

**SEVEN**

PUBLICAÇÕES ACADÊMICAS  
2024

# ENGENHARIA CIVIL

10 ANOS CONSTRUINDO TRAJETÓRIAS  
NO INTERIOR DA AMAZÔNIA

Antonio Carlos Santos do Nascimento Passos de Oliveira  
Lygia Maria Policarpio Ferreira  
Nuria Pérez Gallardo  
Rafaela Nazareth Pinheiro de Oliveira Silveira  
Saymon Henrique Santos Santana

**SEVEN**

PUBLICAÇÕES ACADÊMICAS  
2024

# ENGENHARIA CIVIL

10 ANOS CONSTRUINDO TRAJETÓRIAS  
NO INTERIOR DA AMAZÔNIA

Antonio Carlos Santos do Nascimento Passos de Oliveira  
Lygia Maria Policarpio Ferreira  
Nuria Pérez Gallardo  
Rafaela Nazareth Pinheiro de Oliveira Silveira  
Saymon Henrique Santos Santana

**EDITORA CHEFE**

Prof<sup>o</sup> Me. Isabele de Souza Carvalho

**EDITOR EXECUTIVO**

Nathan Albano Valente

**AUTORES DO LIVRO**

Antonio Carlos Santos do Nascimento Passos de Oliveira

Lygia Maria Policarpio Ferreira

Nuria Pérez Gallardo

Rafaela Nazareth Pinheiro de Oliveira Silveira

Saymon Henrique Santos Santana

**PRODUÇÃO EDITORIAL**

Seven Publicações Ltda

**EDIÇÃO DE ARTE**

Alan Ferreira de Moraes

**EDIÇÃO DE TEXTO**

Natan Bones Petitemberte

**BIBLIOTECÁRIA**

Bruna Heller

**IMAGENS DE CAPA**

AdobeStok

2024 by Seven Editora

Copyright © Seven Editora

Copyright do Texto © 2024 Os Autores

Copyright da Edição © 2024 Seven Editora

O conteúdo do texto e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Seven Publicações Ltda. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Seven Publicações Ltda é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação.

Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.



O conteúdo deste Livro foi enviado pelos autores para publicação de acesso aberto, sob os termos e condições da Licença de Atribuição Creative Commons 4.0 Internacional

## CORPO EDITORIAL

### EDITORA-CHEFE

Profº Me. Isabele de Souza Carvalho

### CORPO EDITORIAL

Pedro Henrique Ferreira Marçal - Vale do Rio Doce University  
Adriana Barni Truccolo - Universidade Estadual do Rio Grande do Sul  
Marcos Garcia Costa Morais - Universidade Estadual da Paraíba  
Mônica Maria de Almeida Brainer - Instituto Federal de Goiás Campus Ceres  
Caio Vinicius Efigenio Formiga - Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Egas José Armando - Universidade Eduardo Mondlane de Moçambique  
Ariane Fernandes da Conceição - Universidade Federal do Triângulo Mineiro  
Wanderson Santos de Farias - Universidade de Desenvolvimento Sustentável  
Maria Gorete Valus - Universidade de Campinas  
Luiz Gonzaga Lapa Junior - Universidade de Brasília  
Janyel Trevisol - Universidade Federal de Santa Maria  
Irlane Maia de Oliveira - Universidade Federal de Mato Grosso  
Paulo Roberto Duailibe Monteiro - Universidade Federal Fluminense  
Luiz Gonzaga Lapa Junior - Universidade de Brasília  
Yuni Saputri M.A - Universidade de Nalanda, Índia  
Arnaldo Oliveira Souza Júnior – Universidade Federal do Piauí, CEAD  
Anderson Nunes Da Silva - Universidade Federal do Norte do Tocantins  
Adriana Barretta Almeida - Universidade Federal do Paraná  
Jorge Luís Pereira Cavalcante - Fundação Universitária Iberoamericana  
Jorge Fernando Silva de Menezes - Universidade de Aveiro  
Antonio da Costa Cardoso Neto - Universidade de Flores Buenos Aires  
Antônio Alves de Fontes-Júnior - Universidade Cruzeiro do Sul  
Alessandre Gomes de Lima - Faculdade de Medicina da Universidade do Porto  
Moacir Silva de Castro - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo  
Marcelo Silva de Carvalho- Universidade Federal de Alfnas  
Charles Henrique Andrade de Oliveira - Universidade de Pernambuco  
Telma Regina Stroparo - Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Valéria Raquel Alcantara Barbosa - Fundação Oswaldo Cruz  
Kleber Farinazo Borges - Universidade de Brasília  
Rafael Braga Esteves - Universidade de São Paulo  
Inaldo Kley do Nascimento Moraes - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Mara Lucia da Silva Ribeiro - Universidade Federal de São Paulo

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)**

E57

Engenharia Civil [recurso eletrônico] : 10 anos construindo trajetórias no interior da Amazônia / Antonio Carlos Santos do Nascimento Passos de Oliveira ... [et al.]. – São José dos Pinhais, PR: Seven Editora, 2024.  
Dados eletrônicos (1 PDF).

Inclui bibliografia.  
ISBN 978-65-6109-125-1

1. Engenharia civil – história. 2. Amazônia – história.  
I. Oliveira, Antonio Carlos Santos do Nascimento Passos de.  
II. Ferreira, Lygia Maria Policarpio. III. Gallardo, Nuria Pérez.  
IV. Silveira, Rafaela Nazareth Pinheiro de Oliveira. V. Título.

CDU 624

**Índices para catálogo sistemático:**

CDU: Engenharia civil 624

**Bruna Heller** - Bibliotecária - CRB10/2348

**DOI:** 10.56238/livrosindi202483-

**Seven Publicações Ltda**  
CNPJ: 43.789.355/0001-14  
editora@sevenevents.com.br  
São José dos Pinhais/PR

## **DECLARAÇÃO DO(A) AUTOR(A)**

O(a) autor(a) deste trabalho DECLARA, para os seguintes fins, que:

Não possui nenhum interesse comercial que gere conflito de interesse em relação ao conteúdo publicado;

Declara ter participado ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente nas seguintes condições: "a) Desenho do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação dos dados; b) Elaboração do artigo ou revisão para tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão";

Certifica que o texto publicado está completamente livre de dados e/ou resultados fraudulentos e defeitos de autoria;

Confirma a citação correta e referência de todos os dados e interpretações de dados de outras pesquisas;

Reconhece ter informado todas as fontes de financiamento recebidas para realizar a pesquisa;

Autoriza a edição do trabalho, incluindo registros de catálogo, ISBN, DOI e outros indexadores, design visual e criação de capa, layout interno, bem como seu lançamento e divulgação de acordo com os critérios da Seven Eventos Acadêmicos e Editora.

## **DECLARAÇÃO DA EDITORA**

A Seven Publicações DECLARA, para fins de direitos, deveres e quaisquer significados metodológicos ou legais, que:

Esta publicação constitui apenas uma transferência temporária de direitos autorais, constituindo um direito à publicação e reprodução dos materiais. A Editora não é co-responsável pela criação dos manuscritos publicados, nos termos estabelecidos na Lei de Direitos Autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; O(s) autor(es) é(são) exclusivamente responsável(eis) por verificar tais questões de direitos autorais e outros, isentando a Editora de quaisquer danos civis, administrativos e criminais que possam surgir.

Autoriza a **DIVULGAÇÃO DO TRABALHO** pelo(s) autor(es) em palestras, cursos, eventos, shows, mídia e televisão, desde que haja o devido reconhecimento da autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial, com a apresentação dos devidos **CRÉDITOS** à **SEVEN PUBLICAÇÕES**, sendo o(s) autor(es) e editora(es) responsáveis pela omissão/exclusão dessas informações;

Todos os e-books são de acesso aberto, portanto, não os venda em seu site, sites parceiros, plataformas de comércio eletrônico ou qualquer outro meio virtual ou físico. Portanto, está isento de transferências de direitos autorais para autores, uma vez que o formato não gera outros direitos além dos fins didáticos e publicitários da obra, que pode ser consultada a qualquer momento.

Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições públicas de ensino superior, conforme recomendado pela CAPES para obtenção do Qualis livro;

A Seven Eventos Acadêmicos não atribui, vende ou autoriza o uso dos nomes e e-mails dos autores, bem como de quaisquer outros dados deles, para qualquer finalidade que não seja a divulgação desta obra, de acordo com o Marco Civil da Internet, a Lei Geral de Proteção de Dados e a Constituição da República Federativa.

## AUTORES DO E-BOOK

### **Antonio Carlos Santos do Nascimento Passos de Oliveira**

Doutor e Mestre Engenharia Civil, Mestre em Engenharia de Produção, Especialista em Ordenamento Territorial Urbano, MBA em Gerenciamento de Projetos, Engenheiro Civil, Engenheiro de Segurança no Trabalho e Geólogo.

### **Lygia Maria Policarpo Ferreira**

Doutora e Mestre em Engenharia Mecânica e Engenheira de Materiais.

### **Nuria Pérez Gallardo**

Doutora em Ciências da Engenharia Ambiental, Mestre em Engenharia Ambiental, Engenheira Civil, Engenheira Técnica de Obras Públicas, Especialidade em Construções Cíveis, Técnico superior em Desenvolvimento de Projetos Urbanísticos e Atividades Topográficas.

### **Rafaela Nazareth Pinheiro de Oliveira Silveira**

Doutora em Engenharia Civil, Mestre em Geotecnia e Engenheira Civil.

### **Saymon Henrique Santos Santana**

Doutor em Computação Aplicada, Mestre e Bacharel em Física.

## APRESENTAÇÃO

O curso de Engenharia Civil completa 10 anos de sua implantação. Em uma década muito foi feito, em prol de sua consolidação, mas neste contexto é válido rememorar que o curso iniciou suas atividades sem espaço físico, sem equipamentos, sem mobiliário, sem Projeto Pedagógico, seu único patrimônio era: as pessoas. Pessoas essas que ousaram e inovaram, foram inventivas e criativas, para conseguir tal feito no interior da Amazônia.

As ações conjuntas de docentes, técnicos e discentes tornaram possível conquistar a criação de nosso primeiro Laboratório (Laboratório de Gerenciamento de Projetos – nossa querida Caverna, o atual Anexo C), de nosso primeiro Grupo de Pesquisa (GTAC – Grupo de Pesquisa em Tecnologia do Ambiente Construído), do Centro Acadêmico, da Empresa Júnior, da Atlética, da conquista de mais espaços para nossos demais Laboratórios, na culminância da independência administrativa do curso com o surgimento da Faculdade de Engenharia Civil (Faec).

Ousamos em ser o primeiro curso de Engenharia Civil na Amazônia em realizar Atividades de Campo, possibilitando vivências didáticas e pedagógicas no processo de ensino e aprendizagem para além da sala de aula e laboratórios.

Ousamos em realizar eventos ações de Ensino, Pesquisa e Extensão mesmo sem recursos financeiros, ações essas que persistem como pode-se citar o Projeto de Ensino “Produção textual: produzindo sua trajetória acadêmica”, o qual é responsável por manter o primeiro Sistema de Acolhimento e Nivelamento (SAN) de um curso de Engenharia da instituição, o Projeto Ver-o-Solo, que aproxima a comunidade acadêmica da comunidade estudantil da cidade de Marabá, como ainda, os diversos Projetos de Pesquisa na área de Construção Civil, com destaque para linha Materiais e Componentes de Construção, Urbanismo, Ciências Básicas aplicadas à Engenharia Civil, Recursos Hídricos, Transportes e Geotecnia.

Ousamos ainda mais e fomos os pioneiros em ofertar Engenharia Urbana em nível de pós-graduação, em uma ação conjunta de diversos campos de conhecimento disponíveis no curso, mostrando que persistimos com nosso maior valor: as pessoas que formam o curso, com sua determinação, coragem e perseverança podem ir além.

Como forma de homenagear nossa trajetória os docentes do curso escolheram Projetos Finais de Curso que orientaram para comporem capítulos desse E-book. A escolha foi subjetiva, sendo uma forma de demonstrar um pouco do muito que foi realizado até aqui.

Nesse momento, de celebração, também fica o registro das metas que ainda temos pela frente, baseadas nos nossos que nos norteiam, que essa seja a primeira década de muitas que ainda iremos comemorar.

Nossa gratidão as turmas pioneiras: 2014, 2015, 2016 e 2017, as quais viveram conosco não apenas a aventura da implantação, mas confiaram em mergulhar no desconhecido, aceitando migrar para um Projeto Pedagógico novo, após terem ingressado no curso, deram suporte primordial em nossa primeira avaliação, na qual conseguimos obter êxito.

Por fim, nossas eternas saudades ao Professor Doutor Hélio Scatena Junior que doou seu tempo, dedicação e afeto para apoiar nossa comunidade para chegar até aqui.

**Prof. Dr. Nascimento Passos-de-Oliveira**

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>8</b>
 10.56238/livrosindi202483-001	
<b>PERCEÇÃO DO DESLOCAMENTO PEDONAL E ACESSIBILIDADE TANGÍVEL</b>	
Eduarda Guimarães Silva, Antonio Carlos Santos do Nascimento Passos-de-Oliveira.	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>15</b>
 10.56238/livrosindi202483-002	
<b>CONCRETOS ALTERNATIVOS DE BAIXO CUSTO PARA OBRAS DE INTERESSE SOCIAL: ANÁLISE DE CONCRETOS AUTOCICATRIZANTES ATIVADOS POR AGENTES CRISTALINOS</b>	
Kyria Maria Alves da Silva, Lygia Maria Policarpio Ferreira.	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>25</b>
 10.56238/livrosindi202483-003	
<b>ANÁLISE MULTITEMPORAL DO USO E OCUPAÇÃO DAS ZONAS DE ADENSAMENTO CONTROLADO (ZAC) DE MARABÁ</b>	
Flaviany Luise Nogueira de Sousa, Nuria Pérez Gallardo.	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>37</b>
 10.56238/livrosindi202483-004	
<b>IDENTIFICAÇÃO DE FREQUÊNCIAS DE VIBRAÇÃO PARA ESTRUTURAS COM DOIS GRAUS DE LIBERDADE</b>	
Wilson Kataoka Oyama Filho, Saymon Henrique Santos Santana.	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>45</b>
 10.56238/livrosindi202483-005	
<b>DA ÁGUA AO SOLO: A POTENCIALIDADE DO LODO DE ETA NA COBERTURA DE ATERROS SANITÁRIOS NA AMAZÔNIA</b>	
Jean Lucas de Souza Lima, Rafaela Nazareth Pinheiro de Oliveira Silveira.	

# PERCEPÇÃO DO DESLOCAMENTO PEDONAL E ACESSIBILIDADE TANGÍVEL

Eduarda Guimarães Silva, Antonio Carlos Santos do Nascimento Passos-de-Oliveira

  10.56238/livrosindi202483-001

## 1 INTRODUÇÃO

A forma de locomoção tradicional amazônica, especialmente considerando o transporte a pé, para autores como Malatesta (2007) e Vasconcellos (2000), é a manifestação mais humana do transporte, bem como o meio gratuito e mais genuíno de fruição da vida urbana. Sendo justamente a categoria das calçadas, abordada por Jane Jacobs, o anteparo primordial para esse modal (Jacobs, 2007).

Dentro dessa temática de direitos e de acesso as possibilidades urbanas na Amazônia, tem-se a cidade de Marabá, sudeste do estado do Pará, município com um Plano Diretor Participativo (2018) e de Mobilidade (2018) ativos, todavia, com uma débil materialidade da importância do deslocamento pedonal, como garantia do direito ao acesso gratuito ao lazer e à cultura, como pode ser percebido empiricamente deambulando pela sede municipal.

Para abordar essa temática nesse trabalho, desenvolveu-se um agrupamento de parâmetros possível de serem mensurados que considere a percepção dos usuários nos caminhos que levam até os equipamentos públicos de lazer do centro histórico da cidade.

## 2 PERCURSO METODOLÓGICO

Realizou-se uma pesquisa documental e uma pesquisa bibliográfica para agrupar critérios existentes referentes a mobilidade urbana (Quadro 1).

Quadro 1 – Critérios Físicos relacionados a Acessibilidade e Caminhabilidade.

Critério	Referencial Teórico
<b>Calçada</b>	
Condição do piso/Irregularidades	Adaptado de ITDP (2018) e Mobilize Brasil (2013)
Degraus	Adaptado de Mobilize Brasil (2013)
Largura	Adaptado de ITDP (2018) e Mobilize Brasil (2013)
Material do piso	ITDP (2016)
Obstáculos	Mobilize Brasil (2013)
Rampas	Adaptado de Mobilize Brasil (2013)

<b>Mobilidade</b>	
Dimensão das quadras	ITDP (2018)
Distância a pé ao transporte público	ITDP (2018)
Rede cicloviária	ITDP (2016)
<b>Atração</b>	
Amplitude de informações de rotas acessíveis	Baseado em Fang; Li; Shaw (2015)
Existência de mobiliário urbano	Adaptado de Keyvanfar <i>et al.</i> (2018)
Fachadas fisicamente permeáveis	ITDP (2018)
Fachadas visualmente ativas	ITDP (2018)
Presença de Faixa de Serviço	Baseado em Hong; Chen (2014)
Uso público diurno e noturno	ITDP (2018)
Usos mistos	ITDP (2018)
<b>Segurança Pública</b>	
Iluminação	Adaptado de ITDP (2018) e Mobilize Brasil (2013)
Incidência de crimes	ITDP (2016)
Fluxo de pedestres diurno e noturno	ITDP (2018)
Oficiais públicos de segurança	A autora (2020)
Rotas sem aglomerações	Adaptado de Keyvanfar <i>et al.</i> (2018)
<b>Segurança Viária</b>	
Atropelamentos	Adaptado de ITDP (2016)
Dispositivos de acalmamento de tráfego	Adaptado de Keyvanfar <i>et al.</i> (2018)
Distância entre as faixas de pedestres	Baseado em Barros; Martínez; Viegas (2015)
Organização de estacionamento	Adaptado de Barros; Martínez; Viegas (2015)
Os motoristas respeitam os pedestres	Keyvanfar <i>et al.</i> (2018)
Sinalização	Adaptado de Mobilize Brasil (2013)
Tipologia da rua	ITDP (2018)
Travessias	Adaptado de ITDP (2018)
Velocidade máx. permitida de veículos motorizados	ITDP (2016)
<b>Ambiente</b>	
Coleta de lixo e limpeza	ITDP (2018)
Diversidade paisagística	Baseado em Keyvanfar <i>et al.</i> (2018)
Sombra e abrigo	ITDP (2018)
Poluição sonora	ITDP (2018)
Poluição visual	Baseado em Keyvanfar <i>et al.</i> (2018)
Qualidade do ar	ITDP (2016)

Fonte: Construído pela autora a partir dos referenciais teóricos apontados na coluna de “Referencial Teórico”, 2020.

Após a definição dos parâmetros a serem analisados pelo viés da acessibilidade tangível.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O percurso metodológico adotado resultou em um agrupamento de critérios físicos que quando aplicados possibilitam uma análise da acessibilidade tangível no ambiente construído, esses critérios são ao todo 36 e estão expostos no Quadro 2, com uma breve explicação sobre o significado de cada um deles na coluna “Descrição”.

Quadro 2 – Critérios Físicos relacionados a Acessibilidade e Caminhabilidade e suas descrições.

<b>Critério</b>	<b>Referencial Teórico</b>	<b>Descrição</b>
<b>Calçada</b>		
Condição do piso/Irregularidades	Adaptado de ITDP (2018) e Mobilize Brasil (2013)	Presença de buracos, desníveis e material solto na pavimentação
Degraus	Adaptado de Mobilize Brasil (2013)	Presença de degraus (>20mm) e ou inclinação acentuada (transversal >3%, longitudinal ≥5%)
Largura	Adaptado de ITDP (2018) e Mobilize Brasil (2013)	Faixa livre que comporte o fluxo de pedestres, sendo contínua e no mínimo de 1,5m
Material do piso	ITDP (2016)	Tipo de material empregado na calçada e o estado de implantação
Obstáculos	Mobilize Brasil (2013)	Presença de obstáculos na faixa livre
Rampas	Adaptado de Mobilize Brasil (2013)	Existência de rampas e sua adequação
<b>Mobilidade</b>		
Dimensão das quadras	ITDP (2018)	Extensão da lateral da quadra ideal é ≤110m
Distância a pé ao transporte público	ITDP (2018)	Distância a pé entre as paradas/estações de transporte público de alta capacidade é ≤500m
Rede cicloviária	ITDP (2016)	Presença de condições seguras e completas para o uso da bicicleta
<b>Atração</b>		
Amplitude de informações de rotas acessíveis	Baseado em Fang; Li; Shaw (2015)	Existência de informações fáceis ( <i>Google Maps</i> ou sites oficiais da prefeitura) de rotas acessíveis
Existência de mobiliário urbano	Adaptado de Keyvanfar <i>et al.</i> (2018)	Presença de mobiliário urbano (lixeiras, postes, bancos, bebedouros, mesas e etc.) fora da faixa livre
Fachadas fisicamente permeáveis	ITDP (2018)	Nº médio de entradas e acessos de pedestre a cada 100 metros de frente de quadra
Fachadas visualmente ativas	ITDP (2018)	Porcentagem da área (m <sup>2</sup> ) de face de quadra com conexão visual com as atividades no interior do edifício
Presença de Faixa de Serviço	Baseado em Hong; Chen (2014)	Presença de Faixa de Serviço (largura ≥0,70m)
Uso público diurno e noturno	ITDP (2018)	Porcentagem de edificações com uso público no térreo e com horário de funcionamento ≥10h diárias
Usos mistos	ITDP (2018)	Porcentagem dos diferentes tipos de usos e oportunidades existentes nas edificações confrontantes ao segmento de calçada

Segurança Pública		
Iluminação	Adaptado de ITDP (2018) e Mobilize Brasil (2013)	Incidência de luz na calçada no período noturno
Incidência de crimes	ITDP (2016)	Taxa diária de ocorrências de delitos por pedestre
Fluxo de pedestres diurno e noturno	ITDP (2018)	Fluxo de pedestres em circulação em diferentes horários do dia e da noite
Oficiais públicos de segurança	A autora (2020)	Presença de oficiais públicos de segurança, como policiais, guardas municipais, fiscais de postura e agentes de trânsito
Rotas sem aglomerações	Adaptado de Keyvanfar <i>et al.</i> (2018)	Não existência de aglomerações, como filas e amontoado de pessoas, nas paradas de ônibus por exemplo
Segurança Viária		
Atropelamentos	Adaptado de ITDP (2016)	Quantidade de colisões com pedestres (atropelamentos)
Dispositivos de acalmamento de tráfego	Adaptado de Keyvanfar <i>et al.</i> (2018)	Presença de lombadas, platôs, faixas de pedestres elevadas, almofadas, chicanas, estreitamentos de pistas, canteiros centrais e etc.
Distância entre as faixas de pedestres	Baseado em Barros; Martínez; Viegas (2015)	Distância entre uma faixa de pedestre e outra (Pequena: $\leq 30m$ , média: $>30m$ e $\leq 60m$ , Grande: $>60m$ e $\leq 100m$ , Inadequada: $>100m$ ou sem faixas)
Organização de estacionamento	Adaptado de Barros; Martínez; Viegas (2015)	Presença de local destinado para o estacionamento de carros e motos
Os motoristas respeitam os pedestres	Keyvanfar <i>et al.</i> (2018)	A maneira com que os motoristas diminuem a velocidade para deixar os pedestres passarem, especialmente nos cruzamentos e faixas de pedestres
Sinalização	Adaptado de Mobilize Brasil (2013)	Placas e semáforos para pedestres
Tipologia da rua	ITDP (2018)	Quão adequado é o tipo da rua para os pedestres
Travessias	Adaptado de ITDP (2018)	Cruzamentos onde há travessias seguras (inclusive nos tempos de travessias) e acessíveis (PCR, PMR e deficientes visuais) em todas as direções
Velocidade máx. permitida de veículos motorizados	ITDP (2016)	Velocidade máx. permitida de veículos motorizados
Ambiente		
Coleta de lixo e limpeza	ITDP (2018)	Avaliação visual da limpeza urbana ou resultado de índice de limpeza urbana
Diversidade paisagística	Baseado em Keyvanfar <i>et al.</i> (2018)	Diversidade de formas dos edifícios e diversidade de vegetação
Sombra e abrigo	ITDP (2018)	Porcentagem do segmento de calçada que possui elementos de sombra ou abrigo adequados
Poluição sonora	ITDP (2018)	Nível de intensidade sonora das ruas
Poluição visual	Baseado em Keyvanfar <i>et al.</i> (2018)	Excesso de elementos visuais, tais como outdoors, anúncios, propagandas, fios elétricos expostos, torres de telefone e etc.
Qualidade do ar	ITDP (2016)	Médias diárias de concentração no ar de partículas inaláveis

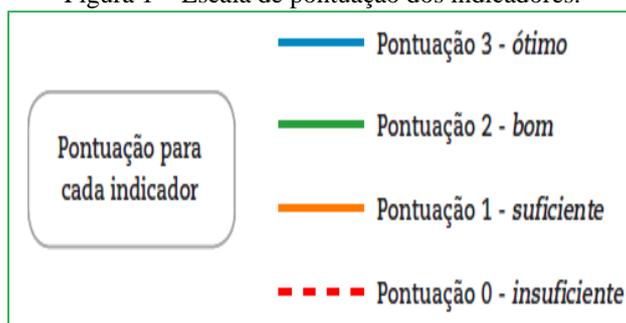
Fonte: Construído pela autora a partir dos referenciais teóricos apontados na coluna de “Referencial Teórico”, 2020.

Esses critérios físicos foram agrupados (Quadro 2) devido a relevância de se avaliar o ambiente estudado do ponto de visto técnico, não tirando o enfoque no usuário e pedestre como protagonista (ITDP, 2018). Sendo este agrupamento uma tentativa de que esses critérios, obtidos a partir da extensa pesquisa bibliográfica não sistemática e sistemática feita nesse trabalho, pudesse fornecer parâmetros para uma análise do ambiente construído que contivesse uma diversidade de atributos que fossem suficientes em mensurar e captar tecnicamente o quão acessível e caminhável é determinado espaço.

Um dos critérios desse Quadro 2 foi adicionado pela autora, ainda com o mesmo objetivo de mensurar e captar tecnicamente o quão acessível e caminhável é determinado espaço, sendo esse o critério de “Oficiais públicos de segurança” na categoria de Segurança Pública. Esse foi adicionado devido a interação pessoal da autora com a área de estudo e com a própria cidade de Marabá, onde ela pode observar empiricamente que a presença de oficiais públicos de segurança, tais como fiscais de postura, de trânsito e guardas municipais, agregavam melhoria da percepção de segurança e do fluxo de caminhadas nos espaços públicos das calçadas, sendo este critério ainda adicionado por ser citado em diversas respostas na validação do questionário como uma das ações para a melhoria da Caminhabilidade na Marabá Pioneira.

Existem, para esses critérios físicos do Quadro 10, formas distintas para pontuá-los conforme cada um dos referenciais teóricos, aqui sugere-se a adoção da escala de pontuação do iCam (ITDP, 2016, 2018) de 0 a 3, onde 0 é insuficiente e 3 representa um indicador ótimo (Figura 1).

Figura 1 – Escala de pontuação dos indicadores.



Fonte: ITDP (2018).

Após a aplicação de cada um dos indicadores no caminho a ser estudado, deve-se fazer a média aritmética destes indicadores e o resultado desta média é a pontuação para cada uma das categorias (calçada, mobilidade, atração, segurança viária, segurança pública e ambiente) apresentadas anteriormente na Figura 1. Sendo possível, por meio dessa média aritmética de cada uma das categorias, propor-se um Índice de Caminhabilidade que mostre, além da perscruta do ambiente com o foco no pedestre, uma sugestão de priorização de intervenções (Quadro 3).

Quadro 1 – Pontuações, status e sugestão de priorização de intervenções a partir destes.

Pontuação	Status	Sugestão de priorização de intervenções
3	Ótimo	Manutenção e aperfeiçoamento
$<3$ e $\geq 2$	Bom	Intervenção desejável, ação a médio prazo
$<2$ e $\geq 1$	Suficiente	Intervenção prioritária, ação a curto prazo
$<1$	Insuficiente	Intervenção prioritária, ação imediata

Fonte: Adaptado de ITDP (2016, 2018).

A sugestão da adoção dessas pontuações, advindas do iCam, é devido a maioria dos indicadores (critérios físicos) nesse trabalho terem sido retirados dessa ferramenta desenvolvida pelo Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento (ITDP). Além disso, essa ferramenta, com essa proposta de pontuação, foi muito bem aceita tanto pela academia, quanto pela sociedade civil, gestão pública e profissionais da área (ITDP, 2018), já demonstrando assim uma validação dessa forma de perscruta da caminhabilidade.

#### 4 CONSIDERAÇÕES

Espera-se que a partir desse trabalho possam ser gerados estudos futuros, onde o instrumento desenvolvido de análise da acessibilidade tangível possa ser aplicado e usado no processo de tomada de decisão no que concerne à mobilidade humana, pedestrianização e acesso ao direito do lazer e da cultura nos caminhos aos marcos históricos.

## REFERÊNCIAS

- BARROS, Ana Paula; MARTÍNEZ, Luis Miguel; VIEGAS, José Manuel. **New Approach to Understand Modal and Pedestrians Route in Portugal**. Transportation Research Procedia, v. 10, p. 860–869, 2015.
- FANG, Z.; LI, Q.; SHAW, S.L. **What about people in pedestrian navigation?**. Geo-Spatial Information Science, v. 18, n. 4, p. 135–150, 2015.
- HONG, Jinhyun; CHEN, Cynthia. **The role of the built environment on perceived safety from crime and walking: examining direct and indirect impacts**. Transportation, v. 41, n. 6, p. 1171–1185, 2014.
- ITDP. **Índice de Caminhabilidade: Ferramenta**. ITDP Brasil, 2016. Disponível em <<http://2rps5v3y8o843iokettbxnya.wpengine.netdna-cdn.com/wp-content/uploads/2016/09/2016-09-ITDP-caminhabilidade-ferramenta.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2019.
- ITDP. **Índice de Caminhabilidade: Ferramenta versão 2.0**. ITDP Brasil, 2018. Disponível em <[http://itdpbrasil.org.br/wp-content/uploads/2018/01/ITDP\\_NHABILIDADE\\_V2\\_ABRIL\\_2018.pdf](http://itdpbrasil.org.br/wp-content/uploads/2018/01/ITDP_NHABILIDADE_V2_ABRIL_2018.pdf)>. Acesso em: 10 abr. 2019.
- JACOBS, Jane. **Morte e Vida de Grandes Cidades**. Tradução por Carlos S. Mendes Rosa. 3.ed. São Paulo: Martins Fontes, 2007.
- KEYVANFAR, A. *et al.* **A path walkability assessment index model for evaluating and facilitating retail walking using decision-tree-making (DTM) method**. Sustainability (Switzerland), v. 10, n. 4, 2018.
- MALATESTA, Maria Ermelina Brosch. **Andar a pé: um modo de transporte para a cidade de São Paulo**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- MARABÁ. **Plano Diretor Participativo de Marabá**. Lei Municipal nº 17.846, de 29 de março de 2018. Marabá, PA: Câmara Municipal de Marabá, 2018. Disponível em <<https://www.governotransparente.com.br/transparencia/4466490/grupodearquivosprincipal/7>>. Acesso em: 01 jun. 2019.
- MARABÁ. **Plano Municipal de Mobilidade Urbana**. Lei Municipal nº 17.873, de 16 de novembro de 2018. Marabá, PA: Câmara Municipal de Marabá, 2018. Disponível em <<https://www.governotransparente.com.br/transparencia/4466490/grupodearquivosprincipal/7>>. Acesso em: 01 jun. 2019.
- MOBILIZE BRASIL. **Campanha Calçadas do Brasil: Relatório final da campanha e estudo realizado pelo Mobilize Brasil**. 2.ed. Mobilize Brasil, 2013. Disponível em: <http://www.mobilize.org.br/campanhas/calçadas-do-brasil/levantamento>. Acesso em: 10 abr. 2019.
- VASCONCELLOS, Eduardo Alcântara de. **Transporte urbano nos países em desenvolvimento: propostas: reflexões e propostas**. 3.ed. São Paulo: Annablume, 2000.

# CONCRETOS ALTERNATIVOS DE BAIXO CUSTO PARA OBRAS DE INTERESSE SOCIAL: ANÁLISE DE CONCRETOS AUTOCICATRIZANTES ATIVADOS POR AGENTES CRISTALINOS

Kyria Maria Alves da Silva, Lygia Maria Policarpio Ferreira

  10.56238/livrosindi202483-002

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil destaca-se pelo alto consumo de concreto, um dos materiais mais utilizados e demandados no setor. No Brasil, observa-se um aumento no consumo de cimento, que registrou um crescimento de 14,5% em outubro de 2020 em comparação ao mesmo período de 2019 (ABCP, 2020). Esse aumento pode ser atribuído às vantagens do concreto armado, que inclui economia na construção, alta resistência a agressões químicas e adaptabilidade a diversas formas de construção (Coppellesso, 2018).

No entanto, no desenvolvimento e dimensionamento de estruturas de concreto armado, é comum a presença de fissuras iniciais. Com o avanço da construção civil, cresce o interesse em prolongar a vida útil do concreto sem elevar os custos das obras. Segundo Capelesso (2018), o processo de recuperação de fissuras envolve múltiplos fatores e, quando não controladas, as fissuras podem expor o concreto a agentes agressivos que comprometem sua durabilidade. Dessa forma, a introdução de materiais autocicatrizantes no concreto tem sido proposta como uma alternativa eficiente, oferecendo maior proteção contra fissurações e redução nos custos de manutenção.

Considerando o exposto, esta pesquisa tem como foco a análise de concretos fabricados a partir da adição de aditivo autocicatrizante. A análise aborda o potencial emprego desses aditivos para mitigar a dicotomia entre dureza e fragilidade do concreto sob esforços, melhorando sua resistência e durabilidade. Assim, o objetivo geral é desenvolver e caracterizar concretos com aditivos autocicatrizantes, comparando sua ação com dois diferentes tipos de cimentos comerciais, visando reduzir a quantidade de fissuras internas e prolongar sua vida útil, com o uso do aditivo mineral Sika WT-200P.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados para a análise de concretos foram selecionados com base nos objetivos de pesquisa e nos requisitos técnicos definidos. Como aglomerante hidráulico, dois tipos de cimento foram adotados: Cimento Portland II-E (CPII-E) e Cimento Portland V (CPV). A escolha do CPII-

E se deu pela sua ampla disponibilidade no mercado, enquanto o CPV foi escolhido por proporcionar uma matriz cimentícia de maior qualidade e elevada resistência inicial.

Em relação aos agregados, foram utilizados Brita 0, com granulometria entre 4,8 mm e 9,5 mm, e areia média, com partículas variando entre 0,25 mm e 1 mm. Esses materiais foram selecionados para assegurar uma boa trabalhabilidade e coesão na mistura do concreto.

O aditivo cristalizante empregado foi o Sika® WT-200P, fornecido pela empresa Sika – Building Trust. Este aditivo foi escolhido por sua capacidade de reduzir a permeabilidade do concreto, contribuindo para a melhoria de suas propriedades de impermeabilidade e durabilidade.

## 2.2 MÉTODOS

### 2.2.1 Dosagem de Concreto

Para a execução dos traços de concreto com aditivos autocicatrizantes, foi utilizado o método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), desenvolvido com base nas diretrizes do American Concrete Institute (ACI). A Tabela 1 apresenta as proporções de traços estabelecidos para o desenvolvimento deste estudo.

Tabela 1 – Composição dos Traços

DEFINIÇÃO DE TRAÇOS						
Código	Cimento	Cimento	Areia	Brita	Água	Aditivo
A	CPII-F	1	1,5	2,3	0,45	1,5% Cimento
B	CPV	1	1,7	2,7	0,45	1,5% Cimento
C	CPII-F	1	1,5	2,3	0,45	0%
D	CPV	1	1,7	2,7	0,45	0%

Fonte: Autora (2020)

### 2.2.2 Ensaios para caracterização do material

#### A) Slump Test

O ensaio de abatimento do tronco de cone (Slump Test) foi realizado em conformidade com a norma NBR NM 67 em todos os traços de concreto produzidos.

#### B) Resistência à compressão axial

O ensaio de resistência à compressão foi realizado em conformidade com a NBR 5739, com suporte adicional de normas complementares, como a NBR 5739:2007 e a NBR 5738:2015. Os testes foram conduzidos em triplicata para cada traço de concreto, considerando quatro diferentes idades de cura: 7, 14, 21 e 28 dias.

### C) Absorção de Água por Capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade foi realizado em conformidade com a norma NM 30:2011, utilizando corpos de prova cilíndricos de dimensões 100 x 200 mm. A absorção de água foi calculada conforme a Equação 1:

$$C = \frac{A - B}{S} \quad (1)$$

Onde:

C é a absorção de água - calculada em g/cm<sup>3</sup>; B é a massa ao ar após secagem e com superfície seca – medido em gramas; A é a massa da amostra após absorção em 3h, 6h, 24h e 48h – medido em gramas; e S, seção transversal do corpo de prova em centímetros.

### D) Recuperação da Estanqueidade: determinação da velocidade de propagação da onda ultrassônica no concreto endurecido

O ensaio teve como objetivo determinar a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas no concreto endurecido, sendo realizado em conformidade com a NBR 8802:2013. Os resultados foram calculados de acordo com a Equação 2.

$$V = L/t \quad (2)$$

Onde:

V é velocidade de propagação (m/s); L é a distância entre os pontos de acoplamento dos centros das faces dos transdutores (m); e t é o tempo decorrido desde a emissão da onda até a recepção (s).

Na análise da qualidade, utilizou-se como referência a Tabela 2, elaborado por Cánovas (1988), que apresenta parâmetros para caracterização da matriz cimentícia em função da velocidade de propagação do pulso ultrassônico.

**Tabela 2** - Critério utilizado para avaliação da qualidade do concreto

VELOCIDADE (m/s)	CLASSIFICAÇÃO
V > 4500	Excelente
3500 < V < 4500	Ótimo
3000 < V < 3500	Bom
2000 < V < 3000	Regular
V < 2000	Ruim

Fonte: Cánovas (1988)

As equações 3, 4 e 5 foram usadas para obtenção dos resultados de resistência à compressão do concreto.

$$E_{ci} = V^2 \cdot \rho \cdot \left( \frac{(1 + \nu) \cdot (1 - 2\nu)}{(1 - \nu)} \right) \quad (3)$$

$$E_{ci} = \alpha_E \cdot 5600 \sqrt{f_{ck}} \quad (4)$$

$$f_{ckj} = f_{ck} \cdot e^{0,25 \cdot (1 - \frac{28}{j})} \quad (5)$$

### **E) Análise visual:** identificação da autocicatrização

Para avaliar o processo de autocicatrização, os corpos de prova foram submetidos à compressão axial progressiva, com uma tensão aplicada equivalente a 60% da tensão máxima do material. Após a pré-fissuração, as fissuras em cada corpo de prova foram identificadas e marcadas para monitorar a evolução do processo de autocicatrização ao longo do tempo.

Após a aplicação da tensão, as amostras fissuradas foram imersas em água por um período de 28 dias, visando garantir o processo de cura do concreto e a ativação dos mecanismos de autocicatrização.

### **F) Análise de variância (Anova)**

Para compreender a influência do aditivo autocicatrizante cristalino na microestrutura do concreto, foi utilizada a análise estatística de variância (ANOVA), com suporte do software Excel. O principal objetivo do uso da ANOVA foi verificar se há diferenças estatisticamente significativas entre os grupos, avaliando os desvios padrão e as variações nas médias.

Caso as médias apresentem diferenças superiores a 5% (ou seja, quando o valor calculado de  $F_{calculado} > F_{crítico}$ ), considera-se que há diferenças significativas entre os grupos. Por outro lado, se a hipótese nula ( $H_0$ ) for confirmada ( $F_{calculado} < F_{crítico}$ ), entende-se que não há evidências estatísticas suficientes para afirmar que as médias dos grupos sejam diferentes.

## **3. RESULTADOS**

### **3.1 SLUMP TEST DO CONCRETO**

A Tabela 3 apresenta os resultados do ensaio de abatimento. A partir dos dados obtidos, observou-se que o aditivo autocicatrizante exerceu uma influência significativa no grau de conformidade e na trabalhabilidade do concreto. Esse efeito é importante para facilitar processos como bombeamento e adensamento, permitindo a execução dessas etapas sem a necessidade de acréscimo adicional de água de amassamento.

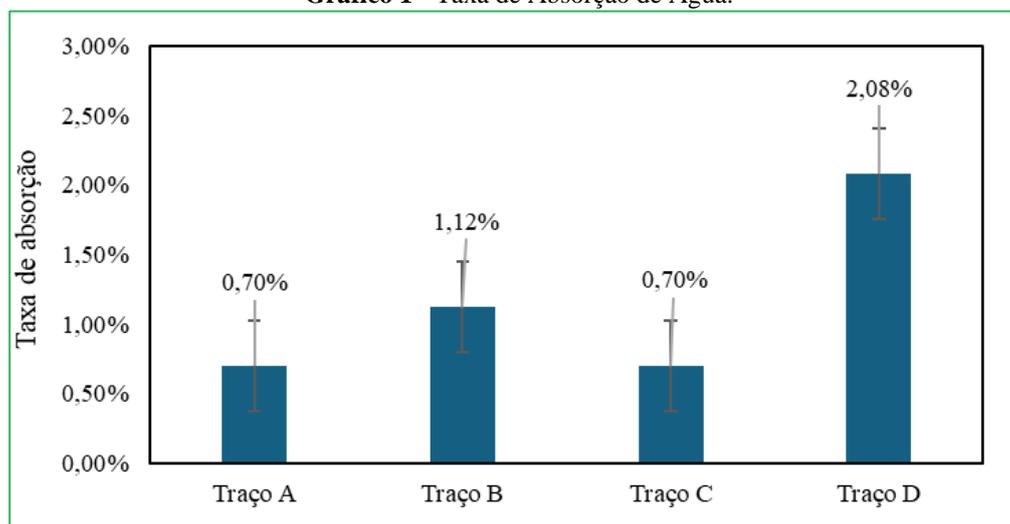
**Tabela 3** – Abatimento e presença de aditivo

Traço	Aditivo	Relação Água/Cimento	Abatimento (cm)
A (CP-II-E)	Presente	0,45	21,50
B (CPV)	Presente	0,45	19,50
C (CP-II-E)	Ausente	0,45	12,50
D (CPV)	Ausente	0,45	3,50

Fonte: Autora (2020)

### 3.2 ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

O Gráfico 1 ilustra a influência do aditivo na absorção de água do concreto. A partir da análise dos resultados, verificou-se que os compostos contendo o aditivo autocicatrizante apresentaram uma redução na absorção de água, com uma diminuição de 52,38% nas médias para o concreto produzido com cimento CPV.

**Gráfico 1** - Taxa de Absorção de Água.

Fonte: Autora (2020)

### 3.3 ULTRASSONOGRAFIA DO CONCRETO

De acordo com as médias obtidas no ensaio, a qualidade do material, calculada a partir da velocidade do sinal nas amostras, está apresentada na Tabela 4. A Tabela 5, por sua vez, exibe a resistência à compressão do concreto aos 28 dias, correlacionada com a propagação do sinal ultrassônico, além dos valores do desvio padrão (DP) e do coeficiente de variação (CV).

**Tabela 4** – Resumo de Qualidade do Concreto para cada traço.

Traços	Tipos de Cimento	Aditivo	Velocidade (km/s)	Qualidade do Concreto
A	CP-II-E	Presente	3,727	Ótimo
B	CPV	Presente	4,286	Ótimo
C	CP-II-E	Ausente	3,923	Ótimo
D	CPV	Ausente	4,191	Ótimo

Fonte: Autora (2020).

**Tabela 5** – Resumo de Resistência do Concreto aos 28 dias.

Traços	Tipos de Cimento	Resistência Média (MPa)	DP (MPa)	CV (%)
A	CP-II-E	31,25	3,71	0,12
B	CPV	51,10	1,03	0,02
C	CP-II-E	43,87	2,76	0,06
D	CPV	45,23	2,48	0,05

DP: Desvio Padrão. CV: Coeficiente de Variação.

Fonte: Autora (2020).

Ao analisar os dados, observa-se diferenças percentuais na resistência entre as composições com diferentes tipos de cimento. Conforme indicado por Neville (2016), o cimento CII-E apresenta uma área superficial menor em comparação ao CPV, o que resulta em tempos de cristalização distintos e, conseqüentemente, em comportamentos de resistência variados ao longo do processo de cura.

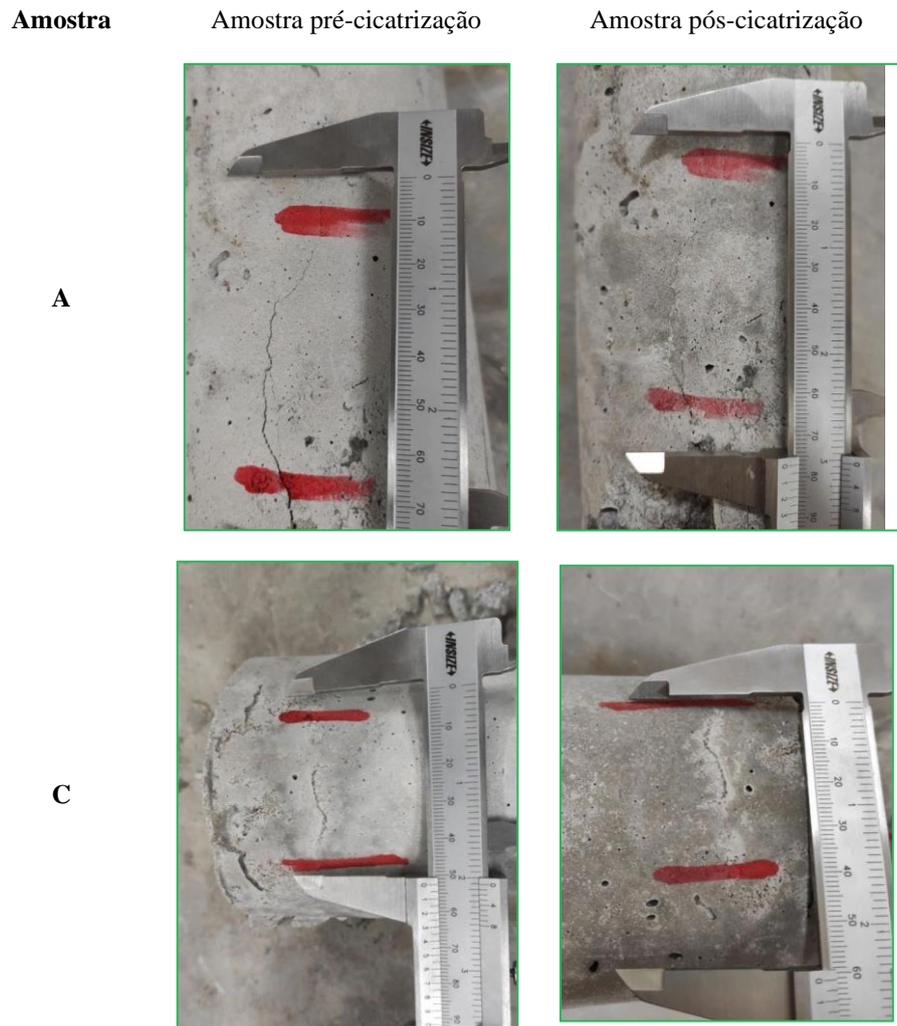
### 3.4 AUTOCICATRIZAÇÃO DO CONCRETO

Neville (2016) afirma que a presença de água favorece a hidratação tardia dos concretos, facilitando a autocicatrização autógena e autônoma. Wang (2019), por sua vez, destaca que a água é essencial para o desempenho do processo de ativação da autocicatrização no concreto.

Durante o processo de cura do concreto, este foi monitorado com o objetivo de identificar parâmetros e variações no selamento das fissuras. Aos 7 dias, para os concretos com adição de aditivo autocicatrizante, observou-se a formação de silicatos de cálcio nas fissuras abertas. Esses resultados indicam que a presença do aditivo no concreto favoreceu o selamento das fissuras superficiais.

Após 28 dias, foram realizadas análises ópticas comparando os corpos de prova antes e após a fissuração. A Figura 1 apresenta a comparação entre os Traços A e C, com e sem aditivo, respectivamente, ambos produzidos com cimento CII-E. De maneira semelhante, o selamento das fissuras nos traços B e D, com e sem aditivo cristalizante, respectivamente, produzidos com cimento CPV, foi monitorado e é apresentado na Figura 2.

**Figura 1** – Comparativo de Selamento de Fissuras Traços A e C



Fonte: Autora (2020).

**Figura 2** – Comparativo de Selamento de Fissuras Traços B e D.



D



Fonte: Autora (2020).

### 3.5 ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA)

Os resultados da análise de variância (Anova), a partir do software Excel, para os traços A e C, são apresentados na Tabela 6. Os valores comparativos apresentados na tabela mostram que  $F_{\text{calculado}}$  é menor que  $F_{\text{crítico}}$ , dessa forma, é possível dizer que a influência do aditivo cristalizante no traço contendo CII-E não é significativo.

Tabela 6- Análise de Variância (ANOVA) Traço A e Traço C.

ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Amostra	1,449075	1	1,449075	0,292411	0,603406	5,317655
Colunas	8,316675	1	8,316675	1,678232	0,231288	5,317655
Interações	2,439008	1	2,439008	0,492171	0,502855	5,317655
Dentro	39,64493	8	4,955617			
<b>Total</b>	<b>51,84969</b>	<b>11</b>				

Fonte: Autora (2020).

A Tabela 7, por sua vez, apresenta os resultados da análise de Anova para os Traços B e D, ambos produzidos com o cimento CPV.

Ao analisar o concreto contendo CPV, verificou-se que o aditivo autocicatrizante cristalizante, ao ser avaliado com base no valor de  $F_{\text{calculado}}$  das colunas e interações, resultou em um valor maior que o  $F_{\text{crítico}}$ . Isso indica que o Sika WT-200P contribuiu para um ganho de resistência no traço B, provavelmente potencializado pelos álcalis cristalinos presentes no aditivo e pelas características físicas do Cimento Portland Tipo V, que, por possuir uma área superficial maior, aumenta o contato durante o processo de hidratação.

**Tabela 7 - Análise de Variância (ANOVA) Traço B e Traço D.**

ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Amostra	1,594687521	1	1,594688	0,26168	0,622785	5,317655
Colunas	164,0913542	1	164,0914	26,92653	0,000833	5,317655
Interações	37,40211752	1	37,40212	6,137492	0,038267	5,317655
Dentro	48,75231683	8	6,09404			
<b>Total</b>	<b>251,8404761</b>	<b>11</b>				

Fonte: Autora (2020)

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao discutir a utilização de aditivos autocicatrizantes no concreto, é importante considerar, além do custo do material, a possibilidade de promover o desenvolvimento e avanços nas pesquisas nesta área. Durante a execução do estudo, observou-se, para ambos os tipos de cimento, uma capacidade de autocicatrização com resultados positivos e altas taxas de eficiência. Dessa forma, garante-se a viabilidade de aplicação do material em construções de pequeno porte (CPII-E) até aquelas que exigem altas resistências (CPV).

Em relação ao impacto financeiro, o desenvolvimento do material permite o selamento de fissuras, resultando em aumento da durabilidade e redução nos custos com reparos. A utilização de ferramentas estatísticas possibilitou uma análise quantitativa e precisa dos resultados obtidos. A pesquisa sugere que a indústria da construção civil pode se beneficiar do avanço das metodologias, especialmente no que diz respeito à durabilidade, melhorias estruturais e reológicas.

## REFERÊNCIAS

ABCP. Vendas de Cimento em Outubro seguem em Alta. Imprensa. 2020. Disponível em: <https://abcp.org.br/imprensa/vendas-de-cimento-em-outubro-seguem-em-alta/>. Acesso em: 02 mar. 2021.

ABNT NBR 5738. **Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**, 2015.

ABNT NBR 5739. **Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**, 2007.

ABNT NBR 8802. **Concreto endurecido – Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica**, 2013.

ABNT NBR 9779: **Argamassa e concreto endurecidos-Determinação da absorção de água por capilaridade**. 2012.

CÁNOVAS, Manuel Fernández. **Patologia e terapia do concreto armado**. Pini, 1988.

CAPPELLESSO, V. G. **Avaliação da autocicatrização de fissuras em concretos com diferentes cimentos**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do Concreto-5ª Edição**. Bookman Editora, 2015.

NORMA MERCOSUL, NM 67: **Concreto: determinação de consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998.

WANG, Ruiyang et al. **Investigation of ion chelator and mineral admixtures improving salt-frost resistance of cement-based materials**. Construction and Building Materials, v. 227, p. 116670, 2019.

# ANÁLISE MULTITEMPORAL DO USO E OCUPAÇÃO DAS ZONAS DE ADENSAMENTO CONTROLADO (ZAC) DE MARABÁ

Flaviany Luise Nogueira de Sousa, Nuria Pérez Gallardo

  10.56238/livrosindi202483-003

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil é possível visualizar em cidades mais antigas do território nacional, as mudanças ocasionadas por diferentes processos de crescimento, responsáveis por promover a expansão da mancha urbana no território. Mesmo esses processos sendo diversificados em cada região, a maioria se deu inicialmente por um acentuado crescimento da economia urbano-industrial (Poubel; Campos, 2019).

Todavia, no território amazônico, Abelém (2018) destaca que a partir da década de 60, com a abertura da BR-010, também conhecida como Rodovia Belém-Brasília, e com a ampliação de incentivos fiscais para projetos agropecuários na região, as tensões sociais se tornaram acentuadas gerando corridas às terras da Amazônia. Segundo a autora, a ocupação foi ainda mais agravada com a abertura de novas estradas que passaram a cortar a região, ligando núcleos urbanos à eixos rodoviários.

Os grandes projetos de mineração, de hidrelétricas e experimentos agrícolas que foram surgindo contribuíram para formar núcleos urbanos com bairros bem estruturados, com uma infraestrutura física satisfatória para técnicos e funcionários de empresas responsáveis, e também para a formação de bairros pobres, sem qualquer equipamento urbano, para serem ocupados pelo trabalhador braçal (Abelém, 2018).

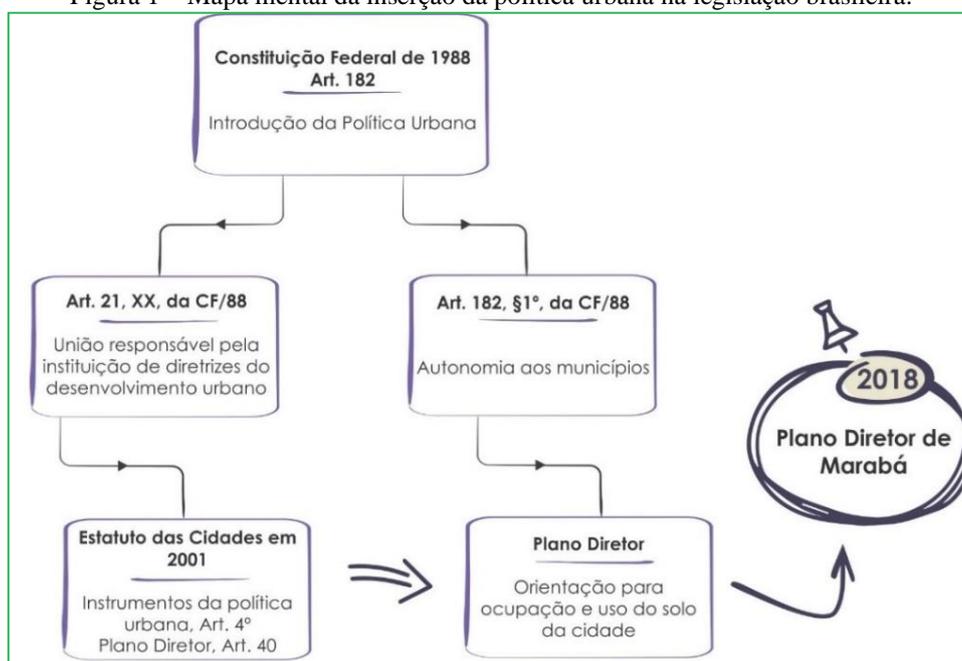
Assim, como em outras localidades na Amazônia, o município de Marabá também atraiu um contingente populacional a partir da segunda metade do século XX. Esse avanço da migração foi fortemente influenciado pelas dinâmicas comerciais instaladas na cidade, como a produção da soja, castanha, caucho, minérios de diamante e ouro, madeira, entre outros (Lobato; Emmi, 2014).

Apesar disso, a partir da sua posição geográfica e das facilidades logísticas como o transporte de minério pela ferrovia e de produtos da agricultura pelas rodovias, o município acabou se tornando um dos polos mais significativos de desenvolvimento urbano do Estado do Pará (Almeida, 2008). No fim, todas essas mudanças continuam a alterar a configuração do seu território.

Uma tentativa de ordenar essas alterações se dá pela utilização de Planos Diretores como instrumentos de apoio para o zoneamento, visando controlar o uso e a ocupação do solo, visto que, este contribui na definição de limites e auxilia na regulação do ordenamento das propriedades para futuras expansões nas áreas existentes (Poubel; Campos, 2019).

Quanto a Marabá, o primeiro Plano Diretor foi elaborado em 2006, o qual passou por uma revisão, cujo resultado foi publicado em 2018, sendo a atual versão. O mapa mental da Figura 1, apresenta o caminho percorrido dentro da legislação brasileira, iniciando na CF/88, para a introdução da política urbana da esfera federal até a municipal.

Figura 1 – Mapa mental da inserção da política urbana na legislação brasileira.



Fonte: Autoras.

Dentre as zonas que podem ser delineadas por um Plano Diretor Municipal, uma delas é identificada como Zona de Adensamento Controlado (ZAC) ou também chamada de Zona de Uso Controlado (Carvalho; Braga, 2001).

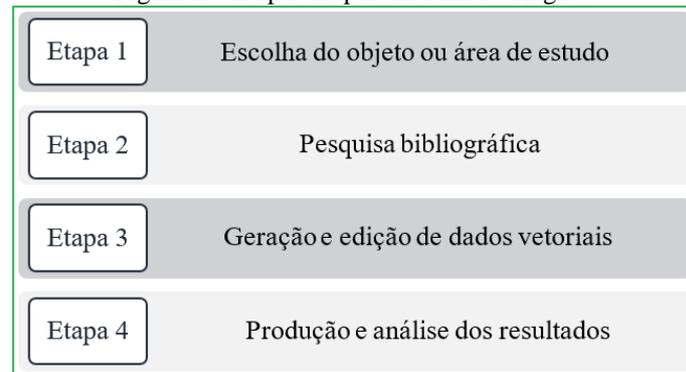
Segundo o art. 13, inciso III, do Plano Diretor de Marabá, o Setor de Uso Controlado corresponde a um “ambiente construído caracterizado pela descontinuidade da infraestrutura e da ocupação, reunindo áreas de habitação, industriais e de interesse ambiental, existentes ou propostas” (Marabá, 2018, p. 7).

Nesse sentido, este trabalho se propõe a realizar uma análise multitemporal acerca da área das ZAC dispostas nos núcleos urbanos de Marabá, destacando a sua redução ao longo dos anos, de modo a auxiliar na produção de informações, que por ventura, possam ser adotadas no planejamento estratégico urbano da cidade.

## 2 MÉTODO

O percurso metodológico deste trabalho consistiu em 4 etapas elencadas conforme a Figura 2, adaptadas do trabalho de mapeamento de Xavier (2010) e com a contribuição sobre carta imagem delineada por Souza (2019). Todas essas etapas têm como objetivo a organização dos dados e a estruturação dos meios para serem empregados na etapa final de caracterização das ZACs em Marabá.

Figura 2 – Etapas do percurso metodológico.

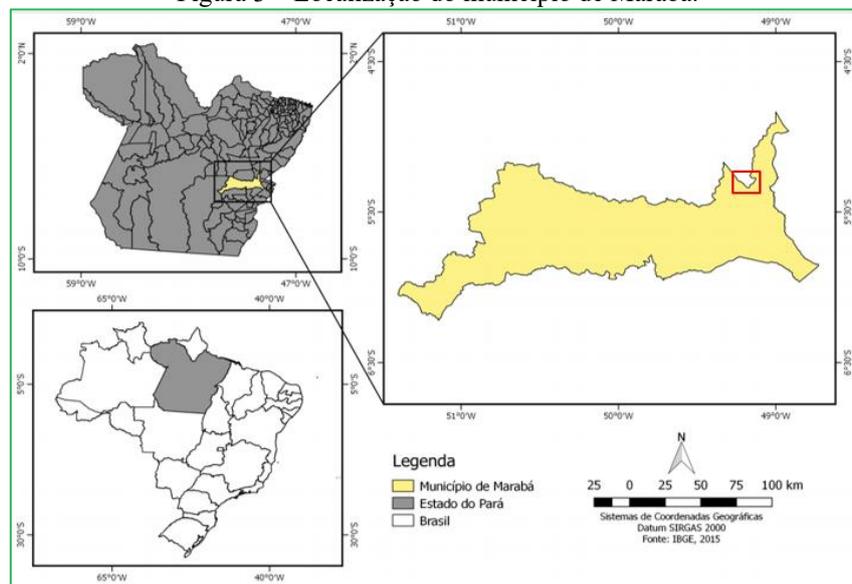


Fonte: Adaptado de Xavier (2010).

### a) Etapa 1: Área de estudo

A área a ser estudada é o município de Marabá, localizado no sudeste do estado do Pará, a cerca de 500 quilômetros de Belém, capital do estado. Situa-se em um ponto de encontro de dois rios, Tocantins e Itacaiúnas, que formam uma espécie de “y” em meio a cidade, quando visualizada de cima (Almeida, 2008). Na Figura 3, pode ser visualizada a localização do município e em destaque, no retângulo vermelho, onde se encontram os núcleos urbanizados.

Figura 3 – Localização do município de Marabá.



Fonte: Autoras.

Quanto ao espaço urbano, conforme o Plano Diretor de Marabá, a cidade se encontra dividida em núcleos e distritos, portanto, polinucleada. Serão analisadas a existência de ZACs nos núcleos da Velha Marabá, Nova Marabá e Cidade Nova.

**b) Etapa 2:** Pesquisa bibliográfica

Esta etapa que trata da pesquisa e escolha de trabalhos acerca do tema, foi realizada anteriormente nos tópicos de “Revisão Sistemática” e “Fundamentação Teórica”. Para tanto, foram escolhidos artigos de revistas, dissertações, monografias, legislação municipal, federal, livros, entre outros.

**c) Etapa 3:** Geração e edição de dados vetoriais

A análise multitemporal foi realizada a partir da obtenção de uma série de imagens adquiridas por meio do *Google Earth Pro* em sua ferramenta de imagens históricas e, posteriormente, foram delimitadas manualmente os polígonos das ZAC, através da edição no programa QGIS em sua versão 3.4.

Para a obtenção das imagens, o *Google Earth Pro* será configurado de forma a fornecer imagens com qualidade 4K UHD, na melhor resolução disponível pelo programa, no caso  $3840 \times 2160$  pixels.

Os anos para os quais as imagens serão recolhidas são de 2005, 2010 e 2020. A ideia inicial foi de que fossem escolhidos pelo menos 5 anos diferentes para a análise das áreas, contudo, em um pré-teste, alguns anos como 2009, 2012 e 2014 apresentaram imagens de Marabá distorcidas, incolores ou com a presença de aglomerados de nuvens.

Assim, foram escolhidos o ano de 2005 por anteceder o primeiro Plano Diretor de Marabá (2006), o ano de 2010 por anteceder o Plano Diretor em vigência (2018) e, por último, o ano de 2020 para se visualizar como as áreas estão atualmente sendo ocupadas pela população.

Após a extração das imagens do *Google Earth Pro* e da criação das poligonais no *QGIS*, as imagens com as poligonais passaram por um refinamento no programa *Corel Draw* versão 2020, para organização do *layout* no mapa final. A carta imagem foi elaborada com o intuito de mostrar a evolução do aumento da área urbana na cidade entre os anos escolhidos.

#### d) Etapa 4: Análise dos resultados

Como base para análise dos resultados, considerou-se o trabalho de Alves *et al.* (2008), por analisarem os processos de expansão urbana juntamente com suas relações no espaço intraurbano.

Alves *et al.* (2008) determina “classes” para compreender a dinâmica de ocupação nas cidades, levando em conta aspectos físicos, naturais e arquitetônicos. Essas classes estão expostas no Quadro 1.

Quadro 1 – Classes para análise de expansão.

AUTORES	CLASSES	PADRÃO
Alves <i>et al.</i> (2008)	Residencial	Verificação de ocupação em quadras e domicílios individuais.
Alves <i>et al.</i> (2008)	Industrial/Comercial/Institucional	Edificações de grande e médio porte.
Alves <i>et al.</i> (2008)	Hidrografia	Presença de rios, córregos e igarapés próximos à área urbana.
Alves <i>et al.</i> (2008)	Áreas de preservação	Áreas de Proteção Ambiental.
Alves <i>et al.</i> (2008)	Arborização urbana	Ruas e avenidas que possuam vegetação.
Alves <i>et al.</i> (2008)	Vazios urbanos	Áreas desocupadas, passíveis de construção.

Fonte: Autoras.

Para identificação das ZAC na carta imagem em cada núcleo, foi criado um código composto por letras e dois números, ao qual as letras representam as iniciais de cada nome do núcleo. Por exemplo, o núcleo Nova Marabá tem como iniciais NM, portanto estas letras farão parte do código, seguidos de dois números aleatórios. Da mesma forma quanto ao núcleo Cidade Nova (CN) e o núcleo Velha Marabá (VM). Além disso, para cada ZAC foi atribuída um índice relativo à diminuição da área. Os índices estão contidos na Tabela 1.

Tabela 1 – Índices para redução de área.

ÍNDICE	REDUÇÃO
<b>R1</b>	$X < 5\%$
<b>R2</b>	$5\% \leq X < 25\%$
<b>R3</b>	$25\% \leq X < 50\%$
<b>R4</b>	$50\% \leq X < 75\%$
<b>R5</b>	$75\% \leq X < 100\%$
<b>R6</b>	$X = 100\%$

Fonte: Autoras.

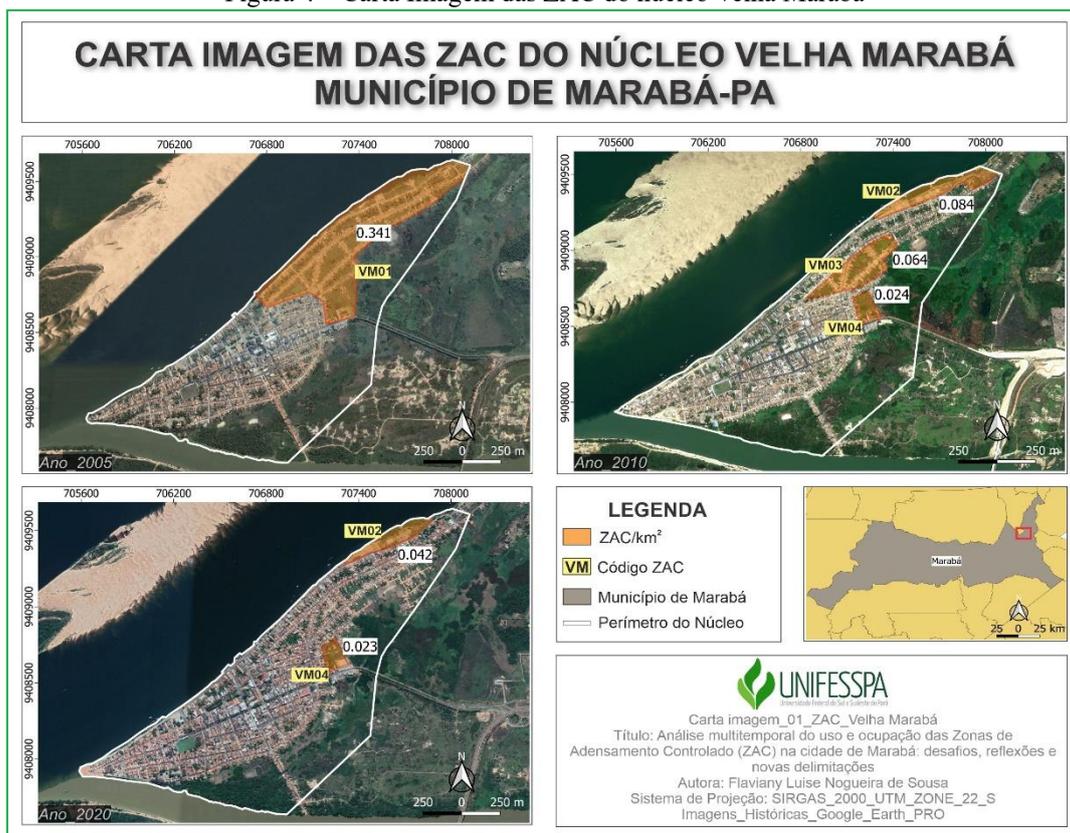
Para cada ZAC de um respectivo ano, compara-se o tamanho da área do ano anterior, onde essa porcentagem de redução corresponde ao valor de X na Tabela 1, assim, se a redução foi menor ou igual a 5% de 2005 para 2010, por exemplo, a ZAC recebe um índice R1.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Carta Imagem do núcleo da Velha Marabá pode ser observada na Figura 4. A ZAC inicial VM01, no ano de 2005, correspondia a uma área total de 0,341 km<sup>2</sup>, ocupando parte da orla, à espaços centrais de pequenos comércios e residências, limitando-se dentro do perímetro urbano com uma área de interesse ambiental do município.

Na VM01 também é observado sua subdivisão urbana em quadras, separadas por um sistema viário regular, compostas por gramados e árvores. Nas quadras, se verificam vazios urbanos internos e o início da ocupação em seus limites externos. Não foram reconhecidas edificações de médio e grande porte industriais ou institucionais dentro da ZAC no ano em questão.

Figura 4 – Carta Imagem das ZAC do núcleo Velha Marabá



Fonte: Autoras.

Contudo, no ano de 2010, a ZAC supracitada se fragmentou em outras três novas zonas: VM02, VM03 e VM04. Considerando os índices de redução de área e comparando-se a ZAC inicial com as novas zonas formadas, todas podem ser classificadas com um índice R5, ou seja, tiveram uma redução entre 75 a 100% em seus tamanhos, conforme observado na Tabela 2, a seguir, que apresenta a classificação do indicador de redução de área em cada zona delimitada.

Tabela 2 – Áreas das ZAC do núcleo Velha Marabá com seus índices de redução entre os anos de 2005 a 2020.

ZAC	Área km <sup>2</sup> (2005)	Índice	ZAC	Área km <sup>2</sup> (2010)	Índice	ZAC	Área km <sup>2</sup> (2020)
VM01	0,341	R5	VM02	0,084	R3	VM02	0,042
		R5	VM03	0,064	R6	-	-
		R5	VM04	0,024	R1	VM04	0,023

Fonte: Autoras.

Quanto ao núcleo da Nova Marabá, a discussão será baseada nas informações apresentadas na Carta Imagem 02 das ZAC, da Figura 5. A ZAC inicial NM01, no ano de 2005, possuía uma área total de 4,290 km<sup>2</sup>, ocupando parte da região norte do perímetro do núcleo da Nova Marabá, limitando-se à esquerda com a área de interesse ambiental do município. A área ocupada era composta basicamente de residências, com pequenos núcleos comerciais sendo construídos e dispersos entre as folhas.

De 2005 a 2010, na NM02 houve uma redução mínima de índice R2, ou seja, entre 5 e 25% e entre 2010 e 2020, teve novamente uma redução de mesmo índice. A ZAC atual possui uma área de 1,038 km<sup>2</sup>, mantendo-se num padrão de ocupação igual ao de 2005, contudo, com mudanças apenas relativas à expansão horizontal por meio da instalação de mais residências.

Figura 5 – Carta Imagem das ZAC do núcleo Nova Marabá.



Fonte: Autoras.

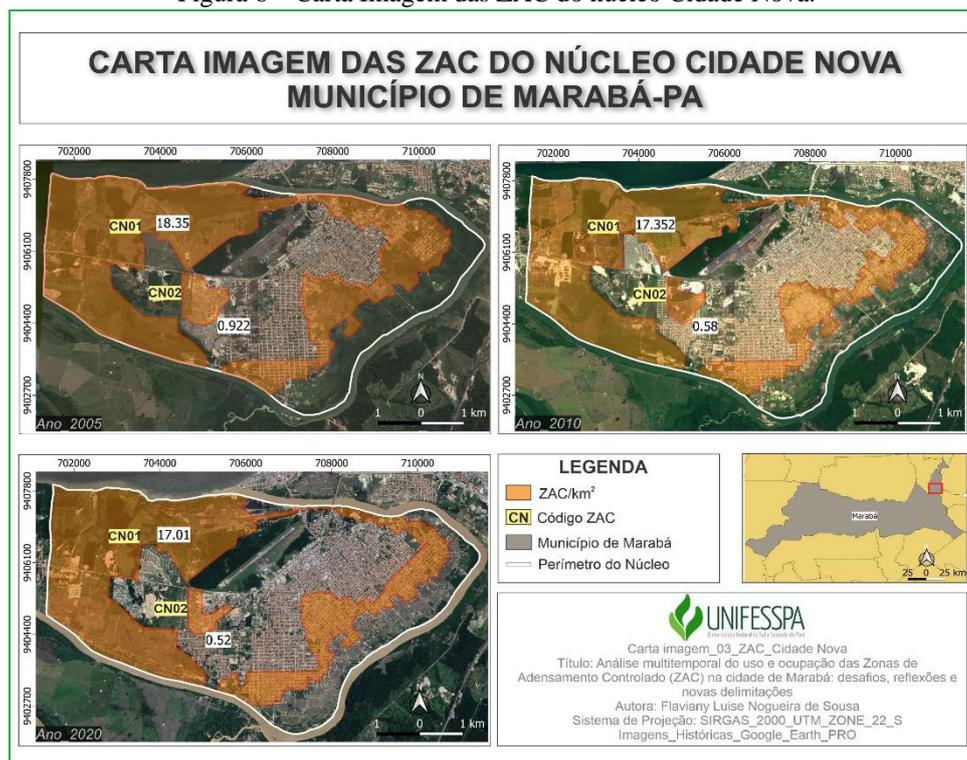
De maneira geral, conforme as designações para as áreas do Setor de Uso Controlado na Nova Marabá, pode-se afirmar que as ZAC do núcleo em questão atendem as definições dispostas no Plano Diretor da cidade, por terem apresentado uma insuficiência de infraestrutura e ocupação na vizinhança do Rio Tocantins e Itacaiúnas.

No entanto, em relação ao cumprimento das diretrizes para o setor, observa-se um avanço por parte das construções sobre áreas alagáveis que deveriam ser preservadas, demonstrando, no fim, que não há uma regularização urbanística e fundiária dos assentamentos existentes no núcleo.

Por fim, a discussão acerca do núcleo Cidade Nova, será baseada nas informações apresentadas na Carta Imagem 03 das ZAC da Figura 6. Este núcleo possui somente duas ZAC, sendo estas: CN01 e CN02.

Após 5 anos, a CN01 teve uma redução de área de índice R2, ou seja, entre 5 e 25% (Tabela 3) em virtude da expansão nas extremidades no aglomerado urbano do núcleo. Esses espaços periféricos não faziam parte de nenhum bairro planejado do núcleo, dessa forma, os novos moradores viviam em situações menos satisfatórias em relação aos serviços públicos, do que os ocupantes da faixa central.

Figura 6 – Carta Imagem das ZAC do núcleo Cidade Nova.



Fonte: Autoras.

De 2005 a 2010, a ZAC CN02 passou por uma redução de área, sendo classificada com um índice R3, ou seja, teve uma diminuição variando entre 25 e 50%. Após 10 anos, em 2020, a área se encontra quase que totalmente ocupada, onde se visualiza a presença de arborização, arruamentos estreitos e um adensamento explícito da população dentro dessa zona. Até o momento, dentro do perímetro da ZAC, não são encontradas instalações industriais. A redução da área entre 2010 e 2020 foi pequena, sendo classificada com um índice R2 (entre 5 e 25%).

Não obstante, em relação ao cumprimento das diretrizes para o setor, observa-se um avanço por parte das construções sobre a área de interesse ambiental, que deveria ser preservada, demonstrando, no fim, que não há uma regularização urbanística e fundiária dos assentamentos existentes no núcleo.

Tabela 3 – Áreas das ZAC do núcleo Cidade Nova com seus índices de redução entre os anos de 2005 a 2020.

ZAC	Área km <sup>2</sup> (2005)	Índice	ZAC	Área km <sup>2</sup> (2010)	Índice	ZAC	Área km <sup>2</sup> (2020)
CN01	18,35	R2	CN01	17,352	R1	NM01	17,01
CN02	0,922	R3	CN02	0,58	R3	NM02	0,52

Fonte: Autoras.

Dessa forma, quanto a definição das ZAC segundo seu núcleo de atuação, quase todas atendem ao conceito pré-estabelecido. Recomenda-se que somente algumas áreas da Velha Marabá e da Nova Marabá sejam retiradas na próxima revisão do Plano Diretor, por não se enquadrarem nos objetivos para o qual foram criadas, além de que se percebeu que no momento várias dessas ZAC se encontram totalmente ocupadas, sem quaisquer vazios urbanos disponíveis para promover a regularização ou expansão dentro do núcleo. Sendo, portanto, incapazes de atender as diretrizes do Plano.

## REFERÊNCIAS

- ABELÉM, A. G. **Urbanização e remoção: por que e para quem?**. Belém: NAEA, 2018.
- ALVES, C. D. *et al.* Análise dos Processos de Expansão Urbana e das situações de Vulnerabilidade Socioambiental em escala Intra-urbana. **ANPPAS**, p. 1-20, jun. 2008. DOI: <<https://doi.org/10.1590/S0102-30982010000100009>>. Acesso em: 1 de outubro de 2020.
- CARVALHO, P. F.; BRAGA, R. Perspectivas de Gestão Ambiental em Cidades Médias. **Rio Claro: LPM-UNESP**, p. 95 a 109. 2001.
- LOBATO, M. M.; EMMI, M. F. Globalização e reestruturação espacial da fronteira: o impacto da implantação de grandes obras na cidade de Marabá – Pará. **Espaço e Economia**, Ano II, n. 4, 2014b.
- MARABÁ. **Lei nº 17.846 de 29 de março de 2018**. 2018. Disponível em: <[http://www.governotransparente.com.br/transparencia/documentos/4466490/download/29/Plano\\_Diretor\\_Participativo\\_%2017.846\\_Mar%C3%A7o\\_2018.pdf](http://www.governotransparente.com.br/transparencia/documentos/4466490/download/29/Plano_Diretor_Participativo_%2017.846_Mar%C3%A7o_2018.pdf)>. Acesso em: 20 de abril de 2020.
- POUBEL, I.; CAMPOS, F. Conflitos territoriais entre o zoneamento urbano municipal e as diretrizes ambientais: O caso do Corredor Ecológico Duas Bocas – Mestre Álvaro, Grande Vitória – ES, Brasil. **Revista de Geografia e Ordenamento do Território**, n. 18, p. 55-77, dez. 2019.
- SOUZA, G. C. **Análise e mapeamento geológico-geotécnico nas áreas da zona especial de interesse ambiental -i: dinâmica de uso e ocupação do solo no núcleo urbano de Marabá-PA**. Marabá, 2019. 62 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação em Geologia, Faculdade de Geologia, Unifesspa, Marabá, 2019.
- XAVIER, S. C. **O mapeamento geotécnico por meio de geoprocessamento como instrumento de auxílio ao planejamento do uso e ocupação do solo em cidades costeiras: estudo de caso para pelotas (RS)**. Dissertação apresentada à Comissão de Curso de Pós-Graduação engenharia Oceânica da Universidade Federal do Rio Grande - FURG, Rio Grande do Sul, 2010.

# IDENTIFICAÇÃO DE FREQUÊNCIAS DE VIBRAÇÃO PARA ESTRUTURAS COM DOIS GRAUS DE LIBERDADE

Wilson Kataoka Oyama Filho, Saymon Henrique Santos Santana

  10.56238/livrosindi202483-004

## 1 INTRODUÇÃO

O estudo das vibrações mecânicas em estruturas na Engenharia Civil figura como uma importante etapa de planejamento no setor da construção. Os prognósticos discriminados nesta etapa são fundamentais para a implementação otimizada das diversas estruturas. O negligenciamento deste investigação pode implicar em patologias que comprometerão a integridade da estrutura e, conseqüentemente, a segurança de seus usuários.

Embora Yang *et al*, 2021 afirme que as estruturas de engenharia civil sejam projetadas para durarem de 50 a 100 anos, mantendo sua integridade estrutural, é importante salientar que o uso das previsões de resposta das estruturas às diversas solicitações externas estende-se ainda às determinações do Estado Limite Último (ELU), descrito pela ABNT NBR 6118, e ao possível colapso da estrutura, fato que pode implicar na necessidade imediata de paralisação do seu uso (ABNT, 2014).

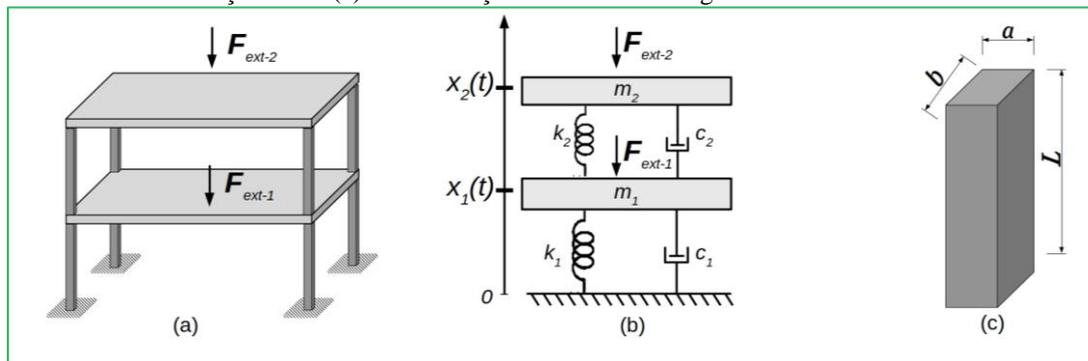
Salawu (1997) ressalta a importância do conhecimento preciso das frequências naturais de vibração, como meio de prevenção do fenômeno da ressonância. Trabalhos como Peeters *et al* (2001), Cunha e Caetano (2006) tratam de diferentes metodologias para de monitoramento da estabilidade das estruturas de uma construção civil, levando em conta as diferentes solicitações externas, variações de temperatura.

Neste trabalho é apresentada uma análise das frequências de vibrações em estruturas na Engenharia Civil, em termos dos parâmetros característicos dos pilares de sustentação. Conforme descrito em Kim e Melhem (2003) os métodos de identificação de dano em estruturas de engenharia civil e mecânica podem ser tratados através de ferramentas de análise de sinal como *Wavelets*. A modelagem no domínio das frequências nestes casos é essencial para determinação de situações nas quais as frequências das forças externas O objetivo principal é verificar as configurações dos pilares de sustentação da estrutura nas quais as frequências naturais do sistema se aproximam das frequências críticas descritas nas normas regulamentadoras. Os resultados apresentados aqui são desdobramentos do desenvolvimento apresentado por Oyama Filho, 2022.

## 2 MÉTODO

Uma estrutura composta por dois pavimentos, suportados por quatro pilares constitui um arranjo recorrente na Engenharia Civil. Na Figura 1(a) é apresentada uma representação deste modelo, sujeito às ações de forças externas ( $F_{ext-1}$  e  $F_{ext-2}$ ). Este sistema pode ser analisado sob a perspectiva de um modelo do tipo massa-mola amortecido e forçado, com dois graus de liberdade, conforme ilustrado na Figura 1(b). A Figura 1(c) mostra as dimensões de um dos pilares de sustentação da estrutura. O estudo das frequências de vibração será desenvolvido com base na posição instantânea dos pavimentos 1 e 2, representados, respectivamente por  $x_1(t)$  e  $x_2(t)$ .

Figura 1 – Sistema com dois pavimentos suportados por pilares em (a). Em (b) Modelo baseado em um sistema massa-mola Amortecido e forçado. Em (c) Pilar de seção transversal retangular.



Fonte: Autor

(2022)

Os pilares de sustentação podem ser caracterizados em termos de sua rigidez elástica  $k$  [N/m], em termos dos coeficientes de amortecimento. Considerando uma situação na qual as forças externas são variáveis ao longo do tempo e para uma situação na qual o amortecimento é proporcional à velocidade de deslocamento de cada pavimento, a aceleração desenvolvida por cada pavimento pode ser escrita através das equações (1) e (2):

$$m_1 \frac{d^2 x_1(t)}{dt^2} + (c_1 + c_2) \frac{dx_1(t)}{dt} - c_2 \frac{dx_2(t)}{dt} + x_1(k_1 + k_2) - x_2 k_2 = F_{ext-1}(t) \quad (1)$$

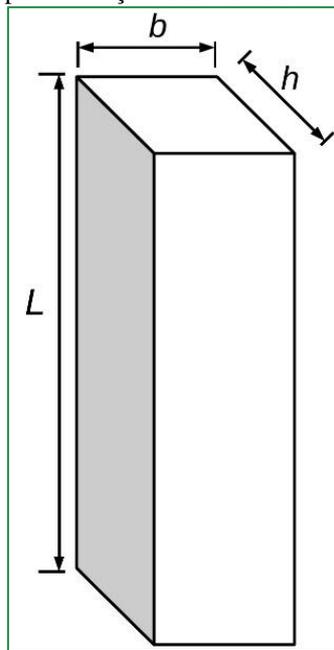
$$m_2 \frac{d^2 x_2(t)}{dt^2} + c_2 \left( \frac{dx_2(t)}{dt} - \frac{dx_1(t)}{dt} \right) + (x_1(t) + x_2(t)) k_2 = F_{ext-2}(t) \quad (2)$$

Neste cenário, as quatro frequências angulares naturais deste sistema podem obtidas através da Equação 3, a seguir:

$$\omega_{1,2}^2 = \frac{m_2(k_1 + k_2) + k_2 m_2 \pm [-m_2(k_1 + k_2) - k_2 m_2 - 4m_1 m_2 k_1 k_2]^{1/2}}{2m_1 m_2} \quad (3)$$

O objetivo principal do trabalho é determinar as frequências naturais do sistema em termos dos parâmetros físicos e geométricos que caracterizam os pilares de sustentação, aqui considerados como sendo de seção transversal retangular de área A e dimensões conforme ilustradas na Figura 2 a seguir:

Figura 2. Dimensões do pilar de seção transversal retangular adotado no modelo.



Fonte: Autor, 2022.

Neste estudo, a relação entre a constante elástica do modelo massa-mola inicial e o módulo de Elasticidade do pilar pode ser dada por:

$$K = \frac{AE}{L} \quad (4)$$

Para escrever as equações dos módulos normais de vibração em função das propriedades físicas da estrutura em si, e partindo da premissa que todos os pilares são iguais em dimensões e materiais e as massas dos pavimentos são iguais, pode-se substituir os valores dos coeficientes de elasticidade na equação

$$m^2(\omega^2)^2 - \left[ \frac{AE}{l} m + m \left( \frac{2AE}{l} \right) \right] \omega^2 + \frac{A^2 E^2}{l^2} = 0 \quad (5)$$

Que, resolvida para as frequências naturais de vibração, fornecem:

$$\omega_1^2, \omega_2^2 = \frac{\sqrt{2LmAE(3 \pm \sqrt{5})}}{2Lm} \quad (6)$$

Nas próximas seções, as soluções apresentadas na Equação 6 serão analisadas para valores de parâmetros de pilares de concreto aplicáveis a elementos estruturais reais.

Uma vez que a equação 6 depende de múltiplas variáveis, essa etapa tem por objetivo compreender os parâmetros que exercem maior influência no comportamento do espectro das frequências naturais do sistema e determinar se existem intervalos de frequências relevantes para os parâmetros previstos pelas normas brasileiras. Nesta perspectiva, considerou-se que todos os pilares seriam feitos de concreto, com o intervalo dos valores de módulo de elasticidade variando entre 25 GPa e 47 GPa, seguindo o apresentado na Tabela 1, conforme estabelece a norma NBR 6118.

Tabela 1: Módulos de Elasticidade de diferentes concretos:

Classe de Referência	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C60	C70	C80	C90
<b>E<sub>ci</sub> (GPa)</b>	25	28	31	33	35	38	40	42	43	45	47
<b>E<sub>cs</sub> (GPa)</b>	21	24	27	29	32	34	37	40	42	45	47
<b>α<sub>i</sub></b>	0,85	0,86	0,88	0,89	0,90	0,91	0,93	0,95	0,98	1,00	1,00

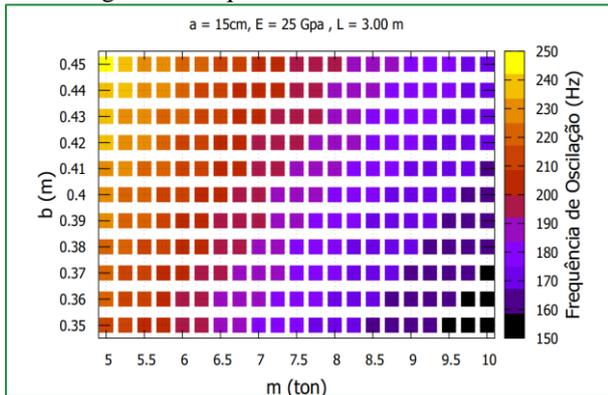
Fonte: Adaptado de NBR 6118. ABNT 2014.

No que tange às características geométricas dos pilares, suas dimensões foram escolhidas de modo que o valor da dimensão *a* na Figura 2 foi mantido fixo e igual a 15cm, e o lado *b* variando entre 0,35 e 45cm, uma vez que a norma brasileira de estruturas de concreto estabelece que o mínimo 12cm (aplicando os coeficientes de majoração adequados) para o comprimento e a largura de um pilar e não define um máximo específico. As alturas *L* dos pilares foram fixadas em 3 m e as massas dos pavimentos variando no intervalo de 5 a 10 toneladas.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

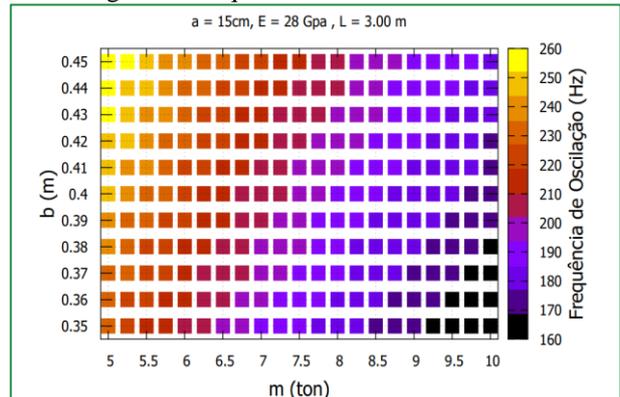
Esta seção traz os resultados obtidos para as frequências de vibração, relacionada com as frequências naturais  $\omega$  através de  $f = 2\pi/\omega$ . As Figuras de 3 a 13 mostram no eixo das abscissas os valores das massas de cada pavimento, no eixo das ordenadas o valor da dimensão  $b$  dos pilares e na escala de cor, a frequência de oscilação em Hertz. Cada figura refere-se a um diferente tipo de concreto.

Figura 3: Frequência natural concreto C25.



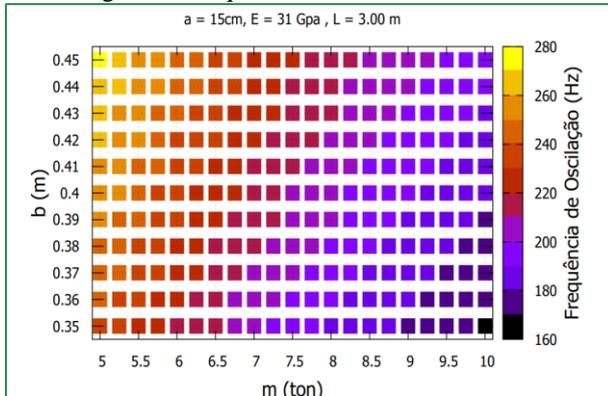
Fonte: Autor, 2022.

Figura 4: Frequência natural concreto C28.



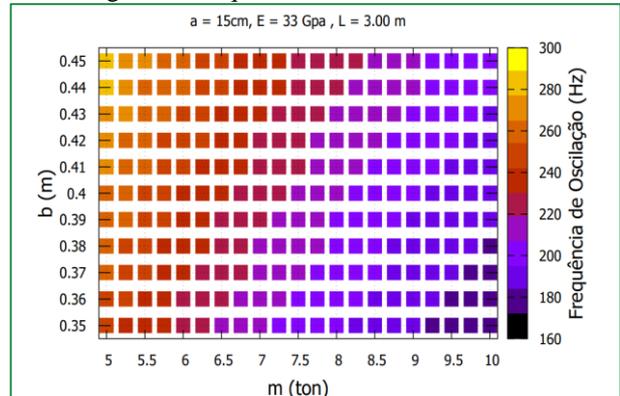
Fonte: Autor, 2022.

Figura 5: Frequência natural concreto C31.



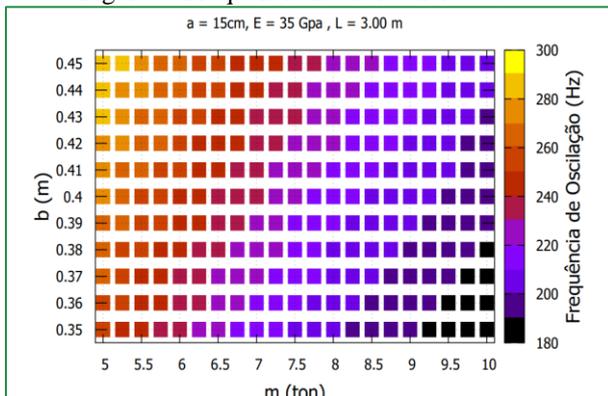
Fonte: Autor, 2022.

Figura 6: Frequência natural concreto C33.



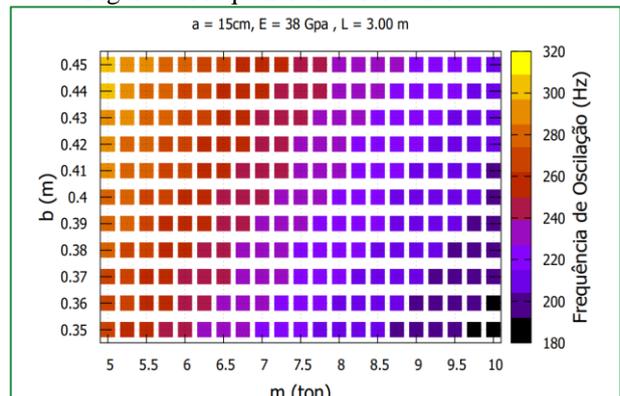
Fonte: Autor, 2022.

Figura 7: Frequência natural concreto C35.



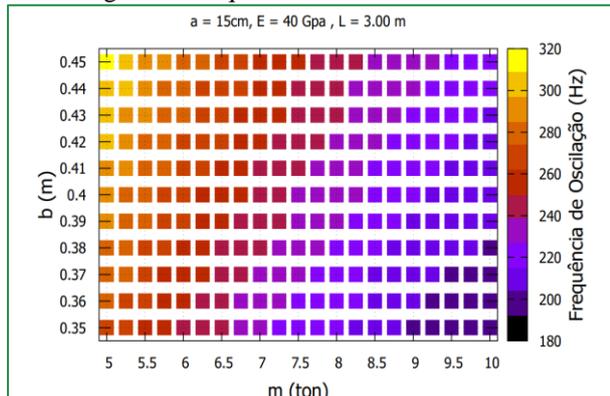
Fonte: Autor, 2022.

Figura 8: Frequência natural concreto C38.



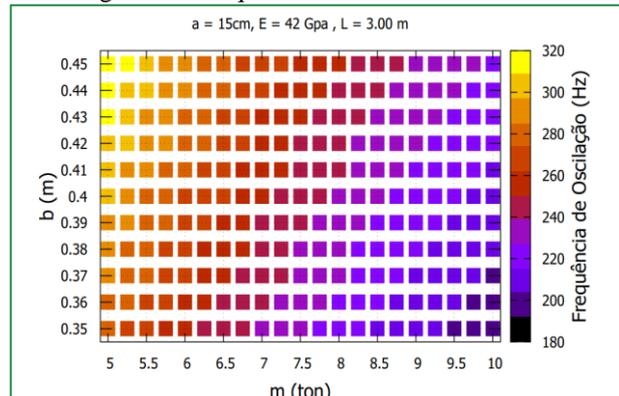
Fonte: Autor, 2022.

Figura 9: Frequência natural concreto C40.



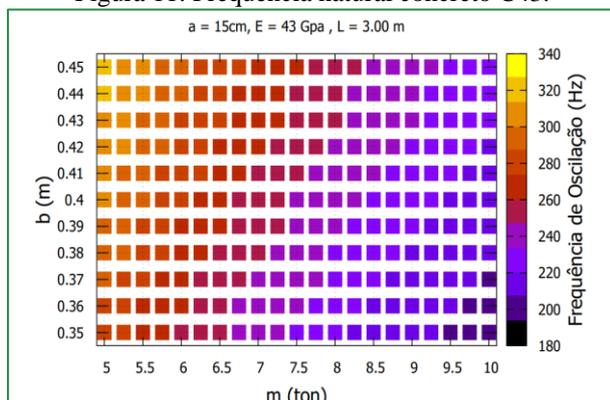
Fonte: Autor, 2022.

Figura 10: Frequência natural concreto C42.



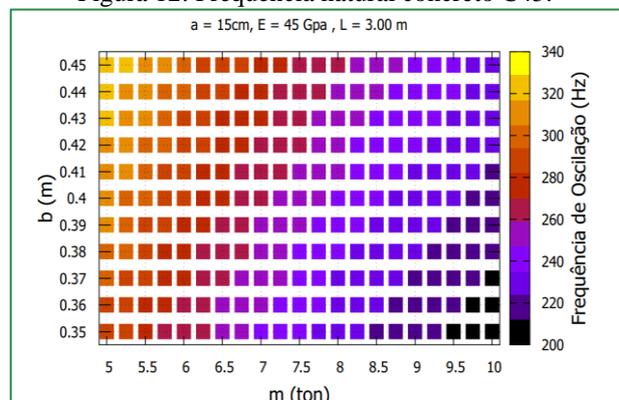
Fonte: Autor, 2022.

Figura 11: Frequência natural concreto C43.



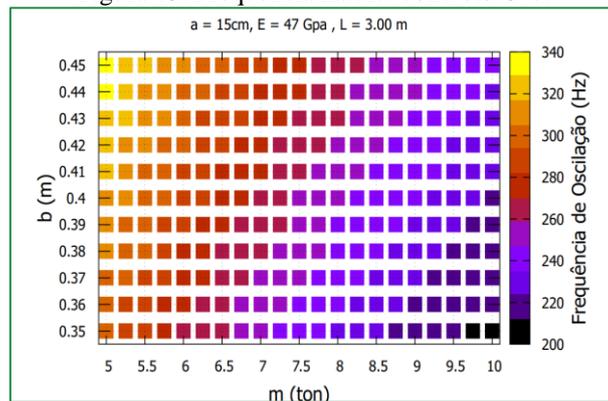
Fonte: Autor, 2022.

Figura 12: Frequência natural concreto C45.



Fonte: Autor, 2022.

Figura 13: Frequência natural concreto C47.



Fonte: Autor, 2022.

Os resultados obtidos nesta análise indicam que o aumento das massas dos pavimentos sustentados pelos pilares relaciona-se com a redução nas frequências vibracionais do sistema. No aspecto relativo à rigidez do pilar, observa-se que aumento dos valores de módulo de elasticidade do concreto ocasiona o aumento dos valores de frequência natural do sistema. De modo que valores moderados de frequência (~250 Hz) são obtidos nas configurações de estruturas nas quais o módulo

de elasticidade igual a 25GPa, ao passo em que para  $E = 47\text{GPa}$  obtêm-se frequências em torno de 340 Hz.

No que compete à questão geométrica dos pilares, as alterações da seção transversal para valores mais elevados resultaram em uma diminuição nas leituras dos módulos normais de vibração. Conforme observa-se à medida em que são aumentados os valores no eixo das ordenadas.

A análise apresentada neste trabalho visa uma discussão das frequências naturais de sistemas estruturais de interesse da Engenharia Civil, sob a ótica da dependência de com os parâmetros físicos e geométricos dos pilares de sustentação da estrutura. Tais resultados, indicam as melhores condições para o dimensionamento de estruturas no caso de exposição a excitações externas relevantes, podendo assim otimizar a fase de projetos estruturais evitando patologias relacionadas a fenômenos vibratórios. Valores típicos de frequências críticas, apresentados na NBR-6118, estabelecem que a vibração do sistema deve ser maior em pelo menos 1,2 ao valor da frequência crítica, cujo intervalo varia de 3,5 Hz para Salas de Concerto com cadeiras fixa, até 8,0 Hz para Ginásios de esportes e academias de ginástica. Este cuidado é essencial para que seja evitada a proximidade de movimentos ressonantes ou mesmo o aumento demasiado das amplitudes de vibração.

Além da determinação das diferentes frequências, a análise matemática aqui proposta permite uma introdução mais direta no estudo do fenômeno da vibração sob a ótica da decomposição de sinais em séries de Fourier. Esta análise, através da Equação 6, permite uma relação entre o tempo e frequências. Em síntese, a análise da estabilidade da estrutura pode ser feita a partir de fatores que podem ser medidos mais facilmente como a própria geometria da estrutura e também os valores relacionados ao tipo de material escolhido. Este estudo permite a otimização de todo o processo, desde as etapas de projeto até as fases de manutenção e correção.

## REFERÊNCIAS

OYAMA FILHO, WILSON KATAOKA. Análise dos modos normais de vibração de estruturas em engenharia civil / Wilson Kataoka Oyama Filho. 2022. 47f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Campus Universitário de Marabá, Instituto de Geociências e Engenharias, Faculdade de Engenharia Civil, Curso de Engenharia Civil, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto. Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

CUNHA, Álvaro; CAETANO, Elsa. Experimental Modal Analysis of Civil Engineering Structures. **Journal of Sound and Vibration**, p. 12-20, 1 jun. 2006.

KIM, Hansang; MELHEM, Hani. Damage detection of structures by wavelet analysis. **Elsevier**, p. 347–362, 21 out. 2003.

PEETERS, Bart; JOHAN, Maeck; DE ROECK, Guido. Vibration-based damage detection in civil engineering: excitation sources and temperature effects. **Smart Materials and Structures**, p. 518-527, 1 jan. 2001.

SALAWU, O. S. Detection through changes a review. **Elsevier**, p. 718-723, 1 jun. 1997.

YANG, Yongchao; NAGARAJAIAH, Satish. Blind identification of damage in time-varying system using independent component analysis with wavelet transform. **Elsevier**, p. 1-18, 22 jun. 2012.

# DA ÁGUA AO SOLO: A POTENCIALIDADE DO LODO DE ETA NA COBERTURA DE ATERROS SANITÁRIOS NA AMAZÔNIA

Jean Lucas de Souza Lima, Rafaela Nazareth Pinheiro de Oliveira Silveira

  10.56238/livrosindi202483-005

## 1 INTRODUÇÃO

A elevada geração de resíduos decorrentes de atividades diárias e industriais tem provocado problemas ambientais relacionados à disposição inadequada, tanto no Brasil quanto em diversos outros países (Fu et al., 2010; Chen et al., 2015; Ma; Hipel, 2016). Uma alternativa para melhorar essa situação seria implementar a reciclagem e o gerenciamento apropriado dos resíduos sólidos urbanos (RSU) (Gonçalves; Moraes; Marques; Lima, 2018; Lombardi; Carnevale; Corti, 2015; Vergara; Tchobanoglous, 2012).

No gerenciamento dos resíduos sólidos, principalmente em países com economia em desenvolvimento, tem-se como última etapa a disposição final em células de aterros sanitários, que acomodam os resíduos, com ou sem tratamento prévio (Zhang et al., 2019).

Segundo a NBR 8419 (ABNT, 1992), o aterro sanitário é uma técnica de disposição final de RSU no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais. O método baseia-se em utilizar princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho (NBR 8419, 2012).

No encerramento do ciclo de vida útil de um aterro é necessária uma atenção criteriosa quanto a sua cobertura final, de modo a minimizar a infiltração proveniente da precipitação pluviométrica e direcionar a água para área drenante e para fora do interior da célula com resíduos (Benson *et al.*, 2002; Hauser *et al.*, 2001; Hauser, 2009; Koerner; Daniel, 1997; Scalia IV; Benson, 2010; Yesiller *et al.*, 2019).

Portanto, a composição do material de uma cobertura do aterro sanitário exerce um papel fundamental para que não haja concentração de águas próximas aos resíduos e ao mesmo tempo não haja incremento do volume total de percolado gerado, tão quanto o aumento na geração do gás metano (CH<sub>4</sub>).

Em um aterro sanitário convencional, os solos são geralmente usados como coberturas diária, intermediária e final. Porém, mais recentemente, o material da camada impermeabilizante é a geomembrana, ou uma geomembrana sobrejacente à camada de argila compactada (CCL) de baixa permeabilidade ( $k \leq 1 \times 10^{-7}$  cm/s) ou com revestimento de geossintético com argila (GCL).

Outros materiais alternativos utilizados em cobertura de aterro podem ser citados como os lodos de estação de tratamento de esgoto e água (Yang et al., 2017; Gonçalves et al., 2017), misturas de RSU com solo (Rose et al., 2012; Wang et al., 2017) e até rejeitos de mineração e industriais estão sendo pesquisados para utilização em coberturas final de aterros sanitários (Gapak et al., 2017; Souza et al., 2019).

Há necessidade de encontrar alternativas viáveis para aplicação do lodo de estação de tratamento de água (ETA) e o seu, reaproveitamento, como por exemplo, em camadas de cobertura final de aterro sanitário. Além do aspecto técnico, a proposta também se atrela às questões de responsabilidade socioambiental a custo benefício, pois a aplicação do lodo como cobertura final minimiza os impactos causados pela exploração de jazidas naturais de solo e proporciona lucro para as ETA's, devido à redução de gastos com armazenagem e tratamento. Gonçalves et al. (2017) acredita que a codisposição de lodo de ETA em locais de reuso, reduz a necessidade de se implantar tecnologias mais dispendiosas, principalmente em ETA's de pequeno porte.

Entretanto, faz-se necessário analisar suas propriedades físico-químicas, com o objetivo de atender os requisitos geotécnicos mínimos, necessários para garantir sua funcionalidade, enquanto componente de um sistema. Sendo assim, Boscov (2008) afirma que a seleção dos materiais para aplicação em camadas impermeabilizantes é baseada na percentagem de argila ou de finos, nos Limites de Atterberg, na condutividade hidráulica e nas características da jazida.

Neste sentido, órgãos como a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB (1993) e a *Environmental Protection Agency* – EPA (1989) definem parâmetros geotécnicos para o uso de materiais como camada de cobertura final. Obedecer a estes parâmetros é essencial para garantir o funcionamento e a durabilidade de um aterro sanitário, uma vez que a camada de cobertura final tem como objetivo principal impedir a entrada de líquidos para o interior do corpo do aterro e evitar a saída de gases para atmosfera (Costa et al., 2018).

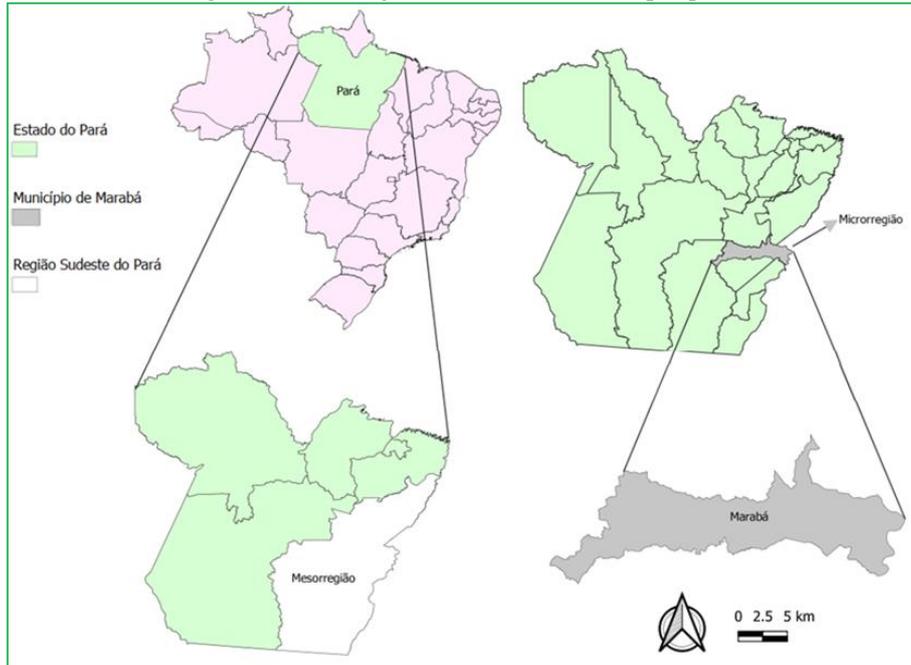
Por conseguinte, este trabalho visa avaliar a utilização do lodo gerado em uma ETA da Companhia de Saneamento do Pará - COSANPA, unidade de Marabá-Pará, como componente da camada de cobertura final de um aterro sanitário.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 ÁREA DE ESTUDO

Tanto o solo quanto o lodo foram coletados em locais pertencentes ao município de Marabá, que se situa na mesorregião Sudeste do Estado do Pará, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1. Localização da área de estudo da pesquisa.

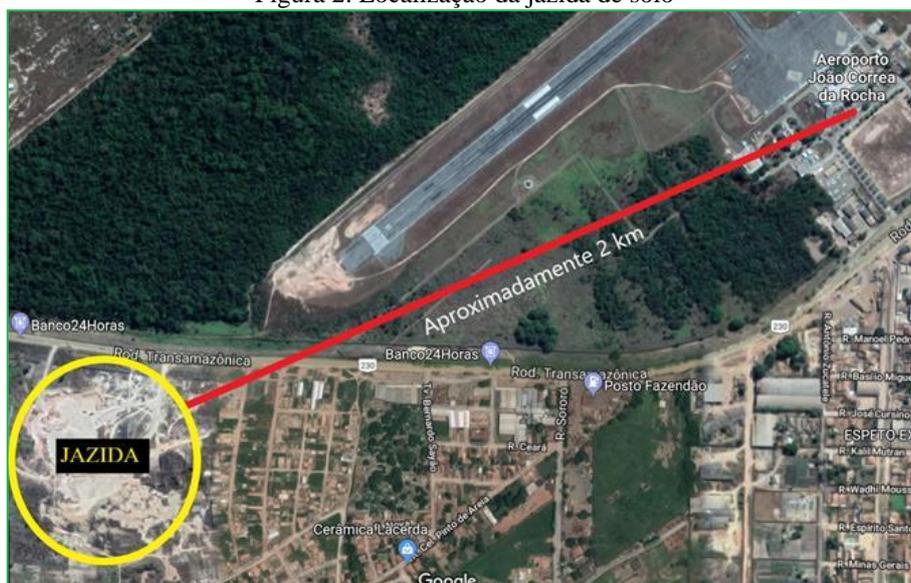


Fonte: Elaboração própria

## 2.2 SOLO E MISTURAS COM LODO DE ETA

O solo selecionado para esta pesquisa foi coletado em uma jazida situada a aproximadamente 2 km de distância, em linha reta, do Aeroporto João Correa da Rocha (Figura 2), em Marabá-PA. As coordenadas do local de coleta possuem latitude  $5,38^{\circ}$  S, longitude  $49,15^{\circ}$  W e altitude de 98m, e encontra-se às margens da Rodovia Federal Transamazônica (BR-230), km-8, sentido Marabá-Itupiranga.

Figura 2. Localização da jazida de solo



Fonte: Elaboração Própria

Nos mapas geológicos do Estado do Pará produzidos pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2001), Marabá está inserida na Folha Marabá (SB.22-X-D). E o local da jazida são depósitos sedimentares aflorantes em cortes da rodovia BR-230 de Marabá, considerados de idade cretácea superior, pertencentes à Formação Itapecuru.

A Formação Itapecuru é caracterizada pela presença de Latossolo Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo, textura fina a média, composta por silte-argila proporcionalmente superior à porção areia (CPRM, 2001), e corresponde cerca de 80% do tipo de solo presente na região de Marabá-PA. A Figura 3 mostra o talude onde foi retirado o solo.

Figura 3. Visão geral do local de coleta do solo na jazida



Fonte: Elaboração própria.

O lodo utilizado no estudo foi o gerado Cosanpa– Unidade de Marabá-PA, situada nas proximidades da Rodovia PA 150 e às margens do Rio Tocantins, núcleo Nova Marabá.

O lodo foi coletado no filtro 1 da ETA da Cosanpa (Figura 4). Para tal, foi necessária a secagem do filtro. O acesso ao fundo do filtro foi efetuado por meio de uma escada de madeira, de modo que o material fosse coletado com um balde plástico e puxado até a superfície do filtro por uma corda e armazenado no tonel plástico com capacidade de 200 litros.

Figura 4. Vista do Filtro onde foi coletado o lodo de ETA.



Fonte: Elaboração própria.

Analisando os traços adotados por outros autores (Montalvan; Boscov, 2016; Gonçalves et al., 2017; Coelho et al., 2015; Santos, 2017) optou-se por efetuar uma mistura solo e lodo de ETA nos traços de 1:1, 1:0,5 e 1:0,25, adotando-se uma nomenclatura conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Nomenclatura das misturas e composição

Nomenclatura	Composição da mistura
SN	Solo natural
SL1	Mistura entre solo e lodo na proporção 1:1
SL0,5	Mistura entre solo e lodo na proporção 1:0,5
SL0,25	Mistura entre solo e lodo na proporção 1:0,25

Fonte: Elaboração própria.

### 2.3 ENSAIOS GEOTÉCNICOS

Os ensaios geotécnicos foram realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos e Rochas da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará - Unifesspa, segundo o recomendado nas normas especificadas na Tabela 2. Na Tabela, são apresentados os ensaios e as normativas que foram seguidas para executá-los em laboratório.

Tabela 2. Normas utilizadas nos ensaios de laboratório.

Descrição	Título
NBR 6457/2016	Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação
NBR 6459/2016	Solo – Determinação do Limite de Liquidez
NBR 7180/2016	Solo – Determinação do Limite de Plasticidade
NBR 7181/2016	Solo – Análise Granulométrica
NBR 7182/2016	Solo – Ensaio de Compactação*

\*O ensaio de compactação foi com reuso de material, com secagem prévia até a umidade higroscópica.  
Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 3 apresenta os parâmetros geotécnicos necessários aos materiais para aplicação como camada de cobertura final de acordo com Omafra (2003), EPA (2004) e CETESB (1993).

Tabela 3 - Requisitos geotécnicos mínimos para uso em camada impermeabilizante de aterro sanitário.

Caracterização Geotécnica	Omafra (2003)	EPA (2004)	CETESB (1993)
LL (%)	$30 \leq LL \leq 60$	-	$\geq 30$
IP (%)	$11 \leq LL \leq 30$	$\geq 10$	$\geq 15$
Finos (%) $f \leq 0,075$ mm	$\geq 50$	$\geq 20$	$\geq 30$
Fração argila (%) $f \leq 0,002$ mm	$\geq 20$	-	-
Fração areia (%) $0,075$ mm $< f \leq 4,8$ mm	$\leq 45$	-	-
Fração pedregulho $f > 4,08$ mm (%)	$\leq 50$	$\leq 10$	-

LL- Limite de Liquidez; IP-Índice de Plasticidade. Fonte: Adaptado de Boscov (2008)

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 GRANULOMETRIA

Nota-se que houve um aumento de percentual para as frações areia média e argila e silte quando acrescentado o lodo de ETA as misturas (Tabela 4).

Tabela 4-Percentagem das Frações do solo e misturas

Frações do Solo	SN	SL0,25	SL0,5	SL1
Pedregulho	1,18	1,23	1,3	0,9
Areia grossa	9,93	11,94	11,90	8,8
Areia média	12,74	33,66	22,50	44,1
Areia fina	12,16	17	10,20	17,1
Argila e Silte	64	36,17	54,13	29,1

Fonte: Elaboração própria.

### 3.2 LIMITES DE CONSISTÊNCIA

Os resultados apontam que tanto o solo do estudo como as misturas com lodo apresentaram valores dentro e/ou próximo aos intervalos definidos para LL na Tabela 3. Já o valor de IP verifica-se que a mistura SL0,5 (Tabela 5) apresentou valor muito inferior ao proposto referida tabela.

Tabela 5 - Resultados de LL e IP das amostras

Amostra	LL (%)	LP (%)	IP (%)
SN	32	22	10
SL0,25	30	21	11
SL0,5	29	23	6
SL1	34	19	15

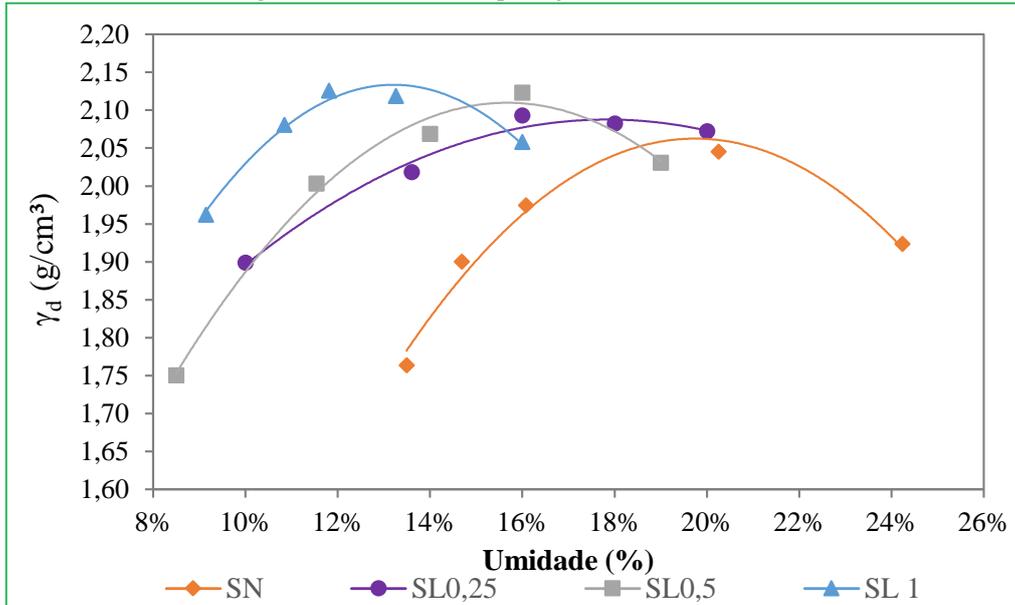
Fonte: Elaboração própria.

Gonçalves et al. (2017) observou que tanto o solo argiloso quanto o arenoso, quando caracterizados isoladamente, apresentaram valores de LL e IP dentro da faixa estabelecida na Tabela 3. Já em relação ao lodo este apresentou característica não plástica, e, conseqüentemente, não possui valores para o limite de liquidez e índice de plasticidade.

### 3.3 COMPACTAÇÃO

A Figura 5 apresenta as curvas de compactação para SN e SL1, SL0,5 e SL0,25.

Figura 5. Curvas de compactação do solo e misturas.



Fonte: Elaboração própria.

Quanto aos valores de umidade ótima e massa específica seca máxima pôde-se perceber que a mistura SL1 possui maior  $\gamma_{dm\acute{a}x}$  devido quantidade expressiva de lodo de ETA que tem em sua composição maior percentual de areia, e conseqüentemente a sua umidade ótima é inferior as demais amostras.

O acréscimo médio de  $0,3 \text{ g/cm}^3$  em relação aos valores de massa específica seca máxima de SN, SL0,25 e SL0,5 pode ser explicado pelo aumento das partículas de areia na mistura, uma vez que essas apresentam valores de massa específica superior aos materiais finos, principalmente devido ao fato de serem formadas por minerais de quartzo.

#### 4 DISCUSSÃO

Nesta seção, os resultados estão apresentados, analisados e discutidos de forma a responder objetivo desta pesquisa. Para isso, compilados os resultados dos ensaios de caracterização, construiu-se o Quadro 1 de aderência dos resultados obtidos aos parâmetros estabelecidos pela literatura.

Quadro 1 - Comparação entre os parâmetros da literatura e os resultados de caracterização geotécnica

Parâmetros de Comparação		Resultados obtidos nos ensaios							
		SN		SL0,25		SL,05		SL1	
LL (%)	Omafra (2003) $30 \leq LL \leq 60$	32%	☺	34%	☺	29%	☹	30%	☺
	CETESB (1993) $\geq 30$		☺		☺		☹		☺
IP (%)	Omafra (2003) $11 \leq IP \leq 30$	10%	☹	12%	☺	6%	☹	9%	☹
	EPA (1989) $\geq 10$		☺		☹		☹		
	CETESB (1993) $\geq 15$		☹		☹		☹		
FINOS $\phi \leq 0,075$ mm (%)	Omafra (2003) $\geq 50$	64%	☺	36,17%	☹	26,1%	☹	29,1%	☹
	EPA (1989) $\geq 20$		☺		☺		☺		
	CETESB (1993) $\geq 30$		☺		☺		☹		☹
FRAÇÃO AREIA $0,075$ mm $< \phi \leq 4,8$ mm (%)	Omafra (2003) $\leq 45$	34,82%	☺	67,6%	☹	72,6%	☹	70%	☹
FRAÇÃO PEDREGULHO $\phi > 4,08$ mm (%)	Omafra (2003) $\leq 50$	1,18%	☺	1,23%	☺	1,33%	☺	0,9%	☺
	EPA (1989) $\leq 10$		☺		☺		☺		☺

☺ - Atende ☹ - Não Atende

Fonte: Elaboração própria.

De acordo com o Quadro 1, verifica-se que o solo natural (SN) e a mistura SL0,25 possuem alto potencial de aceitabilidade como cobertura final de aterro com base nos prescritos na literatura e órgão legislativo do Brasil e dos Estados Unidos. Com exceção do IP para a amostra SN que está 1% acima do recomendado, e no caso da mistura SL0,25 só não atende percentual de fração areia, pois apresentou valor superior ao que Omafra (2003) prescreve para solo de cobertura de aterro sanitário.

Sobre o aspecto de compactação do solo natural e as três misturas solo+lodo de ETA, percebeu-se que a mistura SL1 apresentou  $\gamma_{dm\acute{a}x}$  igual a 2,12 g/cm<sup>3</sup>, enquanto que a umidade ótima determinada é igual a 13%. Isso devido principalmente devido a presença da maior quantidade das partículas de areia na mistura. Pois, ao avaliar a porcentagens das frações dos grãos que formam a amostra SL1, evidencia-se uma porcentagem de material arenoso igual a 70,26%, valor que corrobora a justificativa dada para o aumento da massa específica seca máxima.

Quanto a mistura SL0,5 verifica-se um comportamento não esperado quanto ao resultado do LL obtido, o que pode refletir um erro na execução do ensaio.

## 5 CONCLUSÃO

A partir dos ensaios realizados, conclui-se que quanto maior a adição de lodo ao solo natural, menor a aderência da amostra aos parâmetros geotécnicos estabelecidos pela literatura. Neste sentido, o uso de SL1 e SL0,5 é totalmente inviável, enquanto que SL0,25 apresentou resultados promissores. No entanto, recomenda-se que seja efetuada a análise do percentual de argila e da permeabilidade, visto que, não foi possível executá-las neste trabalho. Em termos granulométricos, o teor de areia proveniente do filtro da ETA exerceu certa influência na amostra de lodo, haja vista que, o percentual de areia aumentou à medida que se adicionava lodo às misturas.

Os ensaios de compactação demonstraram que quanto maior a adição de lodo na amostra, mais elevada será sua tendência a se comportar como material arenoso, uma vez que, a adição de lodo fez com que a umidade ótima se afastasse da faixa característica de um material argiloso para o intervalo geralmente encontrado em material arenoso.

## REFERÊNCIAS

- ABNT (1992). NBR 8419: *Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos*. Rio de Janeiro, p. 7.
- ABNT (2016a). NBR 6457: *Amostras de solo: preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*. Rio de Janeiro, p. 8.
- ABNT (2016b). NBR 7180: *Solo: determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro, p. 3.
- ABNT (2016c). NBR 7181: *Solo: Análise granulométrica*. Rio de Janeiro, p. 12.
- ABNT (2016d). NBR 7182: *Solo: Ensaio de compactação*. Rio de Janeiro, p. 9.
- ABNT (2017). NBR 6459: *Solo: determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro, p. 5.
- Benson, C. H.; Albright, W. H.; Roesler, A. C. (2002). *Evaluation of final cover performance: field data from the alternative cover assesment program (ACAP)*. Waste Management Conference, n. June 2014, p. 18.
- Boscoy, M. E. G. (2008). *Geotecnia Ambiental*. São Paulo: Oficina de Textos. p. 248.
- CETESB (1993). *Resíduos sólidos industriais*. 2. ed. São Paulo: CETESB. 233 p.
- Coelho, R. V.; Tahira, F. S.; Fernandes, F.; Fontenele, H. B.; Teixeira, R. S. (2015). *Uso de Lodo de Estação de Tratamento de Água na Pavimentação Rodoviária*. REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 10, n. 2.
- Chen, H.; Jiang, W.; Yang, Y. (2015). *Global trends of municipal solid waste research from 1997 to 2014 using bibliometric analysis*, Journal of the Air and Waste Management Association, v. 65, n. 10, p. 1161–1170.
- Costa, M. D.; Mariano, M. O. H.; Araujo, L. B.; Jucá, J. F. T. (2018). *Estudos laboratoriais para avaliação do desempenho de camadas de cobertura de aterros sanitários em relação à redução de emissões de gases e infiltrações*. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 23, n. 1.
- CPRM (2001). *Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB. Marabá – Folha SB.22-X-D, Estado do Pará, Maranhão e Tocantins. Escala 1:250.000*, Projeto de mapeamento geológico/metalogenético sistemático. Brasília: CPRM/DIEDIG/DEPAT, p. 119.
- Fu, H. Z.; Ho, Y. S.; Sui, Y. M. (2010). *A bibliometric analysis of solid waste research during the period 1993-2008*, Waste Management, v. 30, n. 12, p. 2410–2417.
- Gapak, Y.; Yamsani, S. K.; Sreedeeep, S.; Rakesh, R. R. (2017). *Long-term permeability characteristics of soil-geosynthetic combination used in landfill covers*. Advances in Civil Engineering Materials, v. 6, n. 1, p. 296-309.
- Gonçalves, F.; Souza, C. H. U.; Tahira, F. S.; Fernandes, F.; Teixeira, R. S. (2017). *Incremento de lodo de ETA em barreiras impermeabilizantes de aterro sanitário*. Revista Dae, v. 65, n. 205, p. 5-14.

Gonçalves, A. T. T.; Moraes, F. T. F.; Marques, G. L.; Lima, J. P.; Lima, R. D. S. (2018). *Urban solid waste challenges in the BRICS countries: a systematic literature review*, Revista Ambiente e Agua, v. 13, n. 2, p. 1–20, 2018.

Hauser, V. L.; Weand, B. L.; Gill, M. D. (2001). *Natural covers for landfills and buried waste*, Journal of Environmental Engineering, v. 127, n. 9, p. 768–775.

Hauser, V. L. (2009). *Evapotranspiration covers for landfills and waste sites*. Engineering and Technology for Sustainable World, v. 16, n. 3, p. 14–16.

Lombardi, L.; Carnevale, E.; Corti, A. (2015). *A review of technologies and performances of thermal treatment systems for energy recovery from waste*. Waste Management, v. 37, p. 26–44.

Ma, J.; Hipel, K. W. (2016). *Exploring social dimensions of municipal solid waste management around the globe – A systematic literature review*. Waste management, v. 56, p. 3-12.

Montalvan, E. L.; Boscov, M. E. G. (2016). *Geotechnical characterization of a soil-water treatment sludge mixture*. Geo-Chicago. ASCE, Chicago, p. 418-427.

Omafra, S.; Wall, G. (2003). *Soil Erosion, Causes and Effects*. Ridge Town and College of Agricultural Technology, Ontario Institute of Pedology, v. 8002.

Rose, J. L.; Mahler, C. F.; Izzo, R. L. D. S. (2012). *Comparison of the methane oxidation rate in four media | Comparação Entre as Taxas de Oxidação de CH<sub>4</sub> em Quatro Diferentes Meios*. Revista Brasileira de Ciencia do Solo, v. 36, n. 3, p. 803–812.

Santos, E.F. (2017). *Estudo De Misturas De Solo Com Adição De Lodo De Estação De Tratamento De Água Para Uso Em Aterro Sanitário*. Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul.

Scalia IV, J.; Benson, C. H. (2011). *Hydraulic conductivity of geosynthetic clay liners exhumed from landfill final covers with composite barriers*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, v. 137, n. 1, p. 1-13.

Souza, H. P. D.; Soares, A. B.; Elias, D. D. S. (2019). *Ensaio de infiltração em modelos experimentais de coberturas secas utilizando cinzas de carvão mineral da Termelétrica do Pecém*. Matéria (Rio de Janeiro), v. 24, n. 4.

USEPA (2004). *Technical guidance for RCRA/CERCLA final covers*. Washington, D.C.: USEPA, p. 421.

Vergara, S. E.; Tchobanoglous, G. (2012). *Municipal solid waste and the environment: a global perspective*. Annual Review of Environment and Resources, v. 37, p. 277-309.

Wang, X.; Jia, M.; Lin, X.; Xu, Y.; Ye, X.; Kao, C. M.; Chen, S. (2017). *A comparison of CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> emissions from three different cover types in a municipal solid waste landfill*. Journal of the Air and Waste Management Association, v. 67, n. 4, p. 507–515.

Yang, J.; Zhang, S.; Shi, Y.; Li, C.; Yu, W.; Guan, R.; Hu, J. (2017). *Direct reuse of two deep-dewatered sludge cakes without a solidifying agent as landfill cover: geotechnical properties and heavy metal leaching characteristics*. RSC Advances, v. 7, n. 7, p. 3823–3830.

Yesiller, N.; Hanson, J. L.; Risken, J. L.; Benson, C. H.; Abichou, T.; Darius, J. B. (2019). *Hydration fluid and field exposure effects on moisture-suction response of geosynthetic clay liners*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, v. 145, n. 4, p. 04019010.

Zhang, C.; Xu, T.; Feng, H. (2019). *Greenhouse gas emissions from landfills: A review and bibliometric analysis*. Sustainability (Switzerland), v. 11, n. 8, p. 1–15.

REALIZAÇÃO:

**SEVEN**  
publicações acadêmicas

ACESSE NOSSO CATÁLOGO!



[WWW.SEVENPUBLI.COM](http://WWW.SEVENPUBLI.COM)

CONECTANDO O **PESQUISADOR** E A **CIÊNCIA** EM UM SÓ CLIQUE.