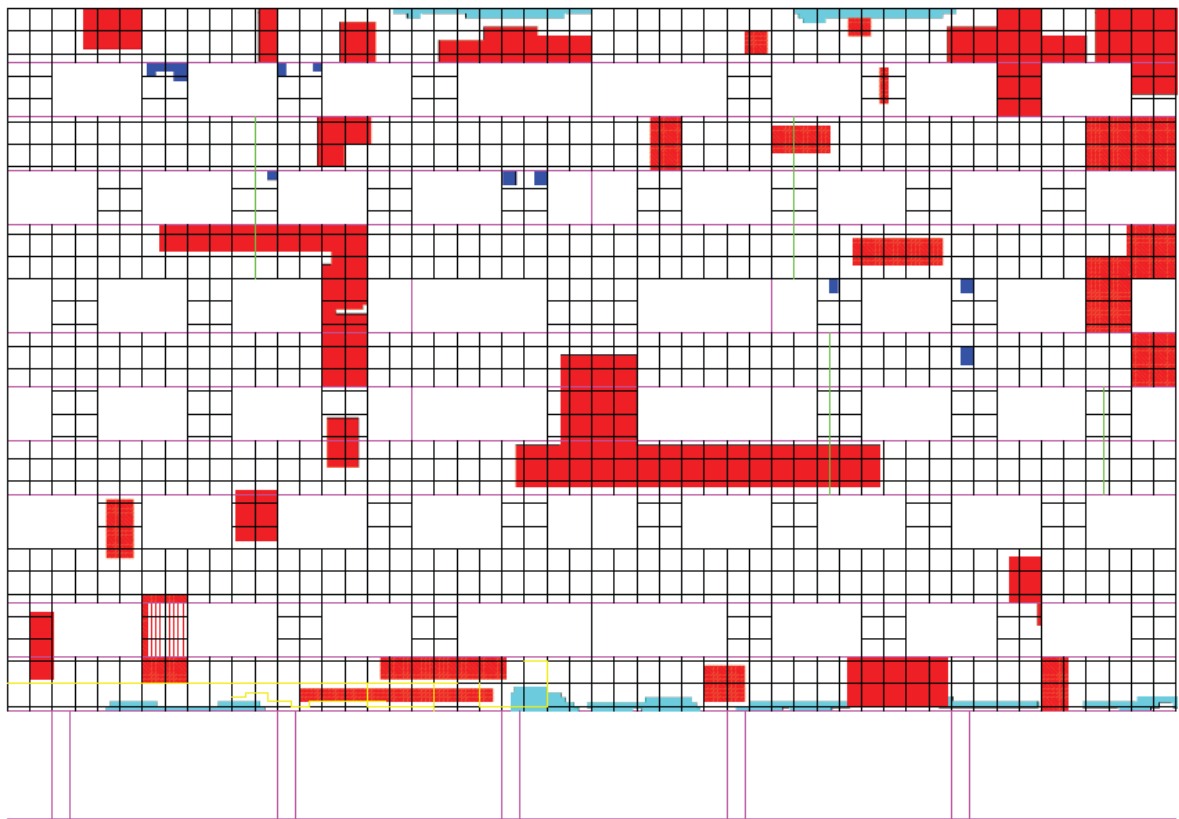


Figura B-2 – Sobreposição de malha em mapeamento da amostra.

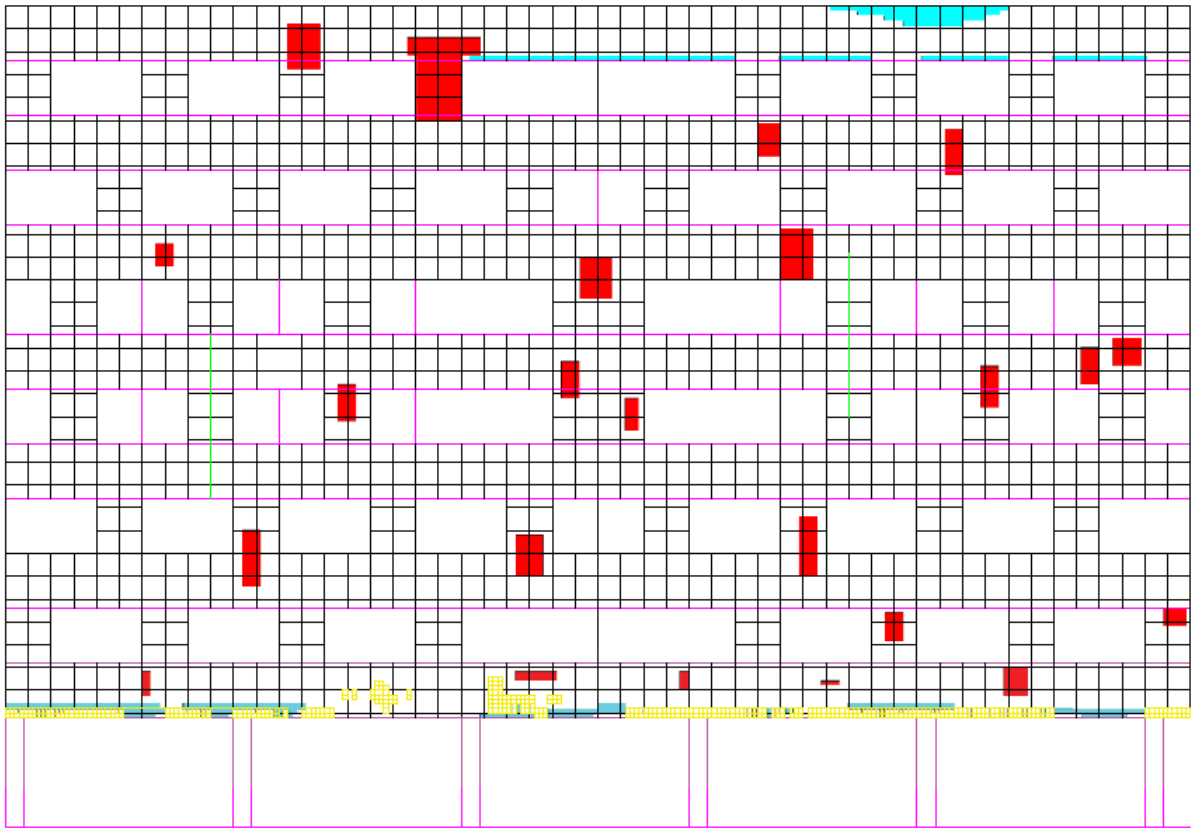


Figura B-3 – Sobreposição de malha em mapeamento da amostra.

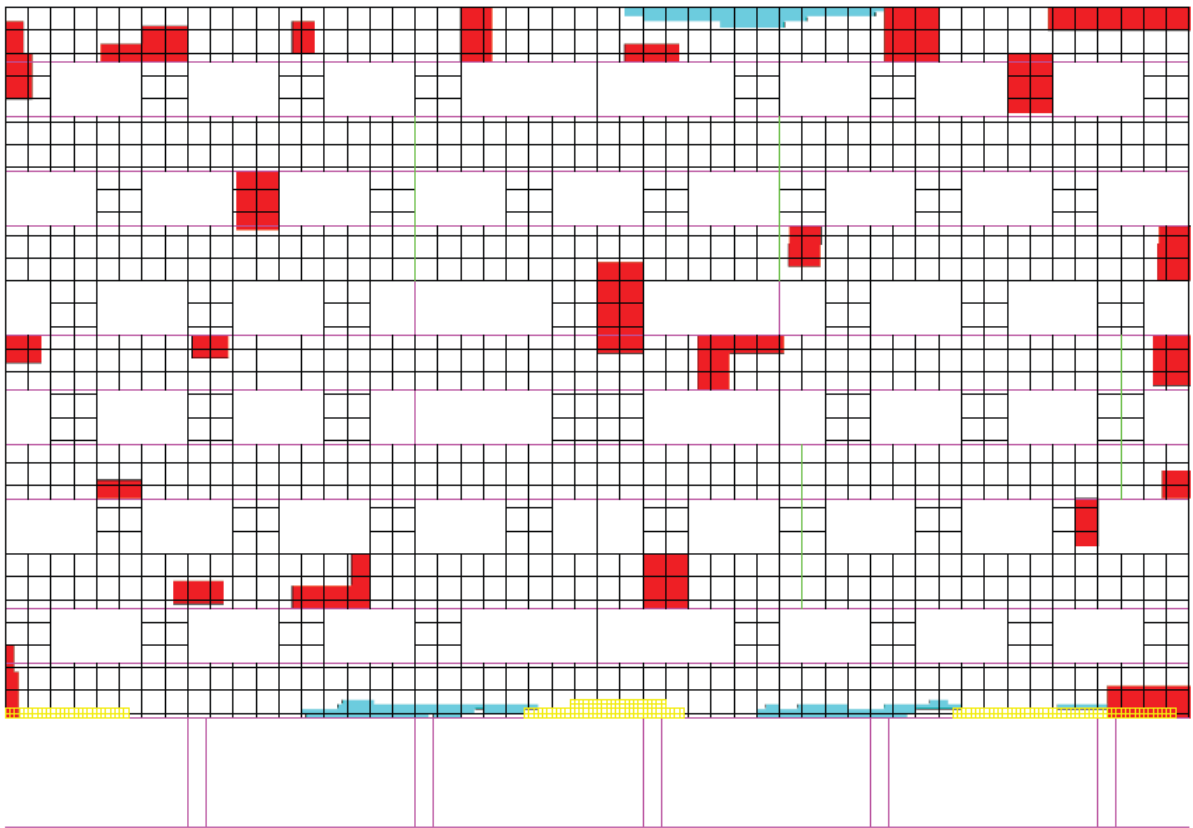


Figura B-4 – Sobreposição de malha em mapeamento da amostra.

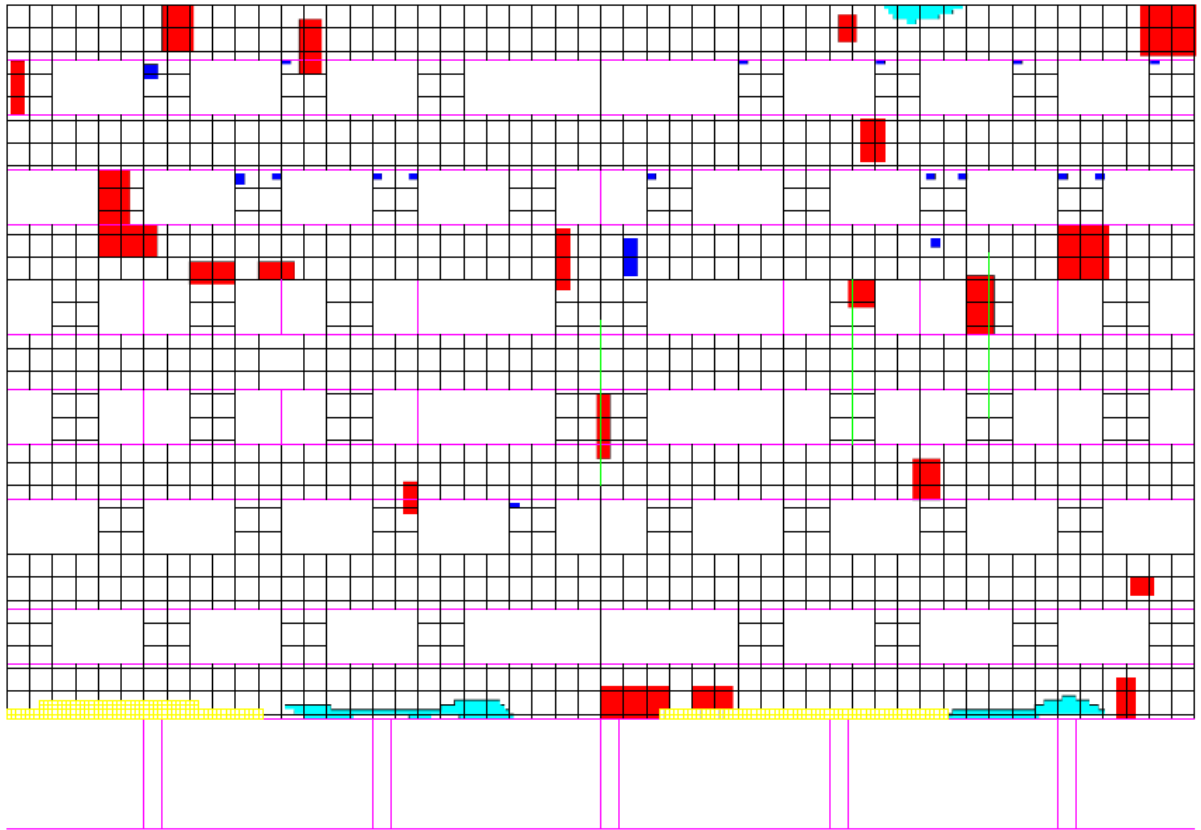


Figura B-5 – Sobreposição de malha em mapeamento da amostra.

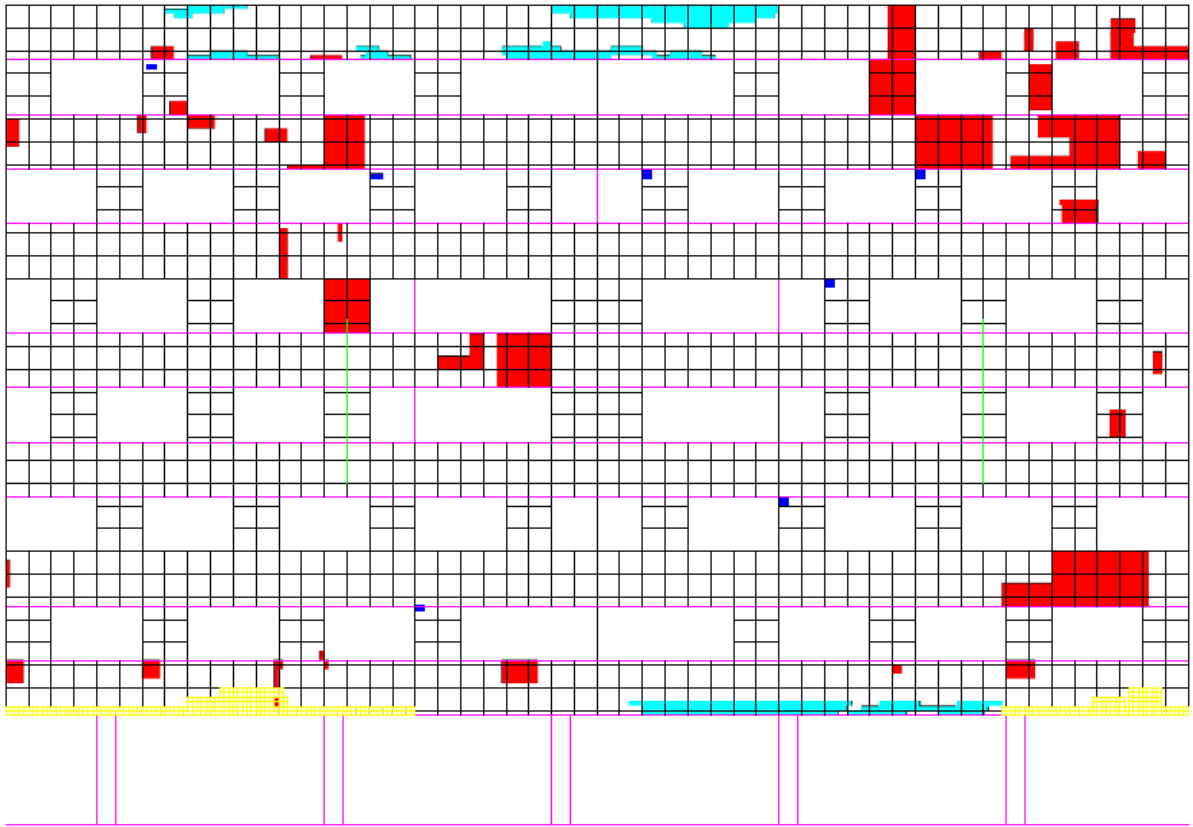


Figura B-6 – Sobreposição de malha em mapeamento da amostra.