

JEFFERSON LUIZ ALVES MARINHO
ESEQUIEL FERNANDES TEIXEIRA MESQUITA
(Organizadores)

PATOLOGIAS DAS EDIFICAÇÕES

MANIFESTAÇÕES
NAS EDIFICAÇÕES E NO
PATRIMÔNIO HISTÓRICO

2ª edição
atualizada e ampliada



São Paulo - SP
2022

Organizadores

Jefferson Luiz Alves Marinho

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Ceará – UFC e mestrado em Engenharia e Tecnologia Ambiental pela Universidad de León - Espanha. Advogado com mestrado em Direito pela Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC – RS. Doutorando em Química Biológica – Universidade Regional do Cariri – URCA. Especialista em Avaliações e Perícias de Engenharia (Faculdade Osvaldo Cruz-SP). Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho (Unileão-CE). Especialista em Administração de Empresas (URCA-CE). Pró-Reitor de Administração da Universidade Regional do Cariri – URCA. Presidente do Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia do Ceará – IBAPE-CE. Ex-Diretor do Instituto Tecnológico do Cariri – ITEC (2014-2019). Professor Adjunto da Universidade Regional do Cariri – URCA. Foi Chefe do Departamento e coordenador do Curso de Tecnologia da Construção Civil – URCA em vários mandatos. Coordenador da pós-graduação *lato sensu* em Gerenciamento da Construção Civil – URCA. Coordenador do XIII CINPAR – *International Conference on Building Pathology and Constructions Repair* (2017). Perito Judicial, palestrante e autor dos livros: *Parceria Público-Privada e Resíduos da Construção Civil: Desafios Contemporâneos com enfoque na Solidariedade* – Editora Íthala (2018); *Manifestações Patológicas e Reabilitação de Estruturas* – Editora Íthala (2018); *Gerenciamento da Construção Civil: Reflexões sobre Sustentabilidade, Planejamento e Controle de Obras* – Editora Multideia (2017). Coautor do Livro *Comportamento de Misturas Asfálticas com altas taxas de asfalto reciclado: um estudo sobre a viabilidade técnica*. Editora: Livro Rápido (2016); Coautor do Livro *Diálogos Constitucionais sobre Demandas Sociais e Políticas Públicas* – Editora Íthala (2017).

E-mail: jeff.marinho@urca.br

Esequiel Fernandes Teixeira Mesquita

Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará – Campus Russas. Professor Convidado do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Florença (Itália) e Professor Colaborador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil da UFC e do Programa de Pós-Graduação da Área de Engenharia Civil do IFCE. Concluiu a graduação em Engenharia Civil, em 2012, pela Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA), e em 2017 obteve o PhD em Engenharia Civil pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), com bolsa da CAPES/BRASIL. De 2011 a 2012 foi Coordenador do Laboratório de Materiais de Construção da UVA, onde atuou nos campos de durabilidade das construções e caracterização de materiais, além de ter atuado como Chefe do Laboratório de Engenharia do Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará – NUTEC (2017/2018). Desde 2014 é Pesquisador Associado do Instituto de Telecomunicações de Aveiro, Portugal. Desde 2015 é membro Expert da Associação Latino-americana de Patologia das Construções (ALCONPAT) e desde 2018 é o Coordenador da CE-058:006.005 - Comissão de estudos de aplicações especiais com ultrassom da ABNT. Em 2016 recebeu o prêmio *Best Young Research Paper* durante o XII *International*

Conference on Structural Repair and Rehabilitation - CINPAR, no Porto. E em 2016 e 2017 foi finalista do prêmio Rodrigo Franco Melo de Andrade, pelos trabalhos realizados na área de avaliação e caracterização das construções históricas luso-brasileiras. Desde 2014, tem trabalhado com caracterização e monitorização das construções históricas cearenses com apoio do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN). Tem atuado como orientador e co-orientador de estudantes de graduação, mestrado e doutorado nas áreas de avaliação, caracterização experimental e durabilidade das construções em instituições nacionais e internacionais, além de ser autor ou coautor de mais de 70 publicações em jornais internacionais, conferências, boletins e patentes na área de patologia das construções, durabilidade das estruturas, monitorização estrutural e avaliação e caracterização das construções.

E-mail:emesquita@ufc.br

Colaboradores

Abrahão Bernardo Rohden	Israel Nilton Lopes Sousa
Alexandre Araújo Bertini	Ivana Lúcia Brito Lima
Aliny Abreu de Sousa Monteiro	João Lucas Lopes de Medeiros
Allan Araújo de Aguiar	Juscelino Chaves Sales
Amanda Daniel Fontenele	Kelvya Maria de Vasconcelos Moreira
Amanda Gabriela Dias Maranhão	Larissa Mara Gonçalves Mota
Amanda Maria Sousa Oliveira	Lia Fontenele Cavalcante
Andreza de Oliveira Torres Carvalho	Louise Caroline Peixoto Xavier
Angelo Just da Costa e Silva	Lucas da Silva Sousa
Antônio Eduardo Bezerra Cabral	Lucas Emanuel Fernandes Araujo
Antônio Márcio Fernandes Almeida	Lucas Menezes de Farias
Bianka Oliveira de Andrade	Marcelo Freires Pinto
Cássio de Souza e Silva	Marcos Andrew Rabelo Soeiro
Cássio Garcia Araújo	Margareth Gomes de Figueiredo
Daniel Lira Lopes Targino	Mateus Vieira Lima
Deborah Maia Cunha	Matheus Jacociunas Nunes
Diana Irene Barbosa Muro	Matheus Rocha da Silva
Edivaldo Pereira de Carvalho Neto	Mibson Michel Santiago Ramos
Emanuel Henrique Adriano Araújo	Rafael Pereira Maciel
Fabiana Lopes de Oliveira	Rany Luciano Afonso Nonato
Fabício Reimes Neves Rodrigues	Renata Maria Coelho Bezerra
Francisca Lilian Cruz Brasileiro	Rosineide Fernando da Paz
Gabriela Lotufo Oliveira	Sanmia de Lima Pinto
George Wyllyans de Oliveira Gomes	Sérgio Brazolin
Gerson Luiz Apoliano Albuquerque	Tallis Deyvide Maia Rubens
Giovanna de Araújo Carvalho	Willamy Rocha Castro da Cruz
Hélio Henrique Mees	Yllara Maria Gomes de Matos Brasil

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	11
--------------------	----

CAPÍTULO I

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS.....	13
--------------------------------	----

INVESTIGAÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NO SISTEMA CONSTRUTIVO LIGHT STEEL FRAMING	15
---	----

*Jefferson Luiz Alves Marinho
Lucas Menezes de Farias*

DESVALORIZAÇÃO DE IMÓVEIS POR INCIDÊNCIA DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS.....	28
--	----

*Jefferson Luiz Alves Marinho
Lucas Menezes de Farias*

UTILIZAÇÃO DA MATRIZ GUT NA ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM EDIFICAÇÕES.....	38
--	----

*Allan Araújo de Aguiar
Edivaldo Pereira de Carvalho Neto
Gerson Luiz Apoliano Albuquerque
Juscelino Chaves Sales*

MANUTENÇÃO PREVENTIVA COMPARADA À MANUTENÇÃO CORRETIVA EM EDIFÍCIOS.....	50
---	----

*Abrahão Bernardo Rohden
Matheus Jacociunas Nunes*

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM FACHADA REVESTIDA COM CERÂMICA.....	68
---	----

*Amanda Gabriela Dias Maranhão
Angelo Just da Costa e Silva
Bianka Oliveira de Andrade
Cássio de Souza e Silva*

Rany Luciano Afonso Nonato
Renata Maria Coelho Bezerra

ANÁLISE PATOLÓGICA DA ESTRUTURA DE UMA ESCOLA PÚBLICA 78

Amanda Daniel Fontenele
Giovanna de Araújo Carvalho
Kelvy Maria de Vasconcelos Moreira
Rafael Pereira Maciel

CAPÍTULO II

DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS 91

ANÁLISE ESTATÍSTICA COMPARATIVA ENTRE MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE CONCRETOS POR ROMPIMENTO AXIAL E ESTIMATIVA ULTRASSÔNICA 93

Aliny Abreu de Sousa Monteiro
Antônio Eduardo Bezerra Cabral
Antônio Márcio Fernandes Almeida
Daniel Lira Lopes Targino
Diana Irene Barbosa Muro
Mibson Michel Santiago Ramos
Rosineide Fernando da Paz

SOLUÇÕES DE DURABILIDADE NA VIDA ÚTIL DE PROJETO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO SUJEITAS A ATAQUES POR CLORETOS 107

Abrahão Bernardo Rohden
Hélio Henrique Mees
Matheus Rocha da Silva

AVLIAÇÃO NÃO-DESTRUTIVA DOS PILARES DE UMA PONTE 125

Esequiel Fernandes Teixeira Mesquita
João Lucas Lopes de Medeiros
Marcelo Freires Pinto
Tallis Deyvide Maia Rubens

A DURABILIDADE DE EDIFICAÇÕES DE MADEIRA NO BRASIL E O PROJETO ARQUITETÔNICO 135

Fabiana Lopes de Oliveira
Gabriela Lotufo Oliveira
Sérgio Brazolin

CAPÍTULO III

ADERÊNCIA DAS ARGAMASSAS	151
ANÁLISE DA PROPAGAÇÃO DE ONDAS ULTRASSÔNICAS EM PAINÉIS DE ALVENARIA ARGAMASSADOS COM PRESENÇA DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS.....	153
<i>Emanuel Henrique Adriano Araújo</i> <i>Esequiel Fernandes Teixeira Mesquita</i> <i>Israel Nilton Lopes Sousa</i>	
DESTACAMENTO DE PLACAS DE MÁRMORE EM FACHADA.....	182
<i>Amanda Gabriela Dias Maranhão</i> <i>Angelo Just da Costa e Silva</i> <i>Bianka Oliveira de Andrade</i> <i>Cássio de Souza e Silva</i>	
VARIAÇÕES DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO DE ARGAMASSAS MISTAS DE CIMENTO PORTLAND E CAL HIDRATADA.....	192
<i>Amanda Maria Sousa Oliveira</i> <i>Deborah Maia Cunha</i> <i>Francisca Lilian Cruz Brasileiro</i> <i>Ivana Lúcia Brito Lima</i> <i>João Lucas Lopes de Medeiros</i> <i>Lucas da Silva Sousa</i> <i>Mateus Vieira Lima</i> <i>Willamy Rocha Castro da Cruz</i>	
ANÁLISE DA FORMAÇÃO DE VESÍCULAS EM ARGAMASSAS MISTAS DE CAL	201
<i>Amanda Gabriela Dias Maranhão</i> <i>Angelo Just da Costa e Silva</i> <i>Bianka Oliveira de Andrade</i> <i>Cássio de Souza e Silva</i> <i>Rany Luciano Afonso Nonato</i> <i>Renata Maria Coelho Bezerra</i>	
EFEITO DA UMIDADE NO MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO DE ARGAMASSAS DE CIMENTO	209
<i>Alexandre Araújo Bertini</i> <i>Esequiel Fernandes Teixeira Mesquita</i> <i>Francisca Lilian Cruz Brasileiro</i> <i>George Wyllyans de Oliveira Gomes</i> <i>João Lucas Lopes de Medeiros</i> <i>Larissa Mara Gonçalves Mota</i> <i>Lia Fontenele Cavalcante</i> <i>Mateus Vieira Lima</i>	

CAPÍTULO IV

PATRIMÔNIO HISTÓRICO	219
ANÁLISE ESTÁTICA DE UMA IGREJA VERNACULAR DE INFLUÊNCIA LUSO-BRASILEIRA DO SÉCULO XVIII	221
<i>Esequiel Fernandes Teixeira Mesquita</i>	
<i>Marcelo Freires Pinto</i>	
<i>Marcos Andrew Rabelo Soeiro</i>	
<i>Tallis Deyvide Maia Rubens</i>	
ANÁLISE DINÂMICA DE UMA IGREJA HISTÓRICA EM ARACATI/CE	232
<i>Esequiel Fernandes Teixeira Mesquita</i>	
<i>Louise Caroline Peixoto Xavier</i>	
<i>Marcelo Freires Pinto</i>	
<i>Marcos Andrew Rabelo Soeiro</i>	
<i>Tallis Deyvide Maia Rubens</i>	
CARACTERIZAÇÃO DINÂMICA DA IGREJA DA EXPECTAÇÃO EM ICÓ, CEARÁ	243
<i>Cássio Garcia Araújo</i>	
<i>Esequiel Fernandes Teixeira Mesquita</i>	
<i>Marcos Andrew Rabelo Soeiro</i>	
ESTADO DE CONSERVAÇÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO HISTÓRICO DE SÃO LUÍS.....	254
<i>Margareth Gomes de Figueiredo</i>	
MAPEAMENTO E ANÁLISE DE PATOLOGIAS DAS FACHADAS DA ESTAÇÃO FERROVIÁRIA DA CIDADE DE CRATO/CE	265
<i>Andreza de Oliveira Torres Carvalho</i>	
<i>Fabício Reimes Neves Rodrigues</i>	
<i>Jefferson Luiz Alves Marinho</i>	
<i>Sanmia de Lima Pinto</i>	
<i>Yllara Maria Gomes de Matos Brasil</i>	
A UTILIZAÇÃO DA MATRIZ GUT PARA AVALIAÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DE UM PRÉDIO HISTÓRICO.....	284
<i>Juscelino Chaves Sales</i>	
<i>Lucas Emanuel Fernandes Araujo</i>	

APRESENTAÇÃO

O crescimento acelerado da construção civil e a busca constante por inovação tecnológica tem tornado este mercado cada vez mais exigente, buscando sempre qualidade e menor custo. Por outro lado, isso tem colocado em dúvidas o desempenho das edificações e chamado a atenção de pesquisadores para investigar as diversas manifestações patológicas que tem afetado seriamente as edificações.

Muitos estudos e pesquisas têm se desenvolvido em relação à Patologia das Edificações, mas a aplicação prática desses estudos ainda encontra entraves, principalmente devido à falta de qualificação profissional, baixo uso da inovação tecnológica e desconhecimento das propriedades de alguns materiais. De uma forma geral os resultados convergem à constatação de que os problemas provenientes de manifestações patológicas vão desde pequenos danos até comprometimento da segurança das edificações, podendo culminar com o colapso das estruturas.

Este livro é fruto do trabalho de pesquisadores, professores e alunos que preocupados com a temática da Patologia das Construções procuraram dar a sua contribuição através de seus estudos. São textos com variadas abordagens, todos de significativa relevância e atualidade, que vão desde as mais diversas manifestações patológicas em edificações, passando pela análise da durabilidade das estruturas, aderência de argamassas e concretos, e encerrando com a análise das manifestações patológicas no patrimônio histórico.

Reitero os agradecimentos ao amigo Esequiel Mesquita, especialista no assunto, com diversos artigos publicados em periódicos e

eventos nacionais e internacionais de renome. Assim como, a todos os colaboradores que contribuíram com seus artigos para que essa obra fosse concretizada, proporcionando ao leitor encontrar respostas para os mais diversos problemas patológicos que frequentemente surgem nas edificações.

Encerro esta apresentação agradecendo a todos que apostaram no conteúdo deste livro publicado em primeira edição no ano de 2020 pela Editora LEUD. Trata-se, assim, de uma obra que obteve aceitação positiva pelos leitores, estudantes e profissionais da área da Patologia das Edificações e da Engenharia Diagnóstica, tendo nos motivado a complementá-lo e atualizá-lo através da 2ª edição, a qual ora apresentamos aos leitores.

Jefferson Luiz Alves Marinho

Organizador

CAPÍTULO I



MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS



INVESTIGAÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NO SISTEMA CONSTRUTIVO *LIGHT STEEL FRAMING*

1 INTRODUÇÃO

A incorporação de práticas de sustentabilidade tem sido uma tendência crescente na indústria da construção civil, cujos profissionais e empresas já estão mudando a forma de produzir e gerir os empreendimentos. De acordo com o autor supracitado, preocupações com a utilização racional de energia e de matérias-primas, com a menor geração de resíduos, com a preservação do ambiente natural e com a melhoria da qualidade do ambiente construído, tem induzido as organizações a incorporarem novas técnicas construtivas.

Nessa perspectiva conceitual, o crescimento acelerado da construção civil e a busca constante por inovação tecnológica tem tornado o mercado cada vez mais exigente, buscando sempre qualidade e menor custo. Por outro lado, isso tem colocado em dúvidas o desempenho das edificações e chamado a atenção de pesquisadores para investigar as diversas manifestações patológicas que tem afetado seriamente as edificações. Para os autores supracitados, os problemas provenientes de manifestações patológicas vão desde pequenos danos até o comprometimento da segurança das edificações, podendo culminar com o colapso das estruturas.

Estruturas de forma geral, seja em concreto armado, metálicas, madeira ou outros materiais, possuem em comum o fato de resistirem a esforços mecânicos. Contudo, além de resistir a essas solicitações, sofrem também a influência de intemperismos, variações térmicas e higroscópicas, dentre outras, que ao longo do tempo, a depender do tipo empregado, resultará em um determinado grau de deterioração, seja conforme o tempo de vida útil da edificação, ou precocemente devido a fatores patológicos (TARGINO *et. al.*, 2020). Para os autores, é possível observar uma tendência crescente na ocorrência de manifestações patológicas ligadas a erros executivos, falta de capacitação para incorporação de novos processos e tecnologias não consolidadas.

Corroborando com esse entendimento, Santos *et. al.* (2018) afirmam que as condições que envolvem as variáveis ambientais específicas do meio em que cada edificação está inserida, as condições de uso, as características construtivas, a frequência de manutenção, entre outros fatores, favorece o surgimento de mecanismos de degradação bastante peculiares.

Schafirstein e D'ávila (2018) declaram que as manifestações patológicas se configuram como um problema antigo de grande importância, tanto do posto de vista econômico quanto do ponto de vista social. Para os autores supracitados, há uma série de fatores que interferem na vida útil de um sistema construído e que ocorrem durante todas as suas fases, sendo elas: o projeto, a execução e a posterior manutenção. Se tudo estiver em conformidade às especificações e aos parâmetros testados, há uma probabilidade real de que a vida desse sistema seja bastante duradoura.

Dito isso, o conhecimento e o tratamento das falhas de uma edificação colaboram com o aumento de sua vida útil, além é claro, de trazer notável segurança aos usuários e contribuir para melhorar a estética da cidade (ARAUJO e SALES, 2020).

Em função disso, a indústria da construção civil tem buscado sistemas construtivos mais eficientes no intuito de aumentar a produtividade, diminuir o desperdício e atender a uma demanda crescente.

Entre as opções, o sistema estrutural de aço tem se destacado, pois é um material resistente e que atende às solicitações de uma construção ágil, limpa, sustentável e de qualidade.

Nesse sentido, o sistema construtivo *Steel Frame*, também conhecido como construção LSF (*Light Steel Framing*) ou estrutura em aço, é reconhecido internacionalmente para definir o material construtivo que utiliza o aço galvanizado como principal elemento estrutural, gerando edificações de baixo peso. Com isso, pode-se entender que o aço será utilizado na construção no lugar do concreto, fazendo com que a edificação em si tenha o seu peso diminuído de forma tão significativa que suas fundações também são forçadamente menores (TEIXEIRA e SIMPLICIO, 2018).

Na grande maioria dos casos, a escolha pelo LSF é feita também devido à sua grande capacidade de resolver diferentes exigências de premissas e programas cada vez mais variáveis nos projetos atuais. A versatilidade e flexibilidade do material e de suas articulações referem-se às grandes capacidades de adaptação em relação a inúmeras tipologias, escolhas de acabamento, resistência a climas adversos, abalos sísmicos, riscos de incêndios e também distintas atemporalidades.

Outra característica que faz do LSF cada vez mais popular na atualidade é a sua ótima relação com a questão da sustentabilidade, grande tendência em várias esferas da vida contemporânea e um fator cada vez mais discutido e levado em conta nas premissas de projeto. Ele é ecologicamente correto na medida em que é pouco agressivo ao ambiente; a utilização de água é praticamente nula durante o processo de execução e não há grandes desperdícios em relação a nenhuma outra matéria-prima da natureza. Sendo um sistema construtivo a seco, a água empregada é limitada à fundação da edificação e ao assentamento de revestimentos cerâmicos (CHAN e FONTANINI, 2017).

Além disso, a especialização da mão de obra, em conjunto com a montagem em série, diminui consideravelmente o desperdício de

matéria prima. Com isso, um dos grandes impactos ambientais causados pela construção civil é reduzido. Deste modo, o LSF apresenta eficiência de materiais, uma das características da sustentabilidade (DEGANI, 2017).

Dito isso, este trabalho justifica-se, primeiramente, em virtude do sistema construtivo LSF gerar impactos no custo e tempo de execução da construção de forma que, mesmo que o custo direto com estes insumos seja maior por se tratarem de tecnologias pouco difundidas, os custos pela diminuição do tempo de obra e fatores administrativos podem tornar esta tecnologia viável. Nesse âmbito, o tema a ser estudado é relevante na minimização dos impactos ambientais, sociais e econômicos na construção civil. Posto isto, a originalidade do presente trabalho reside em realizar o levantamento das possíveis manifestações patológicas no sistema construtivo LSF na cidade de Barbalha/CE. Como objetivo secundário, foi verificado a implantação do LSF na referida cidade.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Nesta seção será apresentado o método aplicado aos estudos realizados (Figura 1). Para tanto, o percurso metodológico foi subdividido em cinco etapas essenciais: i) Revisão bibliográfica; ii) Visitas *in loco* às edificações construídas no sistema em LSF; iii) Coleta de dados através de entrevistas; iv) Quantificação e classificação das possíveis manifestações patológicas encontradas no sistema LSF; v) Avaliação dos possíveis tipos de manifestações patológicas encontradas cujas especificidades serão detalhadas posteriormente.



Figura 1 - Estrutura do programa metodológico.

Fonte: Própria (2022).

Conforme a Figura 1, inicialmente foi realizado uma revisão bibliográfica de trabalhos acadêmicos, cujo tema pudesse servir como base de conhecimento sobre o assunto na procura de informações qualificadas. As consultas aconteceram em pesquisas de artigos publicados recentemente em eventos científicos, dissertações e livros relacionados aos temas de: patologias, manifestações patológicas, custos para as construções em LSF, vantagens e desvantagens do sistema construtivo LSF, financiamentos bancários de obras construídas com LSF e minimização dos impactos ambientais na implantação do LSF, além de consultas em revistas e Normas Técnicas. Nas etapas posteriores, foram realizadas visitas técnicas nas obras construídas no sistema construtivo LSF na área de estudo da cidade de Barbalha/CE, que está descrita na subseção logo abaixo. Com isso, foram coletados dados, sobretudo a respeito dos seguintes tópicos sobre o LSF: quantificação de obras construídas na área de estudo juntamente com sua vida útil, incidência de manifestações patológicas, dificuldades de implantação do LSF na região do Cariri, vantagens e desvantagens, financiamento habitacional, relação custo/benefício das edificações, sustentabilidade, entre outros tópicos relevantes acerca do LSF para a elaboração deste trabalho.

2.1 Área de estudo

O município de Barbalha-CE integra o Triângulo Crajubar, formado com as cidades adjacentes, Juazeiro do Norte e Crato. Está situado na Mesorregião do Sul Cearense, distante 408 km em linha reta

da capital Fortaleza e pertencente à Região Metropolitana do Cariri (RMC), no qual tem uma população estimada em 61.662 habitantes, distribuídos em uma área de 608,158 Km² (IBGE, 2021). Está localizado na região Nordeste ao Sul do estado do Ceará, precisamente entre 7° 18' 40" de latitude Sul (S) e 39° 18' 15" de longitude Oeste (W), e limita-se ao Norte com os municípios de Missão Velha, Juazeiro do Norte e Crato; ao Sul com o município de Jardim; ao leste com o município de Missão velha e ao Oeste com o município de Crato (IBGE/IPECE, 2017). Nesse sentido, a área da pesquisa foi realizada no Loteamento Condomínio Cidade Kariris Residencial Club, deste município de Barbalha. A Figura 1 apresenta a localização da edificação da área de estudo, precisamente entre as coordenadas 7° 15' 57.53" de latitude Sul (S) e 39° 18' 30.32" de longitude Oeste (W).



Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.

Fonte: Própria (2022).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação à área de estudo existem três edificações construídas através do LSF, sendo que duas delas são residenciais com quatro



CAPÍTULO II

DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS



ANÁLISE ESTATÍSTICA COMPARATIVA ENTRE MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE CONCRETOS POR ROMPIMENTO AXIAL E ESTIMATIVA ULTRASSÔNICA

1 INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento do setor da construção civil e o aumento das tecnologias e métodos construtivos, é possível visualizar no panorama das obras edificadas, uma maior heterogeneidade nos tipos e métodos construtivos utilizados. Simultaneamente, é possível observar uma tendência crescente na ocorrência de manifestações patológicas ligadas a erros executivos, falta de capacitação para incorporação de novos processos e tecnologias não consolidadas.

Estruturas de forma geral, seja em concreto armado, metálicas, madeira ou outros materiais, possuem em comum o fato de resistirem a esforços mecânicos. Contudo, além de resistir a essas solicitações, sofrem também a influência de intemperismos, variações térmicas e higroscópicas, dentre outras, que ao longo do tempo, a depender do tipo empregado, resultará em um determinado grau de deterioração, seja conforme o tempo de vida útil da edificação, ou precocemente devido à fatores patológicos.

Segundo Figueiredo (2005), vários são os fatores que favorecem a ocorrência de falhas na execução de projetos, principalmente relativo aos de natureza estrutural. São eles, o uso de dosagens incorretas, emprego de processos inadequados de mistura, transporte, lançamento, adensamento, cura e descimbramento, além do emprego incorreto do tipo estrutural mais viável. Tais fatores contribuem significativamente para manifestações patológicas precoces, que possuem, na maioria dos casos, elevados custos de reparação e um elevado grau de impacto na edificação.

Relativo ao campo das tecnologias de avaliações estruturais, muito se tem abordado a respeito das tecnologias de avaliações não destrutivas, ou ENDs, que em sua generalidade, tratam-se de ensaios para determinação ou estimativa de aspectos físicos e químicos, sem a necessidade de intervenções destrutivas, causando pouco ou nenhum dano. A aplicação desses ensaios no setor da engenharia civil vem se tornando um tema de interesse crescente e contínuo, principalmente por utilizar vários tipos de materiais, desde metais, concreto, a outros compósitos. Contudo, a utilização dos ENDs pode se tornar mais complexa, devido à necessidade de maior conhecimento das propriedades e comportamento desses diversos materiais (LORENZI, 2016).

As finalidades desses ensaios são bem abrangentes e podem ser utilizados como controle tecnológico em pré-moldados, na verificação da qualidade de materiais fornecidos, investigações sobre a mistura, compactação, lançamento, cura ou transporte de concreto, monitorar a resistência, dentre outros (BS 1881: Part 201, 1986). Entre os vários ensaios que já existem à disposição, com normas nacionais e estrangeiras, alguns já são bem usuais ao cotidiano do setor de avaliações, como teste de carbonatação por fenolftaleína, avaliação da frente de cloreto, detecção eletromagnética da armadura, dureza superficial, velocidade de pulso ultrassônico, dentre outros.

Segundo a ABNT NBR 8802:2013, o ensaio de ultrassom é um método de avaliação qualitativa do concreto, utilizado para determinar a velocidade de propagação de ondas longitudinais, por meio de

pulsos ultrassônicos, através de um elemento estrutural de concreto. Suas principais aplicações são de analisar a homogeneidade do concreto, detectar falhas internas de concretagem, profundidade de fissuras e outras anomalias e monitoramento de variações, decorrentes do meio de agressividade ao qual está inserido. Neste método determina-se a frequência fundamental de ressonância do corpo de prova, podendo-se calcular o módulo de elasticidade dinâmico do concreto. A vibração pode ser aplicada em modo longitudinal, transversal ou torsional (EVANGELISTA, 2002). O coletor recebe as vibrações simplificadas e sua amplitude é medida por um indicador adequado (NEVILLE, 1997). Algumas metodologias utilizam o parâmetro de velocidade para estimar quantitativamente algumas características físicas como módulo de elasticidade e resistência à compressão, contudo, nem sempre essa estimativa é precisa ou eficaz.

Dessa forma, o presente estudo visa realizar uma análise estatística e comparativa entre as diferentes medidas da variável de resistência à compressão, por método direto, através do rompimento dos corpos de prova por compressão axial, e método indireto, através das estimativas realizadas com base na velocidade do pulso ultrassônico.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A execução dos ensaios de rompimento à compressão axial e determinação da velocidade do pulso ultrassônico, conforme a ABNT NBR 5739:2018 e a ABNT NBR 8802:2013 respectivamente, foram realizados em 12 corpos de prova cilíndricos de concreto 10x20cm, moldados conforme recomendações da ABNT NBR 5738:2015.

2.1 Materiais utilizados

Para composição dos CPs foi utilizado um Cimento Portland Composto CP II-E, teor de escória de 6 a 34% de acordo com a ABNT NBR 16697:2018. A análise química obtida por fluorescência de raios-X é listada na Tabela 1, juntamente aos resultados dos ensaios

físicos, realizados pelo fabricante, como verificação aos requisitos mínimos de norma. Como observado, todos os requisitos mínimos foram atendidos.

Tabela 1 - Caracterização do Cimento Portland CP II-E 32.

	PF	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	SO ₃	RI
Limites	≤ 6,5	N/A	N/A	≤ 6,5	≤ 4,0	≤ 2,5
12/07/18	5,89	0,06	0,93	2,88	3,34	3,40
	Finura		Blaine	Água de	Tempo de Pega	
	#200	#325	(cm²/g)	Consistência (%)	Início (min)	Fim (min)
Limites	≤ 12,0	N/A	≥ 2600	N/A	≥ 60	≤ 600
12/07/18	1,30	6,90	4380	27,20	165	215
	Expansibilidade à Quente (mm)	Massa Específica	Resistência à Compressão (MPa)			
			1 dia	3 dias	7 dias	28 dias
Limites	≤ 5,0	N/A	N/A	≥ 10	≥ 20	≥ 32; ≤ 49,0
12/07/18	0,50	3,04	14,6	26,0	34,0	-

Relativo aos agregados, utilizou-se uma areia grossa de dimensão máxima característica de 4,8mm como agregado miúdo e uma brita granítica de dimensão máxima característica de 25mm como agregado graúdo. Os materiais foram armazenados ensacados, de um mesmo lote de fornecimento cada, acondicionados em local seco, longe de intempéries. Como água de amassamento foi utilizada água destilada.

2.2 Caracterização dos agregados

Para os ensaios de caracterização utilizou-se amostras representativas dos agregados, conforme recomendações da NBR NM 26 e 27. Para determinação da composição granulométrica e curva característica seguiu-se os procedimentos da NBR NM 248.

CAPÍTULO III

ADERÊNCIA DAS ARGAMASSAS



ANÁLISE DA PROPAGAÇÃO DE ONDAS ULTRASSÔNICAS EM PAINÉIS DE ALVENARIA ARGAMASSADOS COM PRESENÇA DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

1 INTRODUÇÃO

O patrimônio histórico abrange as edificações que possuem valor histórico tanto em aspectos culturais quanto econômicos, sendo sua preservação de interesse social, uma vez que representa a história de uma sociedade. Dessa forma, a conservação de construções históricas é pertinente para a preservação da própria história de uma comunidade (MARTINI, 2019).

Assim como as edificações modernas, as construções históricas são formadas por materiais que quando em contato com o meio, sofrem ações que resultam na deterioração e, conseqüentemente, levam a uma redução do desempenho inicial, até atingir uma deficiência ou manifestação patológica, que venha a causar sérios danos à estrutura.

Dessa forma, as principais falhas nos trabalhos de preservação estão na falta de conhecimento técnico das características dos materiais constituintes, seu histórico de origem, e seu comportamento estrutural, sendo este último bem divergente dos principais sistemas construtivos atuais.

Os ensaios destrutivos, (END) são aqueles que causam pouco ou nenhum dano a estrutura, dentre os END existentes, destaca-se o ensaio de determinação de velocidade de pulso ultrassônico (VPU). Este método consiste em medir o tempo de propagação de uma onda ultrassônica através de um determinado material. Conhecendo-se a distância de propagação, é possível medir a velocidade da onda e fazer correlações com a qualidade e o tipo de material analisado. Nos últimos anos, uma série de avanços no âmbito da utilização de ensaios ultrassônicos com aplicações em alvenarias foram feitos, desde o emprego do ultrassom para se identificar a heterogeneidade de alvenarias históricas, conforme reportado em Mesquita (2018), como a aplicação para estimativa de parâmetros mecânicos das alvenarias, conforme reportado por Martini (2019) e Miranda (2011). Todavia, ainda há uma série de questões que precisam ser investigadas, a fim de parametrizar a interpretação destes dados, como o entendimento das maneiras que as manifestações patológicas interferem nas VPU's, e como estas se apresentam em padrões ao longo do painel.

Desta forma o estudo do comportamento das ondas ultrassônicas pelo método indireto em painéis de alvenaria argamassada, serve como subsídio para o desenvolvimento de uma metodologia de interpretação dos resultados do ensaio de ultrassom, abrindo mais um caminho para a caracterização de danos em alvenarias.

Para tal, este trabalho realiza uma série de estudos, utilizando de modelo numérico e estudos em laboratórios, para parametrização destes comportamentos para utilizando também dados de campo de uma edificação histórica, a Igreja Nossa Senhora da Expectação, uma antiga estrutura de alvenaria do ano de 1709, considerada a construção mais antiga de Icó, Ceará, Brasil. Além disso, busca-se também contribuir para ampliação da aplicação do teste ultrassônico indireto em painéis de alvenaria de tijolos maciços argamassados.

2 PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO: IGREJA NOSSA SENHORA DA EXPECTAÇÃO

Patrimônios culturais possuem grande relevância na identidade cultural de um determinado grupo de pessoas e sua região, neles estão representadas as tradições e costumes daquele povo, permitindo resgatar a origem que fazem parte dos costumes atuais, sendo essencial no entendimento da sociedade, logo a preservação do Patrimônio Histórico é uma questão urbana.

Essa necessidade de preservação do Patrimônio é um assunto discutido e estudado em todo o mundo, um dos primeiros documentos internacionais realizados com o objetivo de estabelecer conceitos de proteção aos patrimônios históricos foi abordado na Carta de Atenas em 1931, resultante do I Congresso Internacional de Arquitetos e Técnicos de Monumentos Históricos, promovido pelo Escritório Internacional dos Museus (OIM). Neste documento foi estabelecido alguns princípios relacionados à preservação dos patrimônios, impedindo que intervenções realizadas de maneira inadequada pudessem causar a perda dos seus traços históricos e artísticos.

Posteriormente, em 1964, foi realizado na cidade de Veneza o II Congresso Internacional de Arquitetos e Técnicos dos Monumentos Históricos, que elaborou a Carta de Veneza, que por sua vez foi adotada pelo Conselho Internacional de Monumentos e Sítios (ICOMOS) uma organização não governamental global associada à UNESCO. Na ocasião, foram revisados e aprofundados os conceitos estabelecidos na Carta de Atenas no que diz respeito à preservação de patrimônios históricos.

A Igreja de Nossa Senhora da Expectação, primeira edificação do município de Icó, cidade localizada a 366 km da capital do estado do Ceará, Brasil, integra um dos mais de 300 imóveis tombados como patrimônio histórico pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) em 1998, é pertencente ao Conjunto Arquitetônico e Urbanístico de Icó - CE. Construída em 1709, originalmente com o nome de Capela de Nossa Senhora do Ó, a

edificação destaca-se por ser o templo mais antigo do município de Icó e por sua importância histórica, uma vez que a partir de 1709, a cidade teve seu início, com o crescimento do povoado em torno desta Igreja. Em 1736, a então Capela de Nossa Senhora do Ó, foi escolhida como Igreja Matriz, título que detém até hoje; e como consequência disto, o então Arraial da Ribeira dos Icó elevou-se à categoria de vila (VIANA, 2011).



Figura 1 - Fachada Igreja Nossa Senhora da Expectação.

3 ENSAIO DE PROPAGAÇÃO DO PULSO ULTRASSÔNICO

Ensaio não destrutivo (END) são aqueles que causam pouco ou nenhum dano ao elemento ensaiado, incluem métodos capazes de obter informações das características tecnológicas de um material, ou ainda, monitorar a degradação de componentes e equipamentos da estrutura em serviço. Dentre os END atualmente difundidos na construção civil, um dos mais utilizados é o ensaio de determinação de velocidade de pulso ultrassônico, que a partir deste, podem ser obtidos uma série de propriedades adicionais dos materiais. Este método é preconizado no Brasil pela ABNT NBR 8802: 2013.

CAPÍTULO IV

PATRIMÔNIO HISTÓRICO



ANÁLISE ESTÁTICA DE UMA IGREJA VERNACULAR DE INFLUÊNCIA LUSO-BRASILEIRA DO SÉCULO XVIII

1 INTRODUÇÃO

No que se refere à conservação e preservação do patrimônio, bem como seu reconhecimento e classificação, têm-se no Brasil, como destaque as atividades desenvolvidas pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) e do Conselho Internacional de Monumentos e Sítios (ICOMOS), e em nível internacional. São instituições que promovem ações que garantem o direito à memória, contribuem para o desenvolvimento socioeconômico de um povo e fortalecem a identidade cultural.

Diante disso, é conhecida a preocupação do corpo técnico de engenheiros civis no que se refere ao desenvolvimento de uma parcela dessas atividades, sobretudo nos quesitos de durabilidade e reabilitação dessas edificações. Segundo Mesquita (2017) devido ao seu elevado valor cultural, variabilidade e complexidade dos sistemas estruturais empregados nestas construções, estas constituem um campo desafiador para o desenvolvimento de novas técnicas para caracterização, avaliação e recuperação.

Nesse contexto, tem-se a Igreja Nossa Senhora do Rosário dos Pretos, que com o decorrer do tempo, sofreu danos e alterações em sua estrutura e arquitetura de naturezas distintas, proveniente do ambiente invasivo na qual está inserida e ações antrópicas. Tanto

que, torna-se viável o emprego de métodos de caracterização estrutural como forma de manutenção de segurança e integridade do patrimônio.

Para isso, o desenvolvimento das atividades se baseia em procedimentos para classificação e identificação de possíveis danos por meio de uma análise estática da estrutura. Logo, recorreu-se a um modelo no qual foi aplicado uma resolução numérica baseada em um sistema de equações diferenciais, denominado Método dos Elementos Finitos, com o objetivo de obter valores referentes às tensões atuantes na estrutura, bem como os deslocamentos que lhes são impostos.

2 ESTUDO DE CASO

2.1 Aspectos históricos e construtivos

O conjunto histórico edificado na cidade de Aracati, no Estado do Ceará, distante 145 km da capital, Fortaleza, apresenta-se sob a forma de bens materiais remanescentes de uma época colonial que perpetuam até os dias atuais sob a forma de elementos urbanos, como: templos religiosos, casarões, armazém e praças. Dentre as construções deste conjunto, destaca-se a Igreja Nossa Senhora do Rosário dos Homens Pretos, edificada por um grupo de negros no século XVIII e reconhecida em 2001 como patrimônio histórico nacional pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN).

A edificação foi construída em 1775 de maneira simples com o uso de técnicas vernaculares, composta apenas pela capela-mor e alas esquerda e direita. Esse ato é visto como uma alternativa para atender uma numerosa população de negros convertidos ao catolicismo na época, visto que o rigor dos regulamentos aplicados nos templos permitia a participação apenas de pessoas de pele branca.

Com relação aos materiais empregados na edificação, Alves *et. al.* (2016) afirmam que a igreja é constituída de alvenaria em tijolo cerâmico maciço, que suporta uma coberta de madeira com caibros e

terças de carnaúba com telhas cerâmicas, na nave central. Os autores também apontam a aplicação de lajes pré-moldadas sob a estrutura de madeira original, nas naves laterais, que também estaria apoiada sobre a alvenaria.

No decorrer do tempo a igreja sofreu alterações na sua estrutura e arquitetura, ocasionada por ações naturais e antrópicas. Como exemplo, tem-se a enchente de 1924, que destruiu a nave lateral direita, sendo recuperada em 1930 (Figura 1). De modo semelhante, em 1974, outro período de cheias causou danos severos em razão de abrigar inúmeras famílias vítimas dos alagamentos, no qual foram necessárias reformas que se estenderam até 1982.



Figura 1 – Vista da Igreja Nossa Senhora do Rosário dos Homens Pretos após enchente de 1924.

Fonte: IPHAN.

Atualmente, a Igreja de Nossa Senhora do Rosário dos Homens Pretos possui características geométricas de traço retangular, compostas por uma nave central e dois átrios laterais, com dimensões de 17,11 e 35,79 metros de largura e comprimento, respectivamente, compondo uma área total de aproximadamente 612 m². Além disso, observa-se a existência de uma torre sineira de 22,9m na lateral esquerda da vista frontal da edificação (Figura 2).

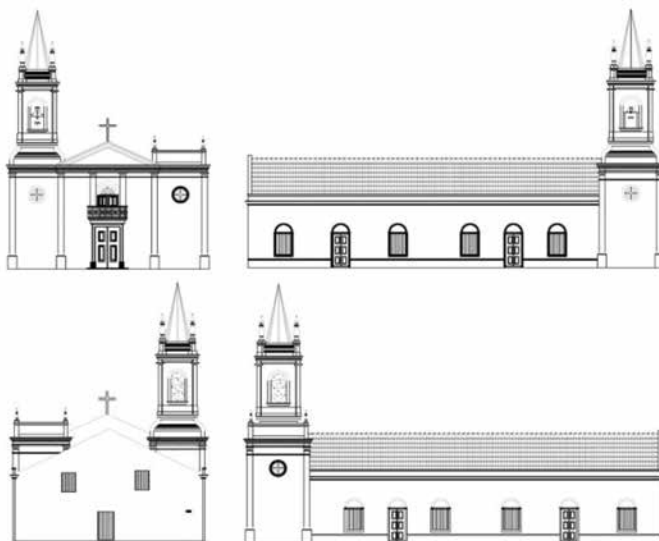


Figura 2 - Vistas Igreja Nossa Senhora do Rosário dos Homens Pretos.

Fonte: Adaptado IPHAN.

2.2 Modelagem numérica da estrutura

Durante essa etapa, buscou-se inicialmente a elaboração de um modelo 3D que representasse a estrutura da igreja com o máximo de fidelidade à suas características. Para isso, contou-se com as informações obtidas por meio de levantamentos geométricos e com uso do software comercial *AutoCAD*®, que possibilitou realizar simplificações no modelo a fim de suprimir elementos sem funções estruturais e assim simplificar a confecção da malha em elementos finitos.

Posteriormente, os resultados foram importados para que fosse confeccionada uma malha de elementos finitos, no software *Ansys*®, versão 17.1. E dado o nível de precisão requerido para a realização da modelagem, tornou-se viável fazer uso de técnicas que permitiram aproximar os elementos cerâmicos e argamassados a um material homogêneo, contínuo e anisotrópico, tornando possível analisar as alvenarias como uma dispersão em meio contínuo, até então tratada como material compósito.