



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**LARISSE GAMA DO NASCIMENTO**

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE ESTRUTURAL DO CENTRO**  
**HISTÓRICO DE ARACATI**

**RUSSAS**

**2019**

LARISSE GAMA DO NASCIMENTO

AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE ESTRUTURAL DO CENTRO HISTÓRICO DE  
ARACATI

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Esequiel Fernandes  
Teixeira Mesquita

RUSSAS

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- N196a Nascimento, Larisse Gama do.  
Avaliação da Vulnerabilidade Estrutural do Centro Histórico de Aracati / Larisse Gama do Nascimento. –  
2019.  
65 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas,  
Curso de Curso de Engenharia Civil, Russas, 2019.  
Orientação: Prof. Dr. Esequiel Fernandes Teixeira Mesquita.
1. Vulnerabilidade Estrutural. 2. Construções Históricas. 3. Centro Histórico de Aracati. 4. Paredes de  
Fachada. I. Título.

CDD 620

---

LARISSE GAMA DO NASCIMENTO

AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE ESTRUTURAL DO CENTRO HISTÓRICO DE  
ARACATI

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Profº. Dr. Esequiel Fernandes  
Teixeira Mesquita

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Profº. Dr. Esequiel Fernandes Teixeira Mesquita (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Profª. Dra. Fabiana Lopes de Oliveira  
Universidade de São Paulo (USP)

---

Arq. Esp. Murilo Cunha Ferreira  
Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN)

A Deus.

A minha mãe Maria das Graças.

Ao meu esposo, Pedro.

E aos meus sogros, Rômulo e Antônia.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, que foi meu consolo e a certeza de dias melhores nos momentos mais difíceis da vida.

A minha mãe, Maria das Graças, sou grata pela educação e por todos os valores que me transmitiu quando em vida, minha maior fonte de inspiração e o motivo de eu nunca ter desistido dos meus sonhos

Ao meu esposo Pedro, sou grata pela sua valiosa contribuição na coleta dos dados deste trabalho e por nunca ter medido esforços para me ajudar, incentivar, pela paciência, amor, carinho, e pelo apoio incondicional para que o meu sonho de me formar em Engenharia Civil fosse concretizado.

Aos meus sogros, Rômulo e Antônia, pelo suporte e amparo constantes.

Ao meu querido orientador, professor Esequiel Mesquita, por toda a dedicação, atenção e confiança, e agradeço ainda pela sua enorme contribuição para a concretização desse trabalho.

Finalmente agradeço a minha família pelo apoio, e aos meus amigos que fiz na UFC: Ian, Paulo Sérgio, Rayanne e Thalyta, por toda a ajuda e companheirismo que foram fundamentais para tornar a jornada acadêmica mais leve e inesquecível.

## RESUMO

A avaliação da vulnerabilidade estrutural das construções patrimoniais tem se mostrado importante elemento de pesquisa nas últimas décadas devido ao elevado valor histórico, cultural e social que representam para a sociedade. A cidade de Aracati, no interior do Ceará, reúne um conjunto de edifícios históricos que são de grande importância para a identidade cultural de seu povo. Edificações essas que têm demonstrado sensíveis traços de fragilidade estrutural e indícios de deterioração de seus elementos, o que tende a comprometer o seu estado de conservação se não for intervencionado. Este trabalho apresenta uma análise das construções históricas do centro histórico de Aracati, no Ceará, apresentando os principais materiais e técnicas empregados em sua construção, classificação quanto ao seu estado de conservação e um mapeamento da vulnerabilidade estrutural das fachadas dos edifícios, que são os elementos mais críticos e que estão submetidas a maior parcela de ações dinâmicas. Considerando-se que o desempenho estrutural das edificações está de modo direto relacionado aos materiais e às técnicas construtivas empregadas em sua construção, foram executados procedimentos de inspeção e de análise, com a finalidade de se elaborar um mapa sobre a vulnerabilidade estrutural das construções patrimoniais do sítio histórico de Aracati. O procedimento foi fundamentado em observações e na análise das propriedades geométricas e dos materiais que constituem os elementos dos edifícios, que possibilitaram a avaliação da vulnerabilidade estrutural das paredes de fachada. Utilizou-se para a avaliação uma metodologia que se baseia em parâmetros qualitativos e quantitativos que foram obtidos segundo informações gerais da estrutura, como dimensões, características geométricas e no comportamento dos materiais e elementos que compõem a edificação. A apresentação dos resultados é dada pela construção de mapas de vulnerabilidade estrutural, sendo estes dados usados para auxiliar na administração do edifício e como guia para a execução de atividades de intervenção que possam promover a proteção das construções patrimoniais do centro histórico de Aracati.

**Palavras-chave:** Vulnerabilidade estrutural; Construções históricas; Centro histórico de Aracati; Paredes de fachada.

## ABSTRACT

The assessment of the structural vulnerability of heritage buildings has been an important research element in recent decades due to the high historical, cultural and social value they represent for society. The city of Aracati, in the interior of Ceará, brings together a set of historical buildings that are of great importance for the cultural identity of its people. These buildings have shown sensitive traces of structural fragility and evidence of deterioration of their elements, which tends to compromise their state of conservation if not intervened. This paper presents an analysis of the historical constructions of the historical center of Aracati, Ceará, presenting the main materials and techniques used in their construction, classification of their state of conservation and a mapping of the structural vulnerability of the building façades, which are the main elements. critical and subject to the largest share of dynamic actions. Considering that the structural performance of buildings is directly related to the materials and construction techniques employed in their construction, inspection and analysis procedures were performed in order to draw up a map on the structural vulnerability of the heritage buildings of the building. Aracati historical site. The procedure was based on observations and analysis of the geometric properties and materials that constitute the building elements, which allowed the assessment of the structural vulnerability of the façade walls. A methodology based on qualitative and quantitative parameters that were obtained according to general information of the structure, such as dimensions, geometric characteristics and the behavior of the materials and elements that make up the building was used for the evaluation. The results are presented by the construction of structural vulnerability maps, which are used to assist in the administration of the building and as a guide for the execution of intervention activities that may promote the protection of heritage buildings in the historic center of Aracati.

**Keywords:** Structural vulnerability; Historical buildings; Aracati historic center; Facade walls.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Edificações características do centro histórico de Aracati .....	19
Figura 2 – Centro histórico de Aracati .....	20
Figura 3 – (a) Classificação das edificações quanto ao século de construção; (b) Gabarito das edificações na área de tombamento federal .....	21
Figura 4 – Localização das construções características analisadas .....	22
Figura 5 – Mapa do gabarito dos imóveis analisados .....	22
Figura 6 – Tijolos maciços argamassados em paredes com alvenaria exposta .....	23
Figura 7 – (a) Telhas cerâmicas da Igreja de Nossa Senhora dos Prazeres; (b) Telhado da Igreja de Nossa Senhora dos Prazeres .....	23
Figura 8 – Tipos de revestimento identificados nas fachadas .....	24
Figura 9 – Revestimentos identificados nas fachadas dos edifícios característicos do centro histórico de Aracati .....	24
Figura 10 – (a) Bolor; (b) Manchas de umidade; (c) Fissuras mapeadas; (d) Deslocamento do revestimento; (e) Vesículas .....	25
Figura 11 – Principais danos gerais observados .....	26
Figura 12 – (a) Descolamento com pulverulência; (b) Desagregação do revestimento; (c) Corrosão .....	26
Figura 13 – Classificação quanto ao estado de conservação dos edificados característicos do sítio histórico de Aracati .....	27
Figura 14 – Distribuição das classes em cada parâmetro .....	39
Figura 15 – Índice de vulnerabilidade para as paredes de fachada .....	39
Figura 16 – Mapeamento de vulnerabilidade estrutural das paredes de fachada .....	40
Figura 17 – Mapeamento de vulnerabilidade estrutural das paredes de fachada .....	41
Figura 18 – (a) Consolidação transversal; (b) Selagem de fendas .....	43
Figura 19 – Profundidade das ranhuras abertas nas juntas quando se atua de um ou em ambos os lados da parede .....	45
Figura 20 – Procedimentos em um refechamento armado com reforço de armaduras .....	46
Figura 21 – (a) Zona danificada da parede; (b) Remoção de pedras; (c) Preenchimento da abertura .....	47
Figura 22 – (a) Pregagens em paredes ortogonais; (b) Pregagens em outros elementos .....	48
Figura 23 – Exemplos de pregagens generalizadas em elementos estruturais (a) Arco de uma ponte; (b) e (c) Reforço de paredes mestras .....	49

Figura 24 – Exemplos da melhoria de ligações entre paredes com pregagens em direções cruzadas .....	49
Figura 25 – Sistema de ancoragem com porca e anilha .....	50
Figura 26 – (a) Tirantes ancorados nas paredes exteriores; (b) Forças horizontais nas ligações entre paredes .....	51
Figura 27 – Diferentes disposições das fitas FRP em intervenções de reforço .....	52
Figura 28 – Exemplo de um reboco armado com rede metálica .....	53

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cálculo do índice de vulnerabilidade da fachada .....	32
Tabela 2 – Definição dos quatro níveis de grau de confiança .....	32
Tabela 3 – Definição das classes de vulnerabilidade para o parâmetro P1 .....	33
Tabela 4 – Definição das classes de vulnerabilidade para o parâmetro P2 .....	33
Tabela 5 – Definição das classes de vulnerabilidade para o parâmetro P3 .....	34
Tabela 6 – Definição das classes de vulnerabilidade para o parâmetro P4 .....	34
Tabela 7 – Definição das classes de vulnerabilidade para o parâmetro P5 .....	34
Tabela 8 – Definição das classes de vulnerabilidade para o parâmetro P6 .....	35
Tabela 9 – Definição das classes de vulnerabilidade para o parâmetro P7 .....	35
Tabela 10 – Definição das classes de vulnerabilidade para o parâmetro P8 .....	36
Tabela 11 – Definição das classes de vulnerabilidade para o parâmetro P9 .....	36
Tabela 12 – Definição das classes de vulnerabilidade para o parâmetro P10 .....	37
Tabela 13 – Classificação das soluções de injeções .....	44

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas técnicas;
AFRP	Aramid Fiber Reinforced Polymer;
CFRP	Carbon Fiber Reinforced Polymer;
FRP	Fiber Reinforced Polymer;
GC	Grau de Confiança;
GFRP	Glass Fiber Reinforced Polymer;
GNDT -SSN	Grupo Nazionale per la Difesa dai Terremoti – National Seismic Survey;
IPHAN	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional;
LAREB	Laboratório de Reabilitação de Durabilidade das Construções;
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora;
MPa	Megapascal;

## LISTA DE SÍMBOLOS

$c_{vi}$	Classe de vulnerabilidade
$I_{vf}$	Índice de vulnerabilidade da fachada
$p_i$	Peso associado a cada parâmetro
$\tau_{cis}$	Tensão de cisalhamento admissível
$\tau_1$	Tensão de cisalhamento para o modelo 1
$\tau_2$	Tensão de cisalhamento para o modelo 2

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos .....</b>	<b>17</b>
1.1.1	Objetivo Geral .....	17
1.1.2	Objetivos Específicos .....	17
<b>1.2</b>	<b>Justificativa .....</b>	<b>17</b>
<b>1.3</b>	<b>Resumo dos Capítulos .....</b>	<b>18</b>
<b>2</b>	<b>CENTRO HISTÓRICO DE ARACATI .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1</b>	<b>Caracterização arquitetônica do sítio histórico de Aracati .....</b>	<b>21</b>
2.1.1	Tijolos .....	23
2.1.2	Cobertura .....	23
2.1.3	Revestimentos e acabamentos de proteção das fachadas .....	24
2.1.4	Condição de conservação das fachadas de alvenaria .....	24
<b>3</b>	<b>ANÁLISE DA VULNERABILIDADE DAS ESTRUTURAS .....</b>	<b>28</b>
<b>4</b>	<b>ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SÍSMICA DA FACHADA .....</b>	<b>31</b>
<b>5</b>	<b>APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS .....</b>	<b>38</b>
<b>5.1</b>	<b>Avaliação da vulnerabilidade do sítio histórico de Aracati .....</b>	<b>38</b>
<b>6</b>	<b>PROPOSTAS DE METODOLOGIAS DE INTERVENÇÃO .....</b>	<b>42</b>
<b>6.1</b>	<b>Enquadramento .....</b>	<b>42</b>
<b>6.2</b>	<b>Intervenções locais de consolidação e reforço .....</b>	<b>43</b>
6.2.1	Injeção de caldas .....	43
6.2.2	Refechamento de juntas .....	44
6.2.3	Refechamento de juntas com armaduras .....	45
6.2.4	Desmonte e reconstrução ou substituição .....	46
6.2.5	Gateamento de fendas.....	47
6.2.6	Pregagens .....	47
6.2.7	Tirantes .....	50
6.2.8	Reforço com materiais compósitos FRP .....	51
6.2.9	Rebocos armados .....	52
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>54</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>56</b>
	<b>APÊNDICE A – MAPEAMENTO DE DANOS DAS FACHADAS DAS CONSTRUÇÕES PATRIMONIAIS DO CENTRO HISTÓRICO DE ARACATI .....</b>	<b>58</b>
	<b>APÊNDICE B – TABELAS DE CÁLCULO PARA O ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SÍSMICA DAS FACHADAS DO CENTRO HISTÓRICO DE ARACATI .....</b>	<b>64</b>

## 1 INTRODUÇÃO

No que se refere aos critérios de risco sísmico de um edificado, o que assume mais importância é a vulnerabilidade sísmica. Esta se relaciona com o estudo do comportamento das unidades resistentes, quando submetidas a deslocamentos horizontais. A resistência ao cisalhamento da alvenaria quando submetida a esforços cisalhantes, corresponde a apenas 8% da resistência à compressão média (DORA, 2016). Em uma construção, quando submetida à esforços horizontais, destaca-se sua reduzida propensão de resistência ao movimento cisalhante.

Quando se analisam as construções históricas, nota-se maior complexidade por envolver condições complementares de elevada variabilidade na investigação. O sistema estrutural das construções patrimoniais é alterado ao longo do tempo devido ao grande tempo de exposição às influências ambientais (MESQUITA, 2017). Desse modo, a conduta vulnerável dos edifícios antigos, que tendem a apresentar baixa resistência quando submetidos aos esforços solicitantes, especialmente os horizontais, demonstra a necessidade de se examinar e classificar os edificados quanto a sua vulnerabilidade estrutural.

Tendo em vista que os deslocamentos horizontais a que estão sujeitas as edificações podem ser analisados como eventos sísmicos, foram desenvolvidas técnicas de investigação baseando-se na atividade sísmica, mas com baixo custo. Essas opções têm sido mais viáveis economicamente especialmente para regiões que apresentam reduzido grau de sismicidade. Assim, os modelos de análise da vulnerabilidade aplicados geralmente, são fundamentados em análises qualitativas, a fim de propor uma avaliação generalizada da vulnerabilidade sísmica, destinados a priorizar operações de reforço e validar o nível de segurança das construções (MIRANDA, 2010).

De acordo com Mesquita *et al.* (2015), uma construção histórica pode ser definida como condicionante do fator de identidade de um povo, apresentando considerável relevância para sua formação cultural. A cidade de Aracati, localizada na Zona Jaguaribana do Estado do Ceará possui um patrimônio arquitetônico de grande importância, visto que foi uma das primeiras capitais do estado. Em 2000, o centro histórico da cidade foi classificado pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), reconhecendo seu expressivo papel na história estadual.

Com o decorrer dos anos, poucas ações de intervenções foram realizadas, e tais construções têm manifestado sinais de deterioração e exibido indícios de vulnerabilidade

estrutural. Tendo por base o exposto, o presente trabalho apresentará as construções patrimoniais características do centro histórico de Aracati, apresentando o mapeamento de vulnerabilidade estrutural das paredes de fachada, e os materiais relevantes usados para a sua construção. Espera-se que esse estudo possa contribuir para a compreensão do comportamento dos edificados de influência luso-brasileiros no estado do Ceará, identificando possíveis fragilidades estruturais, propondo medidas de intervenção, a fim de minorar os danos, e evitando a perda de tais construções de valor inestimável para a história do estado.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Esse trabalho tem como objetivo principal realizar o mapeamento de vulnerabilidade estrutural das principais construções patrimoniais do centro histórico da cidade de Aracati utilizando do método de vulnerabilidade sísmica das fachadas.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Classificar quanto aos aspectos construtivos, materiais empregados e condições de conservação, cada uma das construções históricas características do Centro Histórico de Aracati;
- Utilizar o método de análise de vulnerabilidade sísmica de fachadas para analisar a fragilidade das construções históricas de Aracati quando submetidas a esforços horizontais;
- Estabelecer medidas de intervenção e reforço estrutural para reabilitar as construções patrimoniais do Centro Histórico de Aracati.

## **1.2 Justificativa**

As alvenarias portantes apresentam alta resistência a compressão, em comparação com a resistência quando submetidas às ações dinâmicas que podem provocar deslocamentos



horizontais. Quando considerado que a maior parte das construções históricas brasileiras não foi construída fundamentando-se em procedimentos normalizados, convém investigar a vulnerabilidade das estruturas já existentes quanto aos deslocamentos horizontais, baseando-se na metodologia de análise de atividades sísmicas.

O estado do Ceará apresenta um baixo nível de sismicidade em comparação com outros estados do país. No entanto, a cidade de Aracati é passível a ações sísmicas, especialmente quando se considera que cidades próximas têm apresentado índices de sismicidade elevados nos últimos anos. Assim, levando em conta que a cidade de Aracati possui um conjunto de construções patrimoniais, que representam inestimável valor cultural e histórico para o estado do Ceará e para o seu povo, e que algumas dessas construções têm apresentado sinais de degradação ao longo dos anos, torna-se primordial aplicar procedimentos de verificação da vulnerabilidade das construções históricas, com a finalidade de preservar a memória histórica e cultural. Dessa forma, permitindo avaliar a propensão a danos que possam ocorrer nos edificados, possibilitando que intervenções de reforço e recuperação estrutural possam ser executadas, a fim de preservar as construções patrimoniais.

### **1.3 Resumo dos Capítulos**

Esse trabalho encontra-se dividido em 7 capítulos, de modo que cada capítulo esteja relacionado e atenda aos objetivos apresentados e descritos na seção 1.1.

O Capítulo 1 trata da introdução, na qual se faz um enquadramento do tema, com as motivações desse trabalho, objetivos e justificativa.

O Capítulo 2 apresenta o centro histórico de Aracati, com as respectivas edificações características utilizadas nesse estudo, denotando suas características construtivas, materiais constituintes, principais danos identificados e avaliação do seu estado de conservação.

Ao longo do Capítulo 3 é feita uma abordagem sobre o índice de vulnerabilidade de fachadas, apresentando também os níveis para avaliação da vulnerabilidade de uma edificação, apontando ainda o método escolhido.

No Capítulo 4 é feita a apresentação em detalhes da metodologia de avaliação da vulnerabilidade de paredes aplicada para a análise de estudo desse trabalho.

O Capítulo 5 apresenta os resultados dos  $I_{vf}$  calculados pela aplicação do método apresentado no Capítulo 4 para a avaliação das edificações características do sítio histórico de Aracati.

No Capítulo 6 são apresentadas propostas de intervenções a fim de reduzir a vulnerabilidade das paredes de fachadas das edificações, com base nas principais técnicas de consolidação e reforço aplicadas para paredes de edifícios antigos.

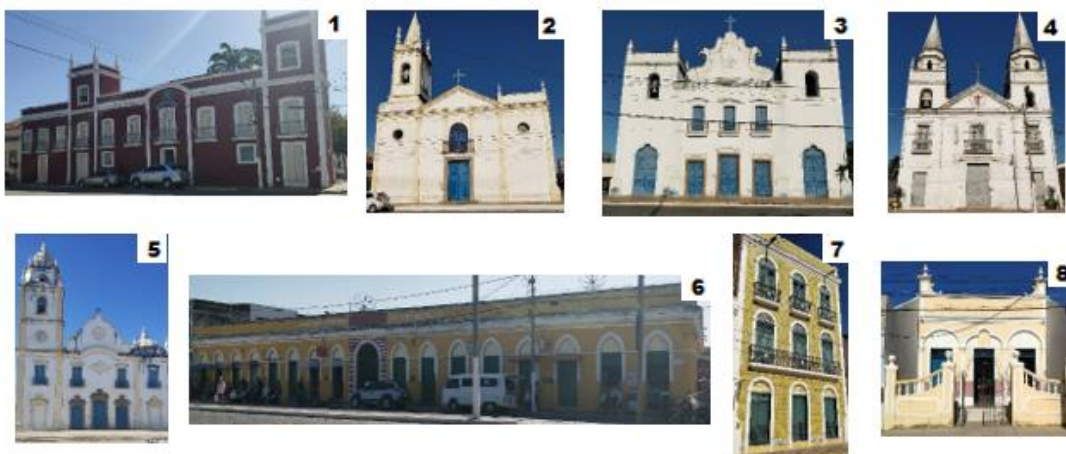
Por fim, no capítulo 7 apresentam-se as considerações finais deste trabalho.

## 2 CENTRO HISTÓRICO DE ARACATI

O Centro Histórico de Aracati é formado por ruas e construções arquitetônicas que datam dos séculos XVIII, XIX e XX. A área de tombamento rigoroso compreende aproximadamente 154.824 m<sup>2</sup> onde estão inseridas cerca de 275 construções. O sítio histórico da cidade foi tombado pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional - IPHAN em abril de 2000 e é composto por igrejas, sobrados e numerosos prédios. Além da poligonal de tombamento rigoroso, há a poligonal de entorno que engloba 1.175 edificações, para as quais também são adotadas uma série de restrições quanto a intervenções de natureza física. Com a proteção, o centro histórico de Aracati foi considerado um Patrimônio Nacional e ficou sob tutela do órgão federal de preservação, sendo essa tutela exercida pelo cumprimento do Decreto-Lei de nº 25 de 1937.

O Laboratório de Reabilitação de Durabilidade das Construções – LAREB, da Universidade Federal do Ceará, tem trabalhado desde o ano de 2014 com procedimentos que visam entender o comportamento das construções históricas luso-brasileiras através do monitoramento, atividades de caracterização, e de reforço das construções patrimoniais, desenvolvendo atividades nas cidades Aracati, Icó, Fortaleza, Sobral e Viçosa. Com base em levantamentos realizados no sítio histórico de Aracati pelo grupo de trabalho do LAREB, estão indicadas abaixo as 8 edificações características que serão estudadas neste trabalho, e que se destacam, entre as construções históricas que compõem a área de tombamento rigoroso, como as mais relevantes pelo legado histórico, e marcaram momentos importantes na história da cidade de Aracati.

Figura 1 – Edificações características do centro histórico de Aracati

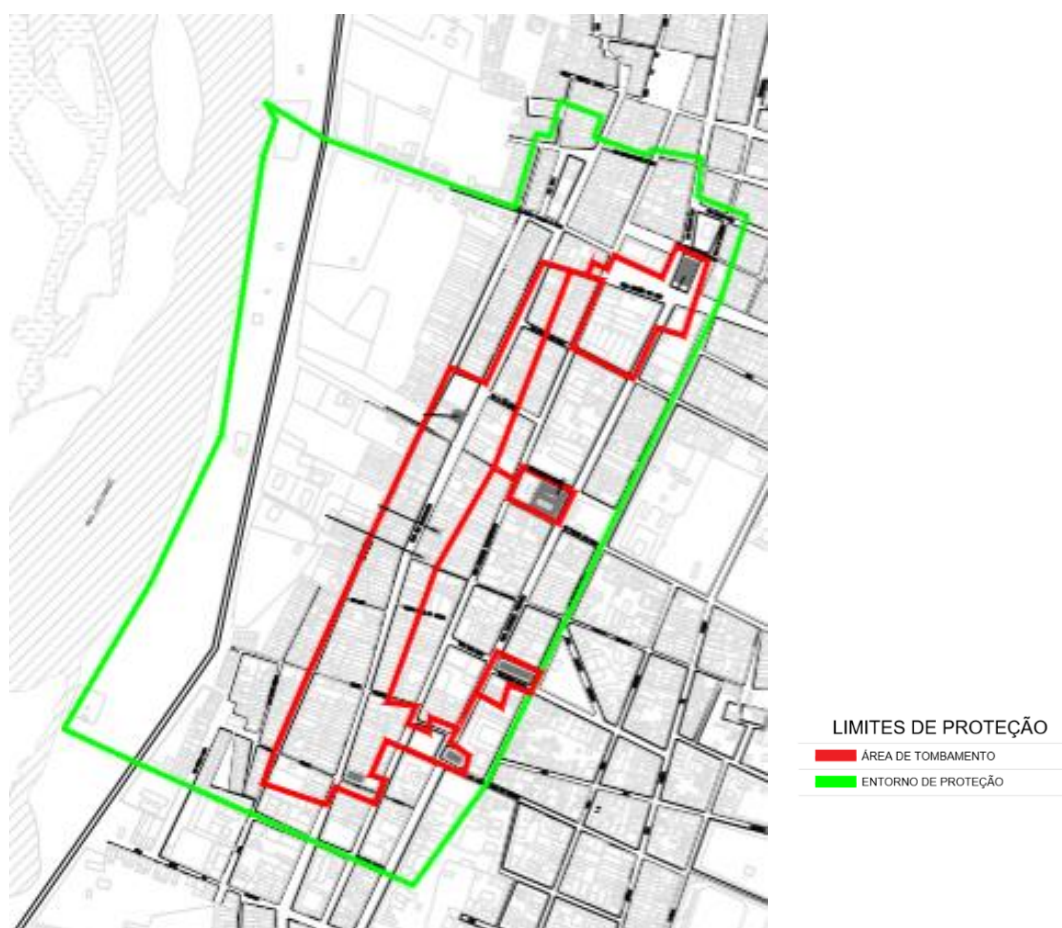


Fonte: Foto Larisse Gama (2019).

Entre os edificados apresentadas destacam-se as igrejas que representam 50% das construções que serão analisadas nesse trabalho, e que são componentes fundamentais para registrar o passado histórico, cultural, artístico e ideológico para a construção da matriz de uma da cidade. No entanto, com o decorrer dos anos, eventos naturais e antrópicos que ocorreram contribuíram para a degradação estrutural das edificações. Por conta disso, nas últimas décadas, foram realizadas algumas intervenções pontuais de manutenção e conservação.

Como citado anteriormente, o sítio histórico de Aracati apresenta duas poligonais: a primeira que é a poligonal de tombamento rigoroso, que é definida basicamente pelo eixo da Rua Coronel Alexanzito, e os setores que correspondem a Igreja Matriz de Nossa Senhora do Rosário, Igreja de Nossa Senhora dos Prazeres, Igreja de Nosso Senhor do Bonfim, Igreja de Nossa Senhora do Rosário dos Pretos e o setor da antiga Fábrica Santa Therezinha, que está delimitada pela poligonal de cor vermelha; e a segunda é a poligonal externa, que é denominada de poligonal de entorno ou amortecimento, delimitada pela cor verde, como mostrado na Figura 2.

Figura 2 – Centro histórico de Aracati.

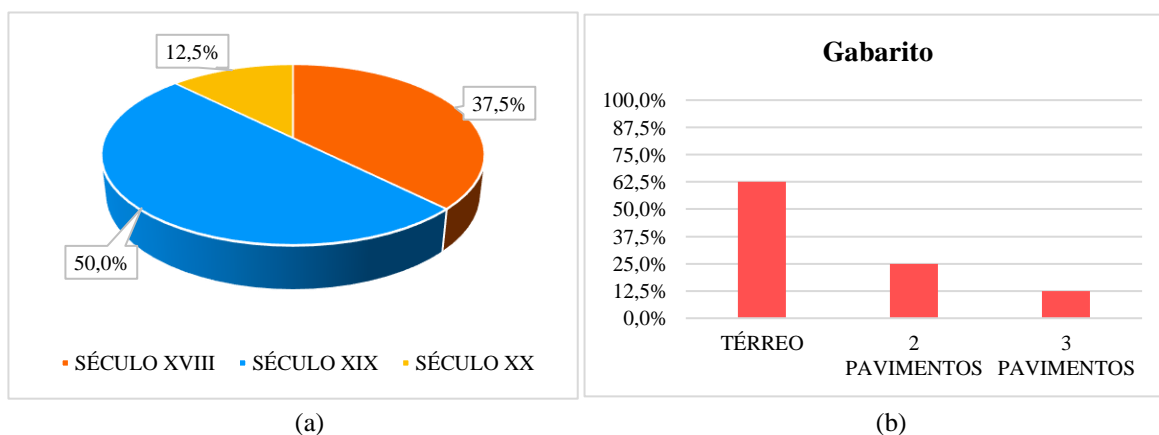


Fonte: Laboratório de Reabilitação e Durabilidade das Construções – LAREB (2018).

## 2.1 Caracterização arquitetônica do sítio histórico de Aracati

O conjunto de edificações estudadas do centro histórico de Aracati apresenta em sua maioria construções que datam dos séculos XVIII, XIX e XX. Cada construção apresenta variações quanto ao número de pavimentos, apresentando os tipos: térreo, dois pavimentos e três pavimentos. Analisando a área de proteção rigorosa, verifica-se que há predominância de construções do século XIX (50%) como mostrado na Figura 3 (a). Relativo ao número de pavimentos, predominam construções térreas (62,5%), seguidas das construções com 2 pavimentos (25%), e apresentando apenas uma de suas construções (12,5%) que possui 3 pavimentos, conforme dados apresentados na Figura 3 (b).

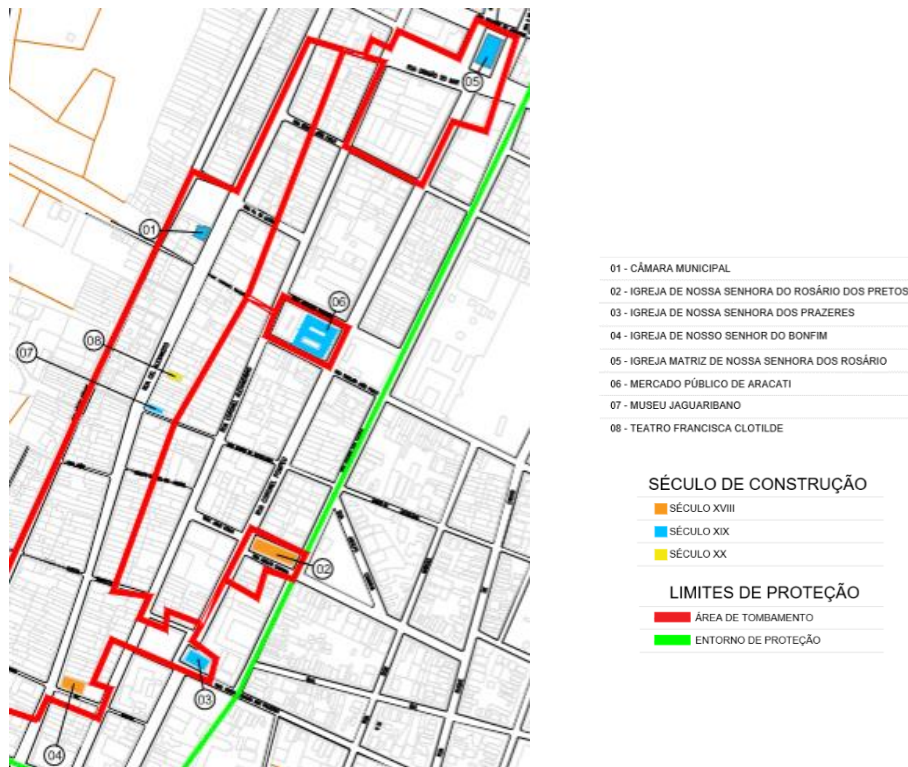
Figura 3 – (a) Classificação das edificações quanto ao século de construção; (b) Gabarito das edificações na área de tombamento federal.



Fonte: Da autora (2019).

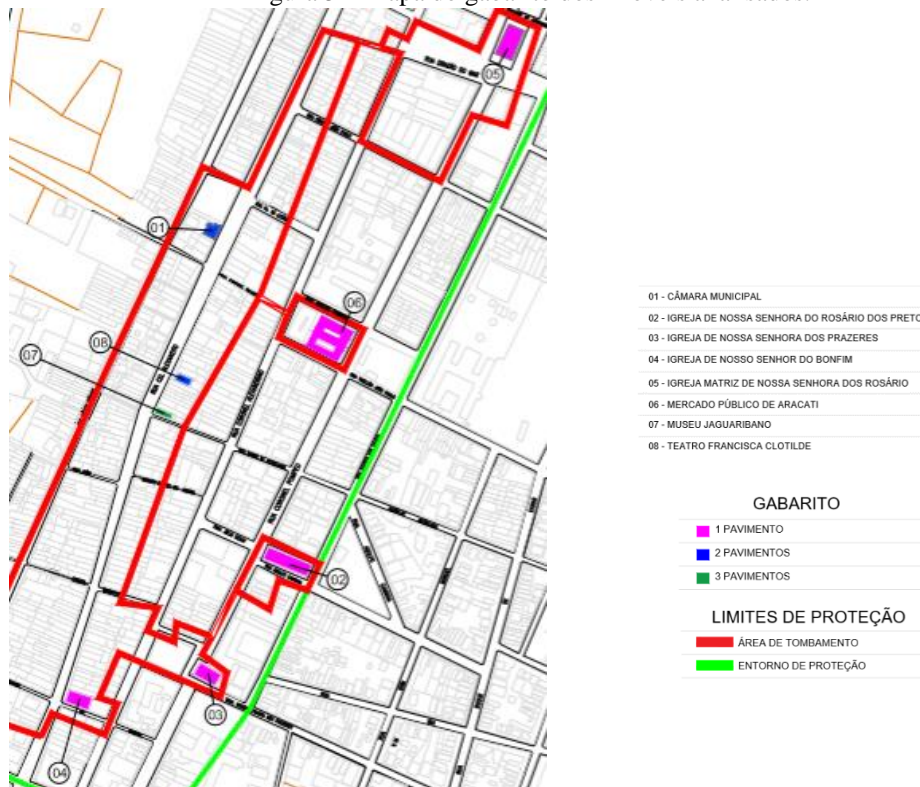
A Figura 4 mostra o mapa de gabarito, com a localização dos edificadados que compõem o estudo desse trabalho, distribuídos de acordo com o século de construção, e a Figura 5 demonstra a distribuição das edificações por número de pavimentos.

Figura 4 – Localização das construções características analisadas.



Fonte: Da autora (2019).

Figura 5 – Mapa do gabarito dos imóveis analisados.



Fonte: Da autora (2019).

### 2.1.1 Tijolos

No que diz respeito às técnicas construtivas utilizadas, foram identificados detalhes que denotam a influência da arquitetura portuguesa, como as fachadas em espessas paredes, constituídas em tijolos maciços, ligados por argamassa de barro e areia que compõem a alvenaria portante. As dimensões dos tijolos encontrados variam a partir de 10cm x 20cm, até 15cm por 25cm.

Figura 6 – Tijolos maciços argamassados em paredes com alvenaria exposta.



Fonte: Foto Larisse Gama (2019).

### 2.1.2 Cobertura

Os telhados possuem cobertas em telha cerâmica do tipo capa e canal, com predominância de águas com inclinações em ângulos acentuados, que promovem maior proteção contra intempéries. Por esse motivo, é usado madeiramento para sustentação do telhado, com peças de seção robusta, constituídas principalmente em carnaúba, o que confere uma sobrecarga estrutural, tornando a alvenaria propícia a impulsos resultantes do peso da cobertura.

Figura 7 – (a) Telhas cerâmicas da Igreja de Nossa Senhora dos Prazeres; (b) Telhado da Igreja de Nossa Senhora dos Prazeres.



(a)

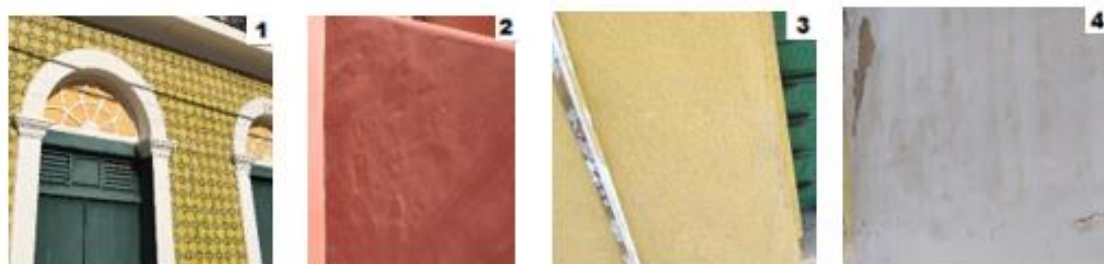
(b)

Fonte: Foto Larisse Gama (2019).

### 2.1.3 Revestimentos e acabamentos de proteção das fachadas

Os tipos de revestimentos identificados estão apresentados na Figura 8. Constatou-se que entre os tipos de revestimentos apresentados nas fachadas, a tinta à base de cal representa 62,5%, e este era o tipo de revestimento mais indicado e utilizado nas construções históricas, apresentando como relevante aspecto negativo a alta suscetibilidade a degradação decorrente de presença de umidade, resultando em destacamento do revestimento e fissuras.

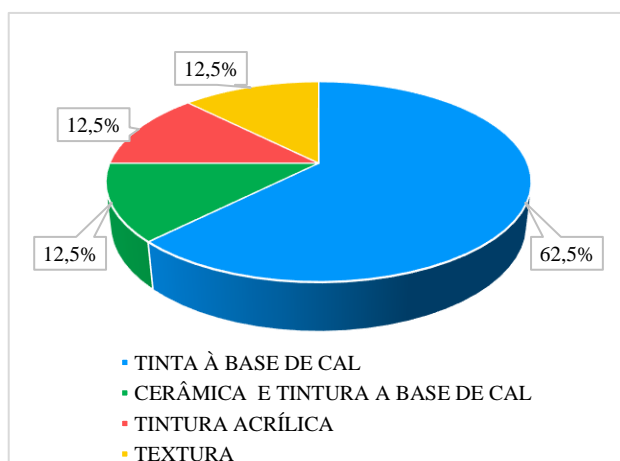
Figura 8 – Tipos de revestimentos identificados nas fachadas.



Fonte: Foto Larisse Gama (2019).

Nenhuma das edificações apresentou fachada totalmente revestida pela aplicação de revestimento cerâmico, sendo apenas verificada a aplicação de revestimento cerâmico parcial em apenas uma das oito construções (12,5%), conforme apresentado na Figura 9.

Figura 9 – Revestimentos identificados nas fachadas dos edifícios característicos do centro histórico de Aracati.



Fonte: Pesquisa de campo realizada (2019) por Larisse Gama.

### 2.1.4 Condição de conservação das fachadas de alvenaria

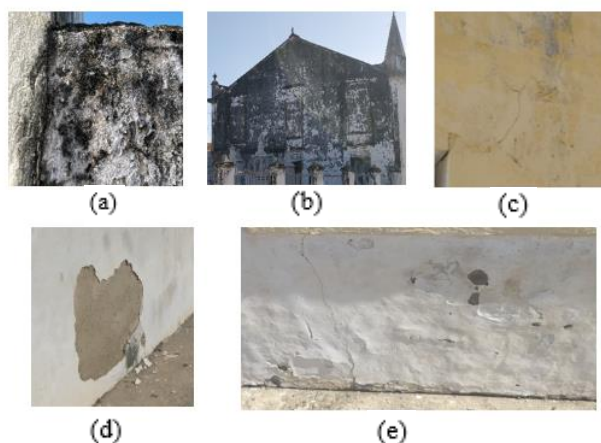
Para realizar a avaliação do estado de conservação, buscou-se identificar as principais manifestações patológicas nos elementos da fachada e classificar de forma percentual quanto a



sua ocorrência. Por meio do mapeamento de danos superficiais foi possível estudar as deficiências, mediante a identificação de degradações e danos, verificando também a influência dos efeitos do meio ambiente sobre a construção. Esses procedimentos constituem a etapa de inspeção, que tem papel fundamental em uma avaliação estrutural, pois permite comprovar informações obtidas por meio da análise documental que foi realizada, e obter informações sobre o estado de conservação da estrutura (MESQUITA, 2015). No Apêndice A estão apresentados os mapeamentos de danos de fachadas das oito construções vernaculares pertencentes ao sítio histórico de Aracati.

Entre as principais causas do estado de degradação de algumas das fachadas das construções características do sítio histórico de Aracati, pode-se destacar a influência da umidade. Isso resulta principalmente em manchas de umidade nas fachadas, fissuras mapeadas, deslocamento do revestimento, mofo e vesículas. Os danos mais frequentes observados em construções históricas são decorrentes da própria degradação natural dos materiais, conforme ressalta Figueiredo (2014). Na Figura 10 estão indicados os principais danos verificados nas construções patrimoniais analisadas no centro histórico de Aracati.

Figura 10 – (a) Bolor; (b) Manchas de umidade; (c) Fissuras mapeadas; (d) Deslocamento do revestimento (e) Vesículas.

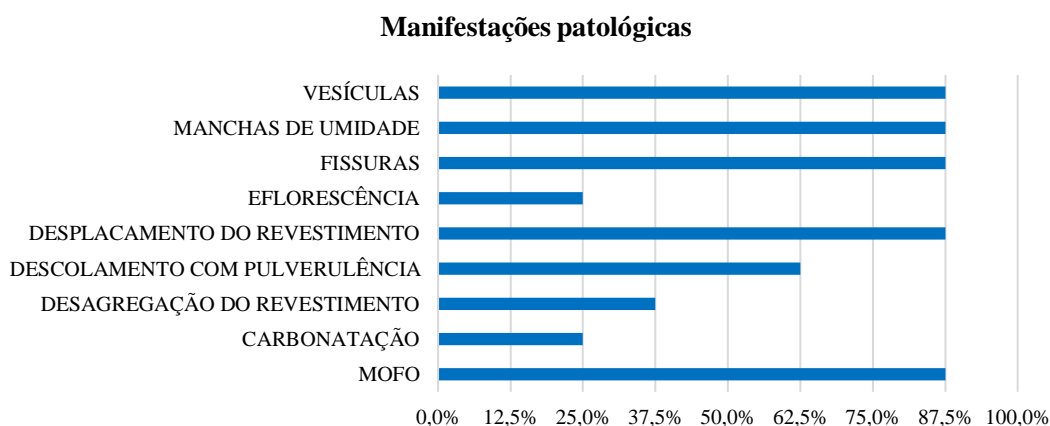


Fonte: Foto Larisse Gama (2019).

Conforme mostrado na Figura 11, em 87,5% das edificações analisadas havia predominância de mofo, decorrente das condições climáticas que proporcionam um ambiente quente e úmido nas fachadas, e propício para o seu desenvolvimento; deslocamento do revestimento devido a mudanças bruscas e constantes de temperatura; fissuras mapeadas no revestimento de pintura e fissuras decorrentes da concentração de tensões em arestas de

esquadrias; manchas de umidade resultantes da umidade excessiva que facilita a proliferação de microorganismos; e vesículas derivadas de descolamentos pontuais de revestimento.

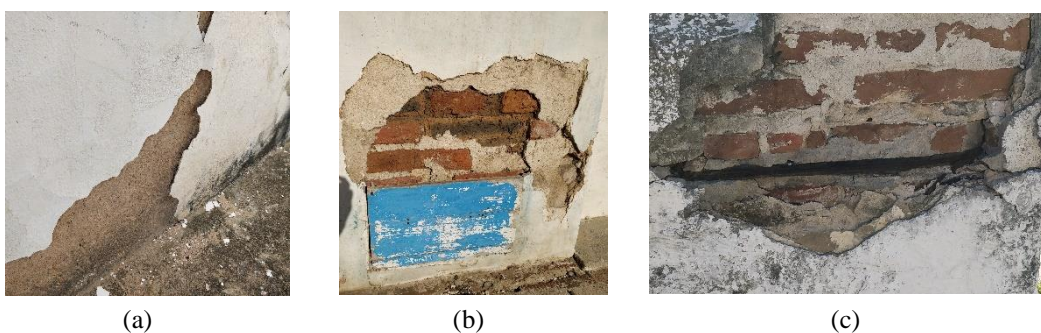
Figura 11 – Principais danos gerais observados.



Fonte: Da autora (2019).

Na Figura 12 estão apresentadas algumas das manifestações patológicas alarmantes por deixar a alvenaria exposta, no caso da desagregação do revestimento, que foi identificada em três edificações; a corrosão, verificada em duas das oito construções caracterizantes; e o descolamento com pulverulência, constatado em cinco edificadoss.

Figura 12 – (a) Descolamento com pulverulência; (b) Desagregação do revestimento; (c) Corrosão.



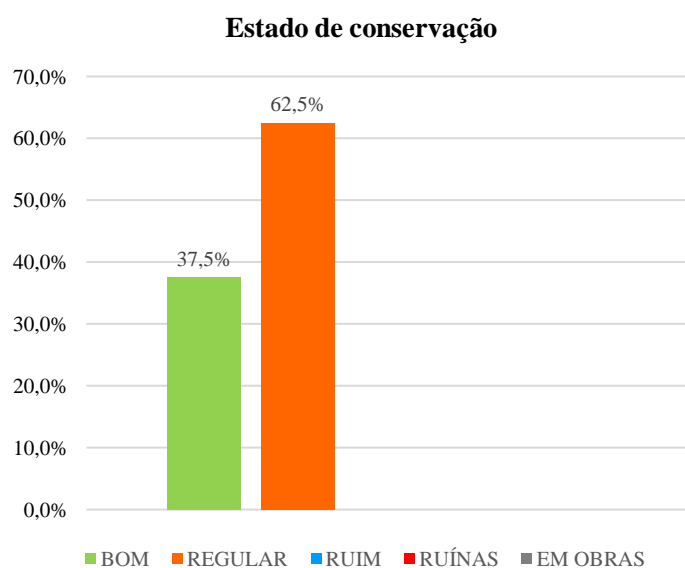
Fonte: Foto Larisse Gama (2019).

Com base nessa análise, para estabelecer e classificar quanto ao estado de conservação os imóveis, foi adotada a metodologia apresentada por Figueiredo (2014), onde considera-se: bom o edificado que mantém conservado todos os materiais de acabamento; regular o edificado que mantém conservado grande parte dos materiais de acabamento; ruim o edificado que mantém conservado apenas pequena parte dos materiais de acabamento; e ruínas o edificado que apresenta grande parte da sua estrutura em ruínas. Esse método foi utilizado por Figueiredo

para avaliação do estado de conservação dos imóveis do centro histórico de São Luís do Maranhão, no Brasil em 2014.

A aplicação desse método para as construções patrimoniais características do centro histórico de Aracati resultou em 62,5% das construções em estado de conservação classificado como regular, e 32,5% das construções em estado de conservação classificado como bom. Isso denota um bom resultado no desempenho da proteção do patrimônio do sítio histórico, considerando que nenhuma das construções foi classificada como ruim ou em ruínas. Deve-se considerar ainda que algumas dessas construções passaram por reformas e intervenções de reabilitação ao longo dos anos, e isso manifesta a preocupação em manter conservados os materiais de acabamento e as características construtivas dos imóveis. Na Figura 13 estão apresentados os resultados obtidos com a aplicação desse método.

Figura 13 – Classificação quanto ao estado de conservação dos edifícios característicos do sítio histórico de Aracati.



Fonte: Da autora (2019).

### 3 ANÁLISE DA VULNERABILIDADE DAS ESTRUTURAS

O termo alvenaria estrutural se refere a construção em que a sua resistência depende tão somente dos elementos de alvenaria argamassados, como blocos e tijolos cerâmicos, entre outros. A fim de resistir aos esforços solicitantes de compressão e aos esforços cortantes, essas unidades precisam atuar como uma combinação plena, e destacam-se particularmente pela alta capacidade de resistência a compressão (NASCIMENTO NETO, 1999). No entanto, entender o comportamento estrutural da alvenaria ainda é um desafio para o homem, e esse tema têm sido objeto de pesquisa ao longo dos anos.

As paredes de alvenaria são elementos verticais utilizados como sistemas estruturais para resistir às ações laterais provenientes do vento, e transferi-las para as fundações. Quanto maior o comprimento da parede em planta, maior será a parcela de ação horizontal que ela irá absorver, promovendo deformações por cisalhamento em seu comportamento estrutural. Todavia, pela ausência de reforço com armadura para absorver as tensões de tração e cisalhamento atuantes, a alvenaria estrutural não-armada demonstra valores restritos de resistência a tração e ao cisalhamento. Desse modo, entre os esforços atuantes e que afetam o desempenho estrutural das alvenarias, destacam-se os esforços horizontais, visto que a resistência das ligações nas alvenarias depende basicamente da resistência de atrito ao cisalhamento.

De acordo com estudos realizados por Nascimento Neto (1999), em painéis de alvenaria, a fim de verificar a influência de deformações decorrentes do cisalhamento, onde foram analisados dois modelos tridimensionais de barras isoladas, no qual um modelo não incorpora as deformações por cisalhamento, e o outro incorpora as deformações, foi considerada a tensão admissível  $\tau_{cis} = 0,15$  MPa, conforme determinado na NBR-10837 (ABNT, 1989) para alvenaria não-armada e argamassa com resistência característica entre 5,0 MPa e 12,0 MPa. Os resultados apontaram que a tensão de cisalhamento prevista no modelo 1, de  $\tau_1 = 0,16$  MPa, superou o valor de tensão admissível, enquanto que para o modelo 2, com  $\tau_1 = 0,11$  MPa, isso não aconteceu. Em vista disso, manifesta-se a necessidade de prever reforços suplementares como armação ou grauteamento, melhorando assim a resistência da alvenaria a efeitos de contraventamento e deslocamentos horizontais.

As construções históricas representam o legado de um povo, pela sua enorme valia patrimonial para a sociedade. As características estruturais dos componentes e materiais dos edificados patrimoniais, não são intensivamente estudados, de maneira oposta ao que ocorre

com as construções contemporâneas (MESQUITA *et al.* 2015), justificando assim a importância de entender sobre a fragilidade das edificações históricas.

Entre as metodologias para avaliar a vulnerabilidade das estruturas, destacam-se as metodologias de análise da vulnerabilidade sísmica. Esses estudos foram desenvolvidos para aplicação em casos onde o índice de sismicidade é de médio a alto, o que não foi constatado na área de estudo, o centro histórico de Aracati. No entanto, é possível utilizar dos mesmos métodos de avaliação da suscetibilidade das construções quando submetidas a atividade sísmica, para avaliar a vulnerabilidade das construções a esforços horizontais, visto que um sismo provoca deslocamentos horizontais.

No Brasil, esta metodologia foi primeiramente aplicada por Mota (2017) no sítio histórico de Sobral, onde foram analisadas 22 edificações e elaborados os mapas de vulnerabilidade para estas 22 construções principais.

Conforme Vicente (2008), a vulnerabilidade é sempre uma característica do elemento ou sistema em análise, e resumidamente há três principais níveis de vulnerabilidade:

i) A vulnerabilidade estrutural: relaciona a suscetibilidade dos elementos ou componentes do sistema a sofrerem determinado grau de dano.

ii) A vulnerabilidade não estrutural: relaciona a suscetibilidade dos elementos arquitetônicos e componentes do edifício, quando mesmo apesar do comportamento satisfatório do ponto de vista estrutural, a funcionalidade e reocupação de edifícios pode ser comprometida.

iii) A vulnerabilidade funcional: refere-se à capacidade de perturbação de funcionamento em uma instalação devido ao acréscimo da exigência sobre os serviços prestados.

A vulnerabilidade estrutural será de maior relevância na análise desse trabalho, sendo esse nível de vulnerabilidade abordado com mais detalhes. O grau de dano a que um edificado está submetido está relacionado tanto ao comportamento específico dos componentes, como ao comportamento global do conjunto, cuja vulnerabilidade global sofre influência direta das fragilidades locais da construção.

A justificativa da necessidade de realizar um estudo individual das paredes de fachada dar-se-á pela categorização da avaliação de vulnerabilidade estrutural dos edifícios em 3 níveis, que possuem uma correlação, segundo Vicente (2008):

- a) um primeiro índice para analisar o edifício de forma completa;
- b) um segundo índice para analisar um elemento construtivo que é tido como crítico;
- c) um terceiro índice para analisar um conjunto de edifícios quando há condições de influência entre eles.

Assim, os índices de vulnerabilidade são indicativos que mensuram a capacidade de um edificado de sofrer danos. Baseiam-se em atividades de inspeção e análise de características estruturais do edificado, considerando as propriedades construtivas e particulares da construção, que influirão na avaliação da vulnerabilidade e na determinação do grau de dano.

No presente caso, para determinar o comportamento das construções em alvenaria, é necessário dispor de uma quantidade suficiente de informações, pois a análise depende de fatores representativos da construção. Assim, o método de avaliação da vulnerabilidade aplicado nessa avaliação pode ser classificado como de caráter qualitativo, visto que pode ser empregado para uma análise inicial do estado de segurança sísmica em um conjunto de edificações (MIRANDA, 2010).

#### 4 ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SÍSMICA DA FACHADA

A metodologia adotada para o cálculo da vulnerabilidade estrutural do centro histórico de Aracati, foi apresentada por Vicente (2008) para estudar a vulnerabilidade sísmica do centro histórico da Baixa de Coimbra e seu embasamento se baseia nos conceitos dos métodos GNDT-SSN (1994) e de Giovinazzi (2005) que se fundamentaram em estudos e levantamentos de danos pós-sismo por meio da avaliação das estruturas danificadas, listando as propriedades que comandam o comportamento das estruturas de alvenaria em construções antigas.

O procedimento de cálculo utilizado por Vicente (2008) trata tais propriedades das estruturas como parâmetros que são utilizados para o cálculo do índice de vulnerabilidade das fachadas. Nesse sentido, é calculado um índice de vulnerabilidade para cada construção, através da medida ponderada entre 14 parâmetros, que avaliam os aspectos do edificado que influenciam no comportamento sísmico, sendo cada um desses parâmetros classificados em 4 classes de vulnerabilidade.

A avaliação da vulnerabilidade estrutural das fachadas do centro histórico de Aracati dar-se-á pela aplicação da metodologia desenvolvida por Vicente (2008) e adaptada por Ferreira (2009) e Mota (2017) onde o índice de vulnerabilidade sísmica da fachada é calculado por meio de 10 parâmetros que estão relacionados com propriedades geométricas e mecânicas, e o estado de conservação das edificações, onde cada parâmetro é classificável em 4 classes de vulnerabilidade: A, B, C e D. A adaptação da quantidade de parâmetros foi realizada para simplificar a avaliação das características do edificado, analisando assim, apenas os aspectos mais relevantes. É relacionado a cada parâmetro um peso que varia entre 0,5 e 0,75, apresentando menor valor de peso os parâmetros com menor influência, e maior valor de peso os parâmetros com maior importância.

O valor obtido para índice de vulnerabilidade é uma média referida ao edificado e permite determinar uma estimativa do dano associada a um grau de ação sísmica (VICENTE, 2008). O índice de vulnerabilidade varia entre 0 e 650, porém é usual adotar o índice de vulnerabilidade normalizado, cujo valor varia entre 0 e 100. Assim, quanto maior o valor obtido para o índice de vulnerabilidade, maior será a vulnerabilidade sísmica da fachada.

Na Tabela 1 são apresentados os 10 parâmetros utilizados no cálculo do índice de vulnerabilidade, assim como o valor das classes, e o peso de cada parâmetro. Entre os parâmetros apresentados é possível perceber os parâmetros P5 e P6, apresentam maior influência no cálculo do índice, visto que o peso a eles associado é o de maior valor, evidenciando a sua importância.

É preciso considerar ainda, segundo Vicente (2008) o grau de incerteza que está associado a classificação de cada parâmetro no cálculo do índice de vulnerabilidade, pois os dados são obtidos por inspeções, que muitas das vezes não permitiam a visualização clara dos elementos. Assim, faz-se necessário estabelecer uma classificação quanto ao grau de confiança, adotando para cada parâmetro uma medida que possibilite avaliar a credibilidade da escolha feita para a classe. Na Tabela 2, é apresentada a descrição para os quatro níveis de grau de confiança para a classificação de cada parâmetro (E-M-B-A), que têm como finalidade aprimorar e monitorar a qualidades dos resultados obtidos no cálculo do índice de vulnerabilidade (VICENTE, 2008).

Tabela 1 – Cálculo do índice de vulnerabilidade da fachada.

PARÂMETRO	Classe $c_{vi}$				Peso	GC
	A	B	C	D	$p_i$	
P1	Geometria da fachada	0	5	20	50	0,5
P2	Esbelteza máxima	0	5	20	50	0,5
P3	Área de aberturas	0	5	20	50	0,5
P4	Desalinhamento de aberturas	0	5	20	50	0,5
P5	Qualidade dos materiais	0	5	20	50	0,75
P6	Estado de conservação	0	5	20	50	0,75
P7	Eficiência da ligação das paredes ortogonais	0	5	20	50	0,5
P8	Ligação aos diafragmas horizontais e cobertura	0	5	20	50	0,5
P9	Impulsos de cobertura	0	5	20	50	0,5
P10	Elementos não-estruturais	0	5	20	50	0,5

Fonte: VICENTE (2008).

Tabela 2 – Definição dos quatro níveis de grau de confiança.

GRAU DE CONFIANÇA	
E	Informação com grau de confiança próximo do exato, realizada de forma direta pela visualização <i>in situ</i> , que permite avaliar as condições reais da construção.
M	Informação majoritariamente deduzida e que se baseia na leitura indireta de ensaios, e informações verbais aceitáveis, que possuem média credibilidade.
B	Informação baseada em suposições cognitivas presumíveis sobre técnicas usuais e comuns a tradição de construção da época na região, apoiadas em informações verbais que por vezes são discordantes.
A	Informação usada como escolha casual, de caráter indicativo, possuindo um grau de certeza liminar.

Fonte: VICENTE (2008).

Serão apresentados a seguir, os 10 parâmetros para avaliação da vulnerabilidade que serão utilizados na determinação do índice de vulnerabilidade de fachada do sítio histórico de

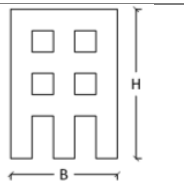


Aracati, bem como a especificação das classes de vulnerabilidade que estão relacionadas a cada parâmetro.

O parâmetro P1 faz uma caracterização do sistema resistente no que diz respeito as propriedades que comandam o comportamento estrutural da construção. Esse parâmetro avalia a geometria da fachada utilizando-se da relação entre a altura (H) e a largura da base (B) do edificado. O seu conceito de aplicação só faz sentido quando a análise é combinada a de outros parâmetros que também avaliam aspectos geométricos do edificado, especificamente os parâmetros P3, P7 e P8. As classes de vulnerabilidade para o parâmetro P1 estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Definição das classes de vulnerabilidade para o parâmetro P1.

Parâmetro P1	
A	$H/B < 0,4$
B	$0,4 \leq H/B < 0,6$
C	$0,6 \leq H/B < 1,0$
D	$H/B \geq 1,0$

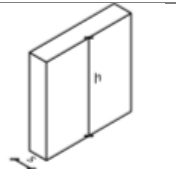


Fonte: VICENTE (2008).

A avaliação da esbelteza máxima das paredes é feita pelo parâmetro P2, levando em conta que quanto maior a esbeltez da parede, maior o risco de colapso. Esse parâmetro avalia a relação entre a altura da parede (h) e sua espessura (s), conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Definição das classes de vulnerabilidade para o parâmetro P2.

Parâmetro P2	
A	$h/s \leq 9$
B	$9 < h/s \leq 15$
C	$15 < h/s \leq 20$
D	$h/s > 20$



Fonte: VICENTE (2008).

No parâmetro P3 é analisado o comportamento de resposta de um painel de parede quando submetido a esforços horizontais, visto que o desempenho da alvenaria está diretamente relacionado com a dimensão e configuração das aberturas, uma vez que o trajeto de carga feito pela transmissão de tensão nas paredes é que comanda e determina os mecanismos de dano no plano da fachada. O grau de dano suportado pela parede apresenta maior valor quanto menor for a área de espessura das paredes resistentes, uma vez que essas apresentarão menor capacidade de dispersão de energia. Na Tabela 5 estão apresentadas as classes de vulnerabilidade para o parâmetro P3.

Tabela 5 – Definição das classes de vulnerabilidade para o parâmetro P3.

<b>Parâmetro P3</b>	
A	Área de aberturas inferior a 20%
B	Área de aberturas inferior a 35%
C	Área de aberturas inferior a 60%
D	Área de aberturas superior a 60%

Fonte: VICENTE (2008).

Os métodos de rompimento no plano de parede são influenciados pela dimensão das áreas de aberturas nas alvenarias e pelo seu desalinhamento. O parâmetro P4 avalia o efeito negativo que a distribuição de tensões decorrente do desalinhamento e dimensão das aberturas acarreta às construções, pois propicia a criação de esforços concentrados, Tabela 6.

Tabela 6 – Definição das classes de vulnerabilidade para o parâmetro P4.

<b>Parâmetro P4</b>	
A	Aberturas de dimensão regular e alinhadas em altura.
B	Aberturas de dimensão regular ou irregular desalinhadas horizontalmente em mais de $\frac{1}{2}$ da sua altura.
C	Aberturas de dimensão regular ou irregular desalinhadas verticalmente em mais de $\frac{1}{2}$ da sua largura.
D	Aberturas de dimensão regular ou irregular totalmente desalinhadas vertical ou horizontalmente. Casos de aberturas de grandes vãos ao nível de qualquer piso.

Fonte: VICENTE (2008).

As construções patrimoniais costumam apresentar variações na constituição de seus materiais, dimensões dos materiais e nas técnicas utilizadas, e isso atribui a elas diferentes valores de resistência. Desse modo, o parâmetro P5 analisa a qualidade das alvenarias com base em três condições: i) homogeneidade do material constituinte, forma, dimensão e natureza; ii) configuração de assentamento e arranjo da alvenaria; e iii) tipo de ligação transversal entre panos de própria parede, conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 – Definição das classes de vulnerabilidade para o parâmetro P5.

<b>Parâmetro P5</b>	
A	Alvenaria de tijolo de boa qualidade (maciço ou perfurado até 45% de vazios). Alvenaria de pedra bem talhada com unidades homogêneas e de tamanho uniforme em toda a extensão das paredes. Alvenaria de pedras irregulares bem argamassada e travada/embricada, existindo ligação transversal entre as duas faces da parede.
B	Alvenaria de tijolo (área perfurada < 45%). Alvenaria de pedra bem talhada com unidades pouco homogêneas em toda a extensão das paredes. Alvenaria de pedra irregular com ligação transversal entre as duas faces da parede.
C	Alvenaria de tijolo de baixa qualidade com irregularidades de assentamento e de ligação. Alvenaria de pedra com unidades não trabalhadas e de dimensões heterogêneas. Alvenaria de pedra irregular sem ligação transversal, no entanto bem argamassada e travada.
D	Alvenaria de tijolo de má qualidade com interseção de fragmentos de pedra. Alvenaria de pedra com unidades muito irregulares e sem travamento cuidado (criando vazios). Alvenaria de pedra irregular sem ligação transversal, mal argamassada e mal travada.

Fonte: VICENTE (2008).

O parâmetro P6 analisa a edificação quanto ao estado de conservação mediante análise das zonas de cunhais e de elementos de ligações às paredes ortogonais, identificando a configuração, localização, abertura e origem da fissuração, Tabela 8.

Tabela 8 – Definição das classes de vulnerabilidade para o parâmetro P6.

<b>Parâmetro P6</b>	
A	A fachada não se encontra fissurada.
B	A fachada encontra-se fissurada ao nível dos revestimentos, junto aos pontos de concentração de tensões (cantos). A fachada apresenta sinais de fissuração reparada.
C	A fachada apresenta sinais de assentamento (fissuração em espinha de peixe ou inclinada), fissuras a meio vão das aberturas (flexão), fissuras de desligamento com abertura crescente em altura, fissuras por impulso da cobertura ou por transferência de carga indevida, fissuras inclinadas (por aberturas desalinhadas, caminho de carga).
D	A fachada apresenta fissuras trespassantes e sinais de desagregação graves. Paredes de fachada abauladas ou fora de plano.

Fonte: VICENTE (2008).

No parâmetro P7 é analisada a qualidade das ligações às paredes ortogonais, de acordo a eficácia, visto que, quanto melhor for essa ligação, menores serão os mecanismos de colapso para fora do plano da alvenaria. Assim como para o parâmetro P6, deve ser dada maior atenção aos cunhais, uma vez que o travamento das paredes sendo executado com eficiência nessas regiões, evitará o desprendimento ou desligamento provocado pelo envelhecimento ou pelos ciclos de temperatura. A Tabela 9 apresenta as classes de vulnerabilidade para o parâmetro P7.

Tabela 9 – Definição das classes de vulnerabilidade para o parâmetro P7.

<b>Parâmetro P7</b>	
A	A fachada encontra-se bem ligada às paredes ortogonais, aos pavimentos e cobertura (por meio de elementos metálicos de cintagem, tirantes e ainda por boas técnicas de assentamento e travamento da alvenaria). Verificam-se estas formas de ligação em todos os cunhais e ligações ortogonais entre paredes.
B	A fachada encontra-se apenas bem ligada por boas técnicas de assentamento e travamento da alvenaria nos cunhais e não há sinais de fragilização. Verifica-se as condições da classe A apenas em alguns cunhais e ligações ortogonais.
C	A fachada não se encontra bem ligada às paredes de empena ortogonais (situação comum para os edifícios em banda construídas em fases distintas) mas não há sinais de fragilização. Poder-se-ão verificar as condições da classe B apenas em alguns cunhais e ligações ortogonais.
D	A fachada apresenta deformações, com risco considerável de desmoronamento (fissuras que denunciam esta situação de falta de estabilidade). Verifica-se desprendimento, desligamento ou fissuração trespassante na zonados cunhais e ligações ortogonais.

Fonte: VICENTE (2008).

A eficiência das ligações dos diafragmas horizontais e da cobertura às paredes de fachada é avaliada no parâmetro P8. Elementos como frechal, viga de cimento embutida na parede e ligação com o uso de recursos metálicos, são considerados boas técnicas de ligação. Para representar uma boa ligação, esses elementos deverão ser executados por todo o perímetro

nas duas direções do pavimento e em todos os elementos do pavimento, conforme apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 – Definição das classes de vulnerabilidade para o parâmetro P8.

<b>Parâmetro P8</b>		
Nº de diafragmas horizontais com ligação eficiente (%)	Classe	FZA ou DA ou FS
$\geq 75\%$	A	B
$\geq 50\%$ e $< 75\%$	B	C
$\geq 25\%$ e $< 50\%$	C	D
$< 25\%$	D	-

FZA – Fragilização dos pavimentos na zona de apoio; DA – Sinais de deformação, apodrecimento, retração e distorção grave; FS – Falta de segurança de circulação

Fonte: VICENTE (2008).

O parâmetro P9 analisa a possibilidade de a cobertura provocar impulsos horizontais nas paredes, cuja capacidade está relacionada sobretudo com a configuração estrutural da cobertura (peso, dimensão do vão e condições de apoio no perímetro). A solução estrutural adotada para a cobertura, a existência ou não de elementos de ligação à parede, a circunstancial presença de uma cinta perimetral ou de tirantes, e ainda o seu estado de conservação, são fatores determinantes que influenciam diretamente na possibilidade de a cobertura provocar impulsos horizontais nas paredes, Tabela 11.

Tabela 11 – Definição das classes de vulnerabilidade para o parâmetro P9.

<b>Parâmetro P9</b>					
Impulso	Cinta perimetral	Tirantes	Classe	Estado de conservação	
				Mau	Péssimo
Não impulsivo	1 (Sim)	1 – 0	A	B	C
	1 – 0	1	A	B	C
	0 (Não)	0	B	C	D
Pouco	1	1-0	B	C	D
Impulsivo	1 – 0	1	B	C	D
	0	0	C	D	D
Impulsivo	1	1 – 0	C	D	D
	1 – 0	1	C	D	D
	0	0	D	-	-

Fonte: VICENTE (2008).

No parâmetro P10 é feita a avaliação da ligação de elementos não-estruturais conectados e/ou apoiados na fachada, uma vez que sua presença estabelece um risco de queda e intensifica os danos provocados para a parede de fachada quando submetida a uma ação sísmica. Alguns exemplos de elementos não estruturais são varandas, marquises e equipamentos de ar-condicionado. A Tabela 12 apresenta as classes de vulnerabilidade para o parâmetro P10.

Tabela 12 – Definição das classes de vulnerabilidade para o parâmetro P10.

<b>Parâmetro P10</b>	
A	Não existem varandas, platibandas, ornamentos, floreiros, nem outros elementos (equipamentos mecânicos, aparelhos de ar condicionado, sinais luminosos ou reclamos etc.) ligados à fachada.
B	Existência de alguns elementos de peso reduzido (candeeiros, sinais luminosos, reclamos, toldos, etc.) ligados à fachada. Não existem varandas, nem platibandas.
C	Existência de alguns elementos de peso considerável (equipamentos mecânicos, aparelhos de ar condicionado, etc.) ligados à fachada. Não existem varandas nem platibandas.
D	Existência de varandas, platibandas, ou outros elementos pesados ligados à fachada.

Fonte: VICENTE (2008).

## 5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

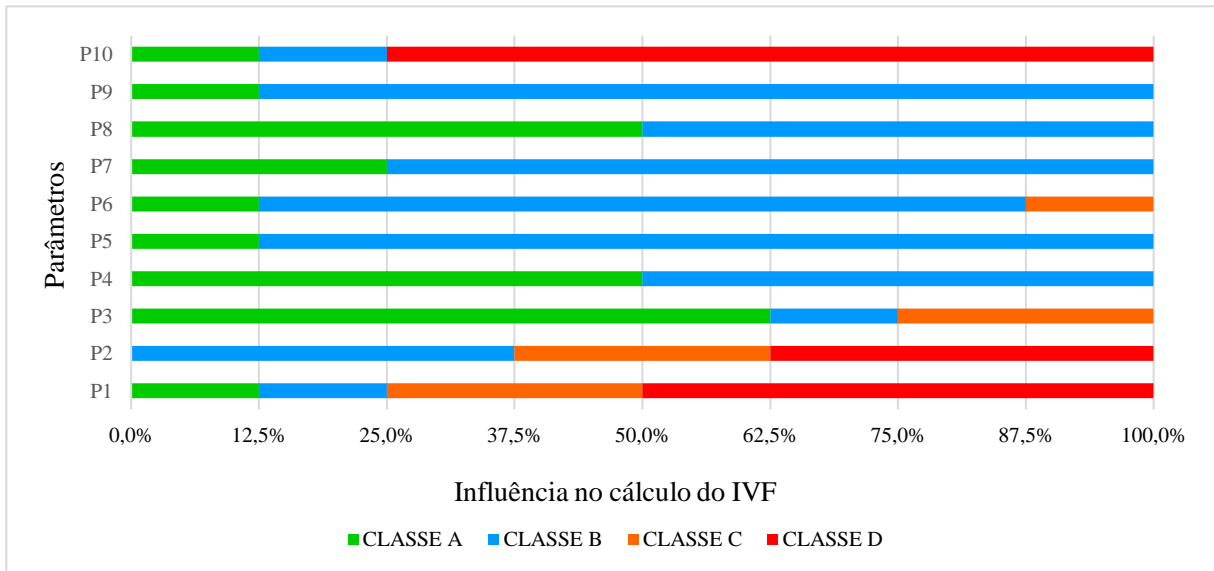
### 5.1 Avaliação da vulnerabilidade do sítio histórico de Aracati

O método de cálculo do índice de vulnerabilidade desenvolvido por Vicente (2008) e adaptado por Ferreira (2009) e Mota (2017), baseia-se no cálculo de uma média ponderada entre 10 parâmetros, onde cada parâmetro possui 4 classes de vulnerabilidade, respectivamente A, B, C e D. Cada classe apresenta um valor, sendo de 0 para a classe A, 5 para a classe B, 20 para a classe C e 50 para a classe D, onde A representa menor vulnerabilidade e D maior vulnerabilidade. A cada classe é atribuído um peso  $p_i$ , cujo valor varia entre 0,5 e 0,75, sendo o maior valor de peso conferido aos parâmetros P5 e P6 apenas. Desse modo, o índice de vulnerabilidade da fachada,  $I_{vf}$ , é obtido pela expressão:

$$I_{vf} = \sum_{i=1}^{10} C_{vi} \times p_i$$

Vale ressaltar que o índice de vulnerabilidade varia entre 0 e 650, mas que por comodidade costuma-se usar o valor do índice de vulnerabilidade de fachada normalizado que varia entre 0 e 100. Essa metodologia foi aplicada para os 8 edifícios característicos do centro histórico de Aracati. Na Figura 14 está mostrada a distribuição de classes em cada parâmetro com base nos resultados obtidos durante a análise, onde a escolha das classes para cada parâmetro foi determinada utilizando-se de critérios que melhor caracterizassem a construção no que diz respeito a sua geometria, esbelteza, qualidade dos materiais e elementos que a constituem.

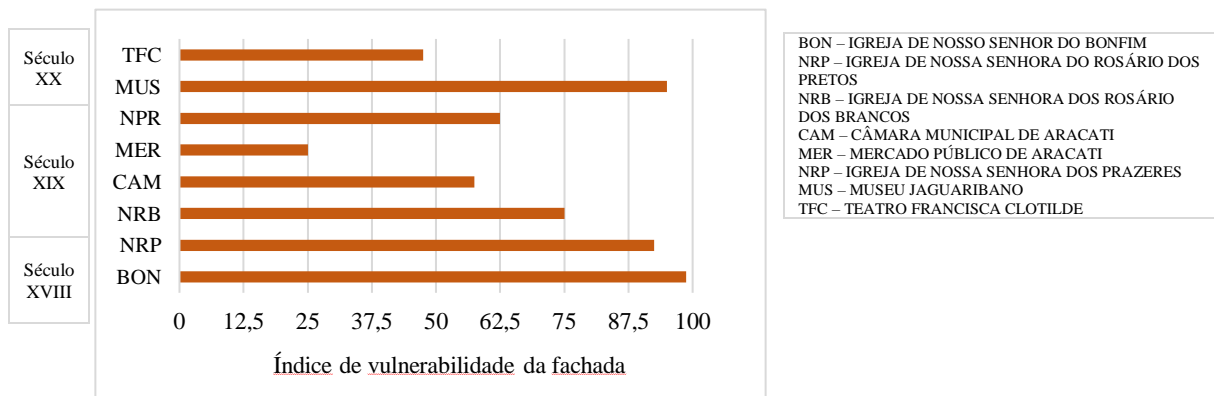
Figura 14 – Distribuição das classes em cada parâmetro.



Fonte: Da autora (2019).

Com base na aplicação do método do índice de vulnerabilidade da fachada para as 8 edificações características do sítio histórico de Aracati, foi obtido um  $I_{vf}$  médio de 69,22. O máximo valor obtido para toda a área de estudo foi de 98,75 e o mínimo valor obtido foi de 25. Na Figura 15 estão apresentados os valores de índice de vulnerabilidade de fachada obtidos para as 8 construções históricas analisadas. Entre os parâmetros usados para o cálculo do  $I_{vf}$ , pode-se destacar que os parâmetros P1, P2 e P6 foram determinantes para o valor máximo encontrado, e que os parâmetros P1, P8 e P10 influenciaram diretamente no menor valor de  $I_{vf}$  obtido.

Figura 15 – Índice de vulnerabilidade para as paredes de fachada.

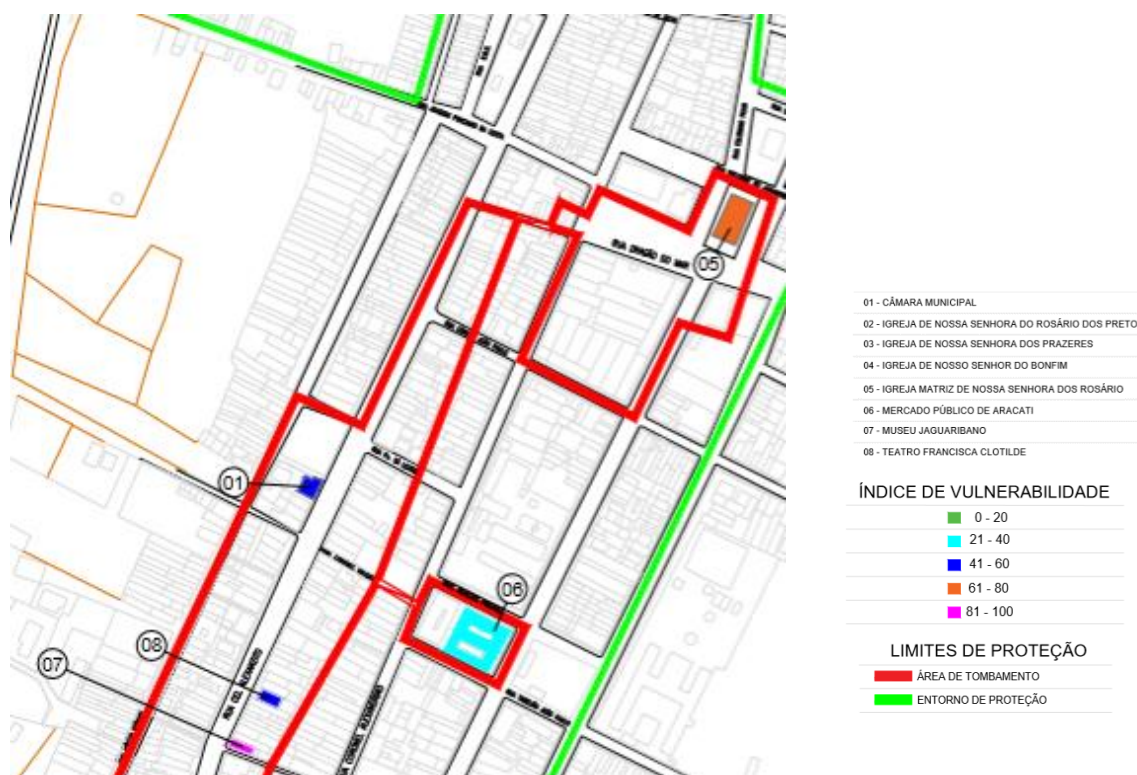


Fonte: Da autora (2019).

Nas Figuras 16 e 17 está apresentada a distribuição espacial da vulnerabilidade sísmica de fachada de todas as edificações que estão incluídas na área de estudo desse trabalho. É

possível perceber que as fachadas que apresentam maior índice de vulnerabilidade estão dispersas em toda a área de estudo, e que os edificados que apresentaram o índice de vulnerabilidade mais elevado (81-100) foram: a Igreja de Nossa Senhora dos Prazeres, o Museu Jaguaribano e a Igreja de Nosso Senhor do Bonfim.

Figura 16 – Mapeamento de vulnerabilidade estrutural das paredes de fachada



Fonte: Da autora (2019).



Figura 17 – Mapeamento de vulnerabilidade estrutural das paredes de fachada



Fonte: Da autora (2019).

## 6 PROPOSTAS DE METODOLOGIAS DE INTERVENÇÃO

A intervenção como forma de promover a recuperação e reabilitação de estruturas deve ser realizada em conjunto com um plano de reforço, a fim de promover proteção a longo prazo para preservação das construções históricas (MESQUITA *et al*, 2015). Posteriormente à identificação das patologias e a sua origem, devem ser tomadas medidas para remediar por meio de um projeto de reabilitação e reforço, bem como adotar medidas que tenham o objetivo de melhorar o comportamento da estrutura, a fim de estabelecer medidas que possam evitar danos decorrentes de esforços horizontais, ou ainda quando há a ocorrência de recalques diferenciais (ROQUE, 2002).

A reabilitação de uma estrutura é um processo que tem como finalidade possibilitar o uso de forma eficiente da construção, mas que mantenha preservadas suas características que conferem um patrimônio histórico e de valor cultural para a sociedade. É preciso ter pleno conhecimento das técnicas tradicionais utilizadas do edificado a fim de mantê-las preservadas, promovendo a salvaguarda do sistema construtivo e conservando física e cultural da construção patrimonial (FIGUEIREDO, 2014).

### 6.1 Enquadramento

Como apresentado no capítulo anterior, algumas das edificações do centro histórico de Aracati apresentaram altos valores para o índice de vulnerabilidade de fachadas calculado, conforme dados apresentados no Capítulo 5. Nesse sentido, com base nos parâmetros utilizados para o cálculo do índice de vulnerabilidade de fachadas, as características apresentadas pela edificação são de extrema importância para o desempenho do sistema resistente da mesma, no que diz respeito a sua resistência aos esforços horizontais, comprovando a necessidade da implementação de intervenções de reforço que possam minimizar essas deficiências apresentadas, e reduzir sua vulnerabilidade.

De acordo com Ferreira (2009), as intervenções podem ser divididas em dois grupos:

- a) o primeiro grupo que é formado por intervenções locais, onde o objetivo da intervenção é a reparação ou consolidação de um elemento estrutural isolado.
- b) o segundo grupo é formado por intervenções globais, onde o objetivo é melhorar o desempenho global da estrutura.

Conforme exposto, esse trabalho tem o objetivo de analisar as fachadas das edificações, sendo assim, as intervenções locais serão a metodologia mais representativa para estabelecer técnicas de recuperação para as edificações.

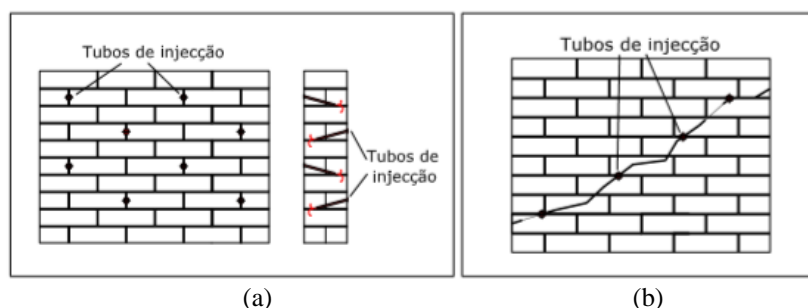
## 6.2 Intervenções locais de consolidação e reforço

Nos subtópicos seguintes serão apresentadas algumas das principais soluções de intervenção aplicadas em paredes de edifícios antigos com a finalidade de promover a reabilitação e reforço de construções em alvenaria.

### 6.2.1 Injeção de caldas

É um método utilizado em paredes que apresentam fendas exteriores ou vazios em seu interior, que não devem estar ativas (RODRIGUES, 2010). Sua aplicação é dada com maior frequência em paredes que manifestam problemas de fendilhação e/ou desagregação localizada e acentuada. Consiste em injetar uma calda fluída por meio de tubos colocados em furos previamente realizados na parede, a fim de preencher as cavidades existentes, como no caso de fissuras e de vazios internos. Sua aplicação é considerada passiva pois não há alteração do equilíbrio de forças (ROQUE, 2002).

Figura 18 – (a) Consolidação transversal; (b) Selagem de fendas.



Fonte: FERREIRA (2009).

O produto usado para a injeção deve ser escolhido de acordo com os materiais que compõem a parede e de acordo com o grau de degradação da mesma, atendendo aos critérios estabelecidos na intervenção e de modo a ser compatível com a alvenaria. Com a finalidade de melhorar a eficácia entre a ligação dos elementos de alvenaria, as caldas são usualmente

constituídas de base cimentícia. Ferreira (2009) recomenda o uso de argamassas que contenham aditivos anti-retração, com a finalidade de evitar problemas relativos a fenômenos de retração e de modo a não violar o princípio de compatibilidade. Na Tabela 13 está apresentada a classificação dos mecanismos de injeção de caldas, a saber: sob pressão, por gravidade, por vácuo.

Tabela 13 – Classificação das soluções de injeções.

	<b>Tipos de injeção</b>		
	Sob pressão	Por gravidade	Por vácuo
<b>Características da alvenaria</b>	Com capacidade para conter o impulso da pressão aplicada.	Destina-se a paredes de alvenaria muito degradadas.	É indicada para intervenções em pequenos elementos arquitetônicos, como pináculos e estátuas.
<b>Procedimento</b>	A calda é injetada através dos tubos de adução (ou das fendas existentes), de baixo para cima e dos extremos para o centro, para prevenir desequilíbrios na estabilidade estrutural.	A calda é injetada através de tubos de adução, ou através de seringas hipodérmicas, atuando sobre tubos previamente inseridos na parede. É realizada a partir do topo da parede através das fendas e vazios.	A penetração da calda faz-se por aspiração do ar nos tubos superiores, enquanto se procede à injeção nos tubos inferiores. Pressupõe a utilização de caldas muito fluidas

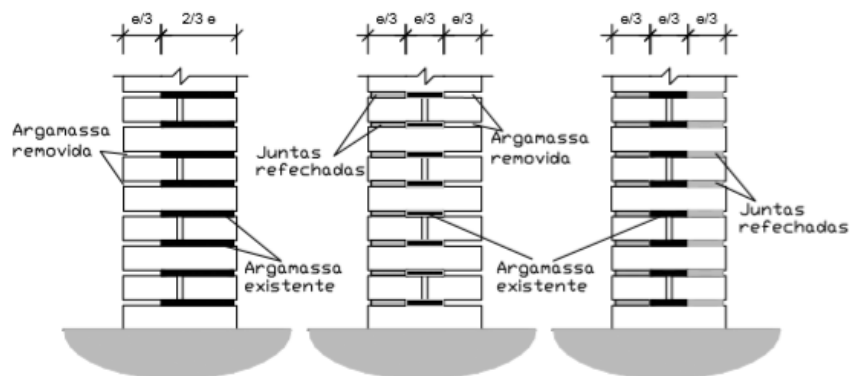
Fonte: RODRIGUES (2010).

### 6.2.2 Refechamento de juntas

Essa técnica é empregada para paredes de alvenaria onde as juntas de argamassa se encontram fracas ou ainda degradadas. Consiste na remoção parcial ou total da argamassa existente nas juntas e a sua substituição por uma nova argamassa que apresente melhores propriedades de durabilidade e mecânicas. As juntas costumam ficar degradadas pela presença de água, erosão, ou ainda pela ação de agentes biológicos, em específico, o caso das raízes de plantas que crescem entre as juntas (RODRIGUES, 2010). A nova argamassa escolhida para substituir a deteriorada deve atender aos critérios de compatibilidade com o material já existente. Roque (2002) define a execução dessa técnica com base em operações consecutivas:

- i) Remoção parcial da argamassa das juntas: consiste em remover a argamassa deteriorada e limpar a área onde será executada a nova argamassa, atendendo a uma profundidade de 5 a 7cm, sendo que caso a intervenção seja realizada para os dois lados da parede, essa profundidade deverá ser da ordem de  $1/3$  da espessura total da parede, sendo que após a remoção da argamassa de uma face da parede, deve-se preencher com a nova argamassa esse lado, antes de proceder com a remoção e limpeza da face oposta;
- ii) Lavagem das juntas abertas com água (a baixa pressão): executar a lavagem das ranhuras que foram abertas de modo a limitar a absorção pelo suporte de água da argamassa;
- iii) Reposição das juntas: executar cuidadosamente o preenchimento das juntas por meio de várias camadas de argamassas, alcançando desde as regiões mais profundas das ranhuras que foram abertas. A eficiência dessa intervenção sofre influência direta da compactação das camadas. O controle da execução é primordial nessa etapa visto que sua execução afeta diretamente o aspecto estético da parede.

Figura 19 – Profundidade das ranhuras abertas nas juntas quando se atua de um ou em ambos os lados da parede.



Fonte: TOMAZEVIC (1999)

### 6.2.3 Refechamento de juntas com armaduras

Consiste em uma modalidade de refechamento de juntas onde é realizada a remoção parcial da argamassa, e aplicação de armaduras de reforço antes de executar o refechamento das juntas. As armaduras utilizadas podem ser de aço inoxidável ou de FRP (Fiber Reinforced Polymer). Roque (2002) recomenda que a fim de melhorar o desempenho dessa intervenção

para paredes com grandes espessuras, o ideal é aplicar a técnica em ambas as faces da parede, e fazer a ligação por meio de pregagens transversais.

Figura 20 – Procedimentos em um refechamento armado com reforço de armaduras.



Fonte: BINDA (1999).

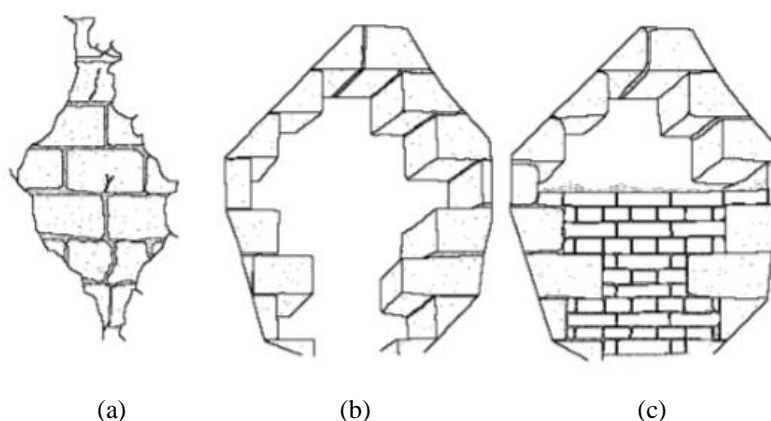
Pode-se destacar, de acordo com Roque (2002), vantagens na aplicação dessa técnica, como a fácil execução, a conservação do aspecto estético após a intervenção, que a variação do peso da estrutura é insignificante, e há reduzida perturbação das condições existentes. A aplicação dessa técnica produz um efeito confinante nas paredes, provocando redução potencial das deformações laterais, aumentando a resistência à compressão e restituição da resistência inicial da parede, e promovendo ainda proteção contra a ação da água (RODRIGUES, 2010). Entretanto sua aplicação é viável apenas para situações onde as juntas estejam regulares e para casos onde existam adições de cargas sobre as paredes.

#### 6.2.4 Desmonte e reconstrução ou substituição

Essa técnica é aplicável para elementos em alvenaria ou paredes onde seja necessário remover, reparar ou substituir partes, em situações nas quais outra técnica de intervenção não for viável (RODRIGUES, 2010). Deve ser efetuado desmonte e remoção das peças de forma cuidadosa, bem como a execução das áreas que foram removidas utilizando-se os materiais

originais, podendo também ser utilizados materiais novos que possuam características semelhantes e permitam a garantia da compatibilidade. Sua utilização tem por finalidade reestabelecer a funcionalidade da estrutura que está danificada, e no que diz respeito às construções históricas, isso garante também a restauração dos seus valores históricos e culturais. Sua capacidade de corrigir fendilhações e de atuar na melhoria da capacidade mecânica das alvenarias compensa o processo trabalhoso a que essa técnica está atrelada (ROQUE, 2002).

Figura 21 – (a) Zona danificada da parede; (b) Remoção de pedras; (c) Preenchimento da abertura.



Fonte: RODRIGUES (2010).

### 6.2.5 Gateamento de fendas

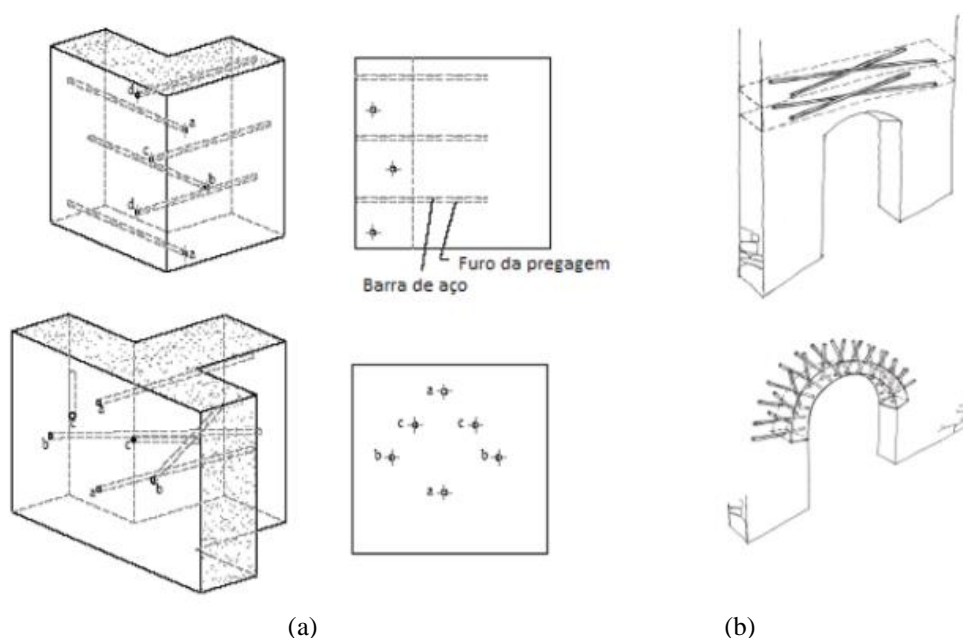
Essa técnica apresenta-se como uma alternativa para a utilização de redes metálicas. Para paredes com maior espessura sua aplicação pode tornar-se complicada, devendo atentar-se ao fato de que os gatos usados devem atravessar completamente as fendas nas duas faces da parede, mantendo-se interligados a fim de manter a parede como estrutura sólida. Ferreira (2009) ressalta que uma forma de complementar o gateamento para impedir a concentração de tensões elevadas nos elementos metálicos, é utilizando-se do gateamento complementado com injeções nas fendas.

### 6.2.6 Pregagens

Consiste em uma solução de intervenção com a finalidade de reforçar ou promover uma ligação entre dois elementos cooperantes. Essa técnica foi desenvolvida na Itália, após a II Guerra Mundial e consiste na execução de pregagens que são injetadas por meio de furos

abertos nas paredes, e são injetadas em seu interior caldas ou argamassas fluidas e colocadas barras ou varões de aço ou FPR. As características do elemento a que se deseja reforçar condicionam a quantidade, o diâmetro e o comprimento dos furos. Já a direção e a distribuição dos furos são condicionadas pela natureza e pela extensão dos danos de acordo com o objetivo pretendido.

Figura 22 – (a) Pregagens em paredes ortogonais; (b) Pregagens em outros elementos.



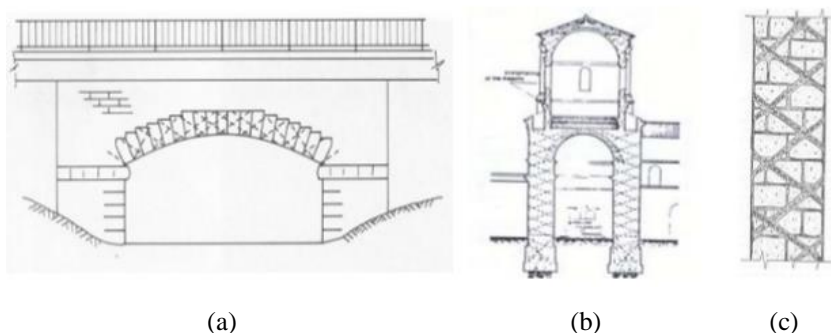
Fonte: RODRIGUES (2010).

Os tipos de pregagens podem ser classificados em (ROQUE, 2002):

- i) Generalizadas: quando o uso de pregagens em intervenções extensas consegue alterar as propriedades mecânicas da alvenaria, de modo a torná-la um material com capacidade de resistência a esforços de tração e de corte, melhorando suas características de resistência a compressão, o que o tornam semelhante ao betão armado. Os elementos de reforço mais comuns utilizados são barras de aço inoxidável que são dispostos em direções cruzadas, no interior da alvenaria, apresentando configuração de malha tridimensional. Os orifícios são selados de modo a preencher os vazios da alvenaria adjacentes aos furos.



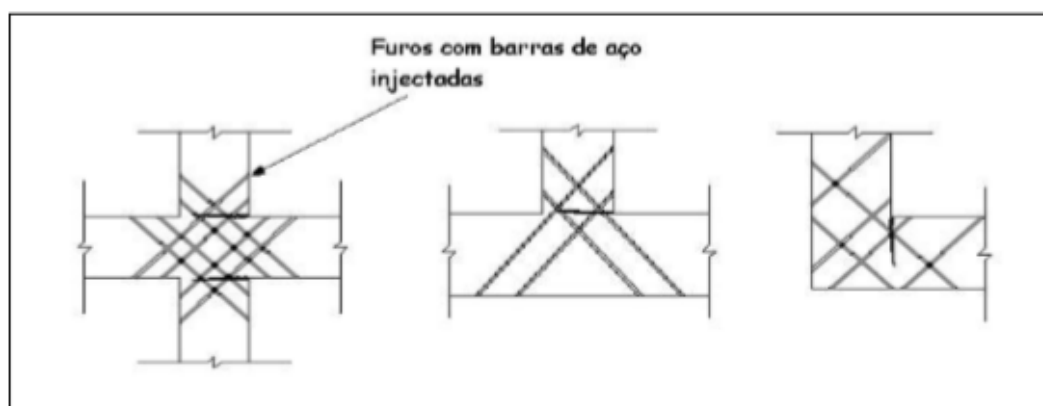
Figura 23 – Exemplos de pregagens generalizadas em elementos estruturais (a) Arco de uma ponte; (b) e (c) Reforço de paredes mestras.



Fonte: ROQUE (2002).

- ii) **Costura:** a aplicação dessa técnica consiste em uma intervenção para assegurar a resistência a tração em zonas críticas, ou como meio de ligação entre paredes perpendiculares entre si. Desse modo, atuam como uma “costura”, utilizada em elementos de alvenaria que requeiram maior coesão para melhorar as ligações sem promover alterações no aspecto exterior da parede.

Figura 24 – Exemplos da melhoria de ligações entre paredes com pregagens em direções cruzadas.

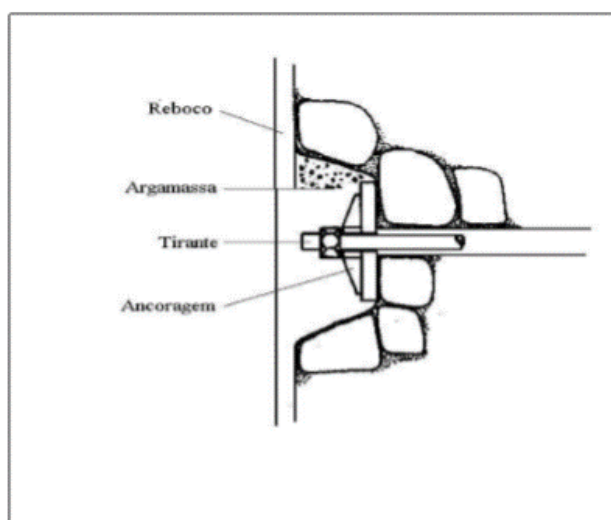


Fonte: MELI (1998).

- iii) **Transversais:** Possui características diferentes dos outros dois tipos apresentados, uma vez que a sua finalidade é fazer o confinamento da seção transversal da parede, a fim de promover a integridade estrutural utilizando-se de uma boa ligação entre os elementos. Com a sua aplicação há diminuição da possibilidade de ocorrência de instabilidade e também promove controle da dilatação transversal da parede quando sob a ação de cargas verticais, principalmente quando a ela é combinada a instalação de armaduras

longitudinais de reforço nas juntas horizontais. Sua utilização com função de confinamento também se dá para promover a fixação de rebocos armados e de encamisamento. Consiste na execução de furos transversais a alvenaria, cujos diâmetros variam entre 4 e 10 mm, procedida da introdução de barras de aço fixas por meio de ancoramento ou por aderência pelas extremidades, nas faces opostas da parede. Na Figura 23 é mostrado um sistema eficiente e de fácil aplicação para as pregagens transversais, que consiste no uso de barras rosqueadas, com sistema de ancoragem em anilha e porca de aperto nas extremidades.

Figura 25 – Sistema de ancoragem com porca e anilha.



Fonte: PICCIRILI (1996).

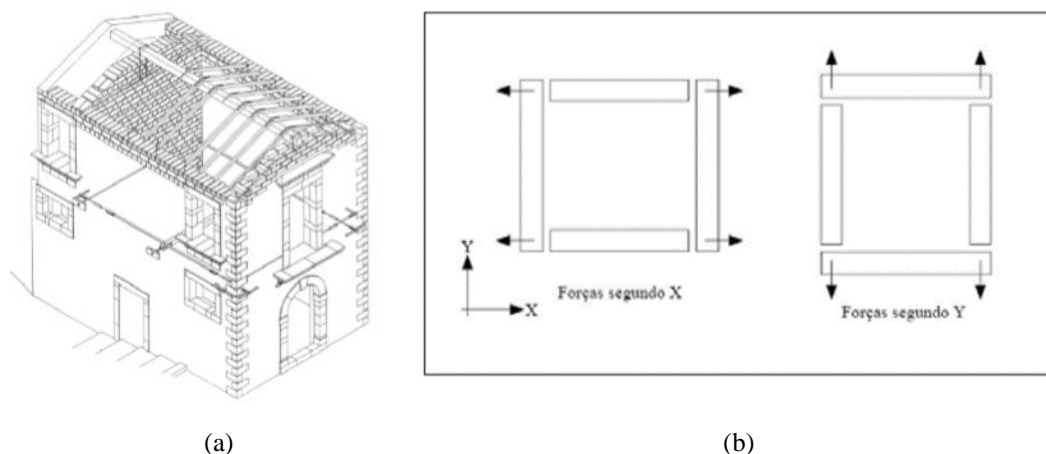
### 6.2.7 Tirantes

A aplicação de tirantes se dá para as estruturas que apresentem fracas ligações entre as paredes paralelas, a fim de prevenir a deformação transversal progressiva, a rotação da fachada para fora do plano e o colapso (RODRIGUES, 2010). A colocação de tirantes anti-corrosivos promove melhoria no comportamento sísmico das alvenarias, melhorando assim sua resistência a deslocamentos horizontais, pois promove a ligação entre as paredes ortogonais, impedindo sua movimentação (FERREIRA, 2009).

Os tirantes são elementos lineares que atuam resistindo a tração, podendo ser barras ou cabos de aço que são fixados a duas paredes paralelas utilizando-se de elementos de ancoragem, que atuam prevenindo a separação dos elementos e isso culmina na perda da capacidade

resistente. Além disso, segundo Rodrigues (2010), esses elementos atuam distribuindo a carga concentrada e evitando que sejam causados esforços em excesso na alvenaria, contribuindo para aumentar a resistência global da estrutura, pois promove uma boa ligação entre os elementos estruturais. Grandes concentrações de tensões devem ser evitadas, ressaltando assim a importância dos elementos de ancoragem que permitem ajustar a tensão periodicamente.

Figura 26 – (a) Tirantes ancorados nas paredes exteriores; (b) Forças horizontais nas ligações entre paredes.



Fonte: (a) RODRIGUES (2010); (b) ROQUE & LOURENÇO (2003).

### 6.2.8 Reforço com materiais compósitos FRP

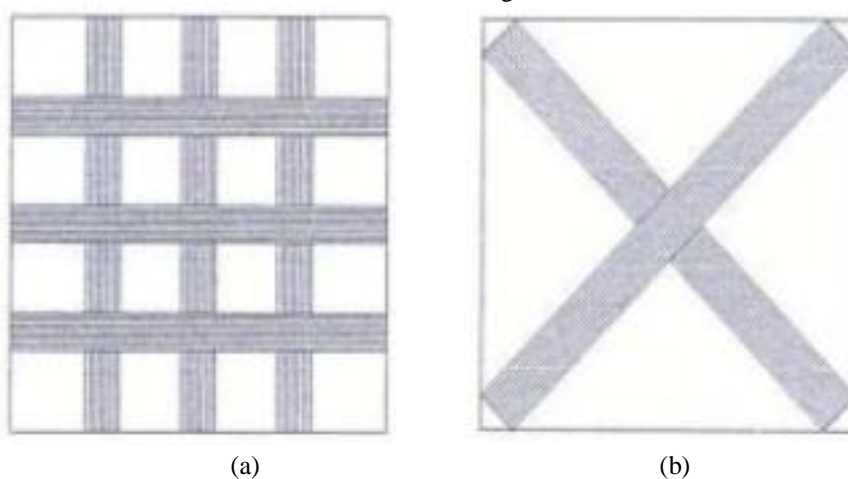
Os compósitos de FRP tiveram seu uso iniciado em reforços de estruturas de betão armado, e isso levou ao estudo para aplicar em estruturas de alvenaria. O início da sua aplicação data da década de 1940, quando era usado em indústrias de ponta como a indústria militar, aviação e espacial. Esse material é constituído por dois componentes, a saber: matriz e fibras de reforço. O primeiro é responsável por transmitir resistência das fibras para o suporte, e pode ter sua constituição em epoxy, poliéster, acrílica ou outro material. O segundo determina os compósitos FRP de acordo com a sua constituição e é responsável por promover resistência e rigidez axial para o reforço (FERREIRA, 2009).

Sua comercialização costuma ser feita em mantas, barras e em laminadas, podendo também, de acordo com a aplicação, serem comercializadas como fibras soltas. Entre os compósitos mais comumente utilizados, destacam-se as fibras de carbono (CFRP – Carbon Fiber Reinforced Polymer), as fibras de vidro (GFRP – Glass Fiber Reinforced Polymer), e as fibras de aramida (AFRP – Aramid Fiber Reinforced Polymer). Quando entrelaçadas e

associadas, as fibras constituem os elementos de manta ou telas, que podem tanto ser aplicados de forma generalizada para cobrir toda uma parede, como também em áreas pontuais de dano onde se deseja reforçar, podendo sua disposição ser adaptada de acordo com o propósito da intervenção.

É um procedimento que demanda alto custo, quando comparado ao aço, levando em conta sua baixa resistência ao fogo e aos raios ultravioleta, bem como o grau de incerteza existente relativo à sua durabilidade e ao seu comportamento de aderência. No entanto, é preciso salientar que esse método aumenta consideravelmente a resistência a tração da estrutura, também se comporta bem quando submetido a fadiga, e possui fácil aplicação, dentre outras vantagens (ROQUE, 2002). Na Figura 27 estão apresentadas duas das possíveis disposições das fitas de FRP.

Figura 27 – Diferentes disposições das fitas FRP em intervenções de reforço: (a) em grelha ortogonal; (b) em diagonal.



Fonte: ROQUE (2002).

### 6.2.9 Rebocos armados

A aplicação dessa estratégia de intervenção é tida como eficaz principalmente para os casos onde as alterações estéticas não são importantes, como no caso das alvenarias não-aparentes. É um procedimento usual e uma das soluções técnicas mais aplicadas, e destina-se para o caso de paredes que apresentem bom estado de conservação geral, porém com degradação superficial considerável (ROQUE, 2002). Consiste na aplicação de uma malha de armadura que é fixada à parede por meio de pregagens e sobre ela é aplicada uma camada de argamassa de revestimento que tenha espessura entre 2 e 3 cm.

Alguns exemplos de armadas mais usuais são as malhas de aço eletro soldadas que possuam varão de pequeno diâmetro, ou malhas de metal destendido (FERREIRA, 2009). A aplicação de rebocos armadas tem como objetivos principais aumentar a capacidade de deformação da estrutura, aumentar a resistência pelo uso de um material que resiste às tensões de tração superiores, o que permite controlar a formação de fendas, e evitar a concentração de tensões, aumentando a resistência superficial à tração e ao corte das paredes. Rodrigues (2010) ressalta ainda que a aplicação de rebocos armadas em elementos exteriores estabelece uma proteção contra a desagregação causada por agentes climáticos.

Figura 28 – Exemplo de um reboco armado com rede metálica.



Fonte: MAURÍCIO (2012).

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando-se que o desempenho estrutural das edificações está diretamente relacionado com os materiais e técnicas empregadas na sua construção, foram executados procedimentos de inspeção e análise, a fim de elaborar um parecer a respeito da vulnerabilidade estrutural de construções patrimoniais do centro histórico de Aracati. O trabalho foi elaborado por meio de observações e análise das características geométricas, registros dos materiais e da constituição dos elementos externos de todos os edificadas, que permitiram avaliar a vulnerabilidade estrutural das paredes de fachada, que são considerados os elementos mais críticos do ponto de vista estrutural.

Nesse trabalho foram analisadas 8 das 275 construções históricas que estão inseridas na área de tombamento rigoroso, a saber: Igreja de Nosso Senhor do Bonfim, Igreja de Nossa Senhora do Rosário dos Pretos, Igreja de Nossa Senhora do Rosário dos Brancos, Mercado Público de Aracati, Câmara Municipal de Aracati, Igreja de Nossa Senhora dos Prazeres, Museu Jaguaribano, e Teatro Francisca Clotilde. Sua escolha se deu pela enorme valia e representatividade para a história da cidade de Aracati.

O centro histórico de Aracati apresenta predominância de construções do século XIX, destacando-se relativo ao número de pavimentos 62,5% térreas, nomeadamente a Igreja de Nossa Senhora do Rosário dos Pretos, Igreja de Nossa Senhora dos Prazeres, Igreja de Nosso Senhor do Bonfim, Igreja de Nossa Senhora do Rosário dos Brancos, e o Mercado Público de Aracati. A influência lusitana nas técnicas construtivas é denotada pelas espessas paredes e tijolos maciços argamassados por uma mistura de barro e areia, sendo verificada a maior dimensão de 65cm de largura na Câmara Municipal de Aracati. Em suas coberturas prevalecem os telhados com telhas cerâmicas do tipo capa e canal e madeiramento com peças de seção robusta. A tintura à base de cal destaca-se como o tipo de revestimento predominante, presente em 62,5% das construções, sendo um relevante aspecto negativo de tal revestimento, sua alta suscetibilidade a degradação por umidade.

Mediante a inspeção, as principais manifestações patológicas identificadas foram mofo, manchas de umidade, fissuras mapeadas e fissuras devido a concentração de tensões, e deslocamento do revestimento. Em áreas pontuais foram ainda constatados danos como eflorescência, corrosão, descolamento com pulverulência, e ainda a desagregação do revestimento nas paredes de fachada do Mercado Público de Aracati, na Igreja de Nosso Senhor do Bonfim e na Igreja de Nossa Senhora dos Prazeres.

O método aplicado para a avaliação da vulnerabilidade estrutural das paredes de fachada das edificações do sítio histórico de Aracati se baseia na análise de 10 parâmetros geométricos através de 4 classes de vulnerabilidade, que permitiram analisar a vulnerabilidade das construções por meio de critérios que melhor caracterizassem a construção, no que se refere a sua esbelteza, a qualidade dos materiais empregados e dos elementos que a constituem. A aplicação da metodologia de avaliação da vulnerabilidade estrutural permite a construção de uma sistematização da avaliação das construções.

No contexto dos 8 imóveis analisados, constatou-se que 62,5% das construções apresentam estado de conservação regular, e 37,5% apresentam bom estado de conservação, verificando-se desse modo que mesmo que não estejam todos em um bom estado de conservação, se encontram preservados e propensos a passar por intervenções de manutenção e de conservação, a fim de reconstituir sua integridade física. A análise da vulnerabilidade estrutural das paredes de fachadas das edificações foi realizada utilizando-se de uma metodologia que se fundamenta em parâmetros qualitativos e quantitativos obtidos com base em informações gerais da estrutura, como dimensões e características geométricas, e analisando o comportamento dos materiais e elementos que constituem a edificação. Com a aplicação dessa metodologia para as 8 edificações características, foram obtidos, para o índice de vulnerabilidade de fachada, o máximo valor de 98,75, o valor médio de 69,22 e 25 para o valor mínimo.

Finalmente, apresentaram-se algumas das principais técnicas e estratégias de intervenção como medidas de consolidação e reforço, visto que quando aplicadas, promoverão redução da vulnerabilidade estrutural das paredes de fachada. A apresentação dessas medidas tem o intuito de servir como um guia para a execução de políticas públicas que promovam a reabilitação das construções patrimoniais, evitando que o processo de deterioração dessas edificações progrida de modo a comprometer a identidade cultural e o valor social do centro histórico para a cidade de Aracati.

Espera-se que essa pesquisa possa contribuir para futuros trabalhos e pesquisas, sobre a avaliação da vulnerabilidade estrutural em centros históricos e em conjuntos de edificados de interesse patrimonial. Sugere-se ainda que para um melhor entendimento e a plena compreensão do comportamento estrutural das construções históricas luso-brasileiras, seja executada a construção de modelos numéricos para cada uma das edificações a fim de validar o comportamento individual de cada uma.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10837**: procedimento de cálculo da alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.
- BEZERRA, G. B. D.; SOEIRO, M. A. R.; ALVES, A. L. S. A Igreja de Nossa Senhora do Rosário dos Pretos – Aracati - Ce: história e principais intervenções, CE. *In*: ENCONTRO DE PESQUISA SOBRE EDIFÍCIO E CIDADE, 1., 2018, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza: UNIFOR, 2018. p. 2-4.
- FERREIRA, T. *et al.* Metodologia de avaliação da vulnerabilidade sísmica das paredes de fachada de edifícios tradicionais de alvenaria. *In*: CONGRESSO DE SISMOLOGIA E ENGENHARIA SÍSMICA, 8., 2010, Aveiro. **Anais [...]**. Aveiro: Faculdade da Universidade do Porto, 2010. p. 2-3.
- FERREIRA, T. M. DOS. S. **Avaliação da vulnerabilidade sísmica das paredes de fachada de edifícios em alvenaria**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, [Portugal], 2009.
- FIGUEIREDO, M. G. DE. **Valorização do sistema construtivo do património edificado**. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, [Portugal], 2014.
- MESQUITA, E. *et al.* Boletim técnico: caracterização, avaliação e recuperação estrutural de construções históricas. **ALCONPAT**, Brasil, v.11, p. 4-10, dez. 2015.
- MESQUITA, E. F. T. **Structural characterization and monitoring of heritage constructions**. 2017. Thesis (Degree of Philosophy Doctor in Civil Engineering) – Faculty Of University of Porto, University of Porto, Porto, 2017.
- MIRANDA, P. S. T. **Avaliação da vulnerabilidade sísmica na realidade predial brasileira**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2010.
- MOTA, L. M. G. **Mapeamento da vulnerabilidade sísmica do centro histórico sobralense**. 2018. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Estadual Vale do Acaraú, Sobral, 2017.
- NASCIMENTO NETO, J. A. **Investigação das solicitações de cisalhamento em edifícios de alvenaria estrutural submetidos a ações horizontais**. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- OLIVEIRA, J. T.; LOURENÇO, P. B.; BARROS, J. A. Painéis de alvenaria cerâmica com juntas de concreto submetidos a ensaio de cisalhamento. *In*: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, 7., 2002, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: Escola de Engenharia – Universidade do Minho, 2002. p. 1-2.
- PINTO, M. *et al.* Análise dinâmica da Igreja Nossa Senhora do Rosário dos Homens Pretos, Aracati, CE. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE REABILITAÇÃO DAS CONSTRUÇÕES, 2., 2019, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza: [s. n.], 2019. p. 2-4.



RODRIGUES, J. M. V. **Principais técnicas de consolidação e reforço de paredes de edifícios antigos**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Lisboa, [Portugal], 2010.

ROQUE, J. C. A. **Reabilitação estrutural de paredes antigas de alvenaria**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Escola de Engenharia da Universidade do Minho, [São Paulo], 2002.

SILVEIRA, D. S. **Caracterização construtiva e mecânica de paredes de alvenaria de adobe de edifícios existentes**. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, [Portugal], 2016.

SUBTIL A.; FERREIRA, T.; VICENTE, R.; MENDES DA SILVA, J. A.R. Caracterização das paredes de fachada do edificado do núcleo urbano antigo do Seixal. *In*: CONGRESSO DE PATOLOGÍA Y REHABILITACIÓN DE EDIFICIOS – PATORREB, 4., 2012, Santiago de Compostela. **Anais [...]**. Santiago de Compostela: Colexio Oficial de Arquitectos de Galicia, 2012. p. 2-7.

VICENTE, R. DA. S. **Estratégias de e metodologias para intervenções de reabilitação urbana**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, [Portugal], 2008.

## APÊNDICE A – MAPEAMENTO DE DANOS DAS FACHADAS DAS CONSTRUÇÕES PATRIMONIAIS DO CENTRO HISTÓRICO DE ARACATI

Figura A.1 – Mapeamento de danos da fachada da Igreja de Nosso Senhor do Bonfim.



Fonte: Da autora (2019).

Figura A.2 – Mapeamento de danos da fachada do Museu Jaguaribano.



Fonte: Da autora (2019).

Figura A.3 – Mapeamento de danos da fachada da Igreja de Nossa Senhora do Rosário dos Pretos.



Fonte: Da autora (2019).

Figura A.4 – Mapeamento de danos da fachada da Igreja de Nossa Senhora do Rosário dos Brancos.



Fonte: Da autora (2019).

Figura A.5 – Mapeamento de danos da fachada da Igreja de Nossa Senhora dos Prazeres.



Fonte: Da autora (2019).

Figura A.6 – Mapeamento de danos da fachada da Câmara Municipal de Aracati.



Fonte: Da autora (2019).

Figura A.7 – Mapeamento de danos da fachada do Teatro Francisca Clotilde.



Fonte: Da autora (2019).

Figura A.8 – Mapeamento de danos da fachada do Mercado Público de Aracati.



Fonte: Da autora (2019).

**APÊNDICE B – TABELAS DE CÁLCULO PARA O ÍNDICE DE  
VULNERABILIDADE SÍSMICA DAS FACHADAS DO CENTRO HISTÓRICO DE  
ARACATI**

Figura B.1 – Índice de Vulnerabilidade Sísmica da Câmara Municipal de Aracati.

CÂMARA MUNICIPAL DE ARACATI					
	A	B	C	D	Pi
P1		5			0,5
P2				50	0,5
P3	0				0,5
P4		5			0,5
P5	0				0,75
P6	0				0,75
P7	0				0,5
P8	0				0,5
P9		5			0,5
P10				50	0,5
	A=50%	B=30%	C=10%	D=10%	
		Ivf=	<b>57,50</b>		

Fonte: Da autora (2019).

Figura B.2 – Índice de Vulnerabilidade Sísmica da Igreja de Nossa Senhora do Rosário dos Brancos.

IGREJA DE NOSSA SENHORA DO ROSÁRIO DOS BRANCOS					
	A	B	C	D	Pi
P1			20		0,5
P2				50	0,5
P3	0				0,5
P4		5			0,5
P5		5			0,75
P6		5			0,75
P7	0				0,5
P8		5			0,5
P9		5			0,5
P10				50	0,5
	A=20%	B=60%	C=10%	D=10%	
		Ivf =	<b>75,00</b>		

Fonte: Da autora (2019).



Figura B.3 – Índice de Vulnerabilidade Sísmica da Igreja de Nossa Senhora do Rosário dos Pretos.

IGREJA DE NOSSA SENHORA DO ROSÁRIO DOS PRETOS					
	A	B	C	D	Pi
P1				50	0,5
P2				50	0,5
P3	0				0,5
P4		5			0,5
P5		5			0,75
P6		5			0,75
P7		5			0,5
P8		5			0,5
P9		5			0,5
P10				50	0,5
A=10% B=60% C=0% D=30%					
Ivf= <b>92,50</b>					

Fonte: Da autora (2019).

Figura B.4 – Índice de Vulnerabilidade Sísmica da Igreja de Nossa Senhora dos Prazeres.

IGREJA DE NOSSA SENHORA DOS PRAZERES					
	A	B	C	D	Pi
P1			20		0,5
P2			20		0,5
P3	0				0,5
P4		5			0,5
P5		5			0,75
P6		5			0,75
P7		5			0,5
P8		5			0,5
P9		5			0,5
P10				50	0,5
A=10% B=60% C=20% D=10%					
Ivf= <b>62,50</b>					

Fonte: Da autora (2019).

Figura B.5 – Índice de Vulnerabilidade Sísmica da Igreja de Nosso Senhor do Bonfim.

IGREJA DE NOSSO SENHOR DO BONFIM					
	A	B	C	D	Pi
P1				50	0,5
P2				50	0,5
P3	0				0,5
P4	0				0,5
P5		5			0,75
P6			20		0,75
P7		5			0,5
P8	0				0,5
P9		5			0,5
P10				50	0,5
A=30% B=30% C=10% D=30%					
Ivf= <b>98,75</b>					

Fonte: Da autora (2019).

Figura B.6 – Índice de Vulnerabilidade Sísmica do Museu Jaguaribano.

MUSEU JAGUARIBANO					
	A	B	C	D	Pi
P1				50	0,5
P2				50	0,5
P3			20		0,5
P4	0				0,5
P5		5			0,75
P6		5			0,75
P7		5			0,5
P8	0				0,5
P9	0				0,5
P10				50	0,5
A=30% B=30% C=10% D=30%					
Ivf= <b>95,00</b>					

Fonte: Da autora (2019).

Figura B.7 – Índice de Vulnerabilidade Sísmica do Mercado Público Municipal de Aracati.

MERCADO PÚBLICO MUNICIPAL DE ARACATI					
	A	B	C	D	Pi
P1	0				0,5
P2		5			0,5
P3			20		0,5
P4	0				0,5
P5		5			0,75
P6		5			0,75
P7		5			0,5
P8	0				0,5
P9		5			0,5
P10	0				0,5
A=40% B=50% C=10% D=0%					
Ivf= <b>25,00</b>					

Fonte: Da autora (2019).

Figura B.8 – Índice de Vulnerabilidade Sísmica do Teatro Francisca Clotilde.

TEATRO FRANCISCA CLOTILDE					
	A	B	C	D	Pi
P1				50	0,5
P2		5			0,5
P3		5			0,5
P4	0				0,5
P5		5			0,75
P6		5			0,75
P7		5			0,5
P8		5			0,5
P9		5			0,5
P10		5			0,5
A=10% B=80% C=0% D=10%					
Ivf= <b>47,50</b>					

Fonte: Da autora (2019).