



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ

LEONARDO HAICK MATIAS

**ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE ESTACAS DE MADEIRA PARA FUNDAÇÕES DE
PONTES RODOVIÁRIAS NO ESTADO DO AMAPÁ**

MACAPÁ/AP

2024

LEONARDDO HAICK MATIAS

**ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE ESTACAS DE MADEIRA PARA FUNDAÇÕES DE
PONTES RODOVIÁRIAS NO ESTADO DO AMAPÁ**

Monografia apresentada como requisito parcial
para obtenção de grau de Bacharel em
Engenharia Civil, pela Universidade Federal
do Amapá – UNIFAP.

Prof.º Orientador: Me. José Vitor Borges de
Assis

MACAPÁ/AP

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central/UNIFAP-Macapá-AP
Elaborado por Cristina Fernandes – CRB-2 / 1569

M433e Matias, Leonardo Haick.

Estudo da utilização de estacas de madeira para fundações de pontes rodoviárias no estado do Amapá / Leonardo Haick Matias. - Macapá, 2024.

1 recurso eletrônico. 100 folhas.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Amapá.
Coordenação do Curso de Engenharia Civil. Macapá, 2024.

Orientador: José Vitor Borges de Assis.

Coorientador: .

Modo de acesso: World Wide Web.

Formato de arquivo: Portable Document Format (PDF).

1. Fundações profundas. 2. Estacas de madeira. 3. Pontes rodoviárias. I. Assis, José Vitor Borges de, orientador. II. Universidade Federal do Amapá. III. Título.

CDD 23. ed. – 624.84

MATIAS, Leonardo Haick. Estudo da utilização de estacas de madeira para fundações de pontes rodoviárias no estado do Amapá . Orientador: José Vitor Borges de Assis. 2024. 100 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Engenharia Civil. Universidade Federal do Amapá. Macapá, 2024.

LEONARDO HAICK MATIAS

**ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE ESTACAS DE MADEIRA PARA FUNDAÇÕES DE
PONTES RODOVIÁRIAS NO ESTADO DO AMAPÁ**

Trabalho de conclusão de curso submetido a Universidade Federal do Amapá apresentado para a Coordenação de Engenharia Civil – CEC – como parte dos requisitos necessários para a obtenção de Título de Engenheiro Civil, sob orientação do **Prof. Mestre José Vitor Borges de Assis**.

Macapá, 21 de março de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. José Vitor Borges de Assis
Orientador (UNIFAP)

Prof. Me. Luís Henrique Rambo
Examinador interno (UNIFAP)

Prof. Me. Adenilson Costa de Oliveira
Examinador interno (UNIFAP)

Prof. Esp Marcelo Augusto Rambo
Examinador externo (UNIR-RO)

Dedico esta obra a minha querida mãe Celina
Telma Ferreira Haick que sempre prezou pela
minha educação.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha vida, e por me permitir ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo da realização desta monografia.

Ao meu grupo de amigos que me ajudaram na minha formação em Engenharia Civil, são eles: Caio José Rodrigues de Freitas; Júlio César Santos Amaral; Leon Matheus Oliveira Gonçalves; Raimundo Ivo de Azevedo Neto; Rodrigo Colares de Souza. Agradeço aos meus amigos que ajudaram com informações para o TCC, Bennerson de Araújo Ribeiro e Gean Carlos Sobrinho Gomes que trabalharam no DNIT.

Aos meus familiares por todo o apoio e pela ajuda, que muito contribuíram para a realização deste trabalho, minha querida mãe Celina Telma Ferreira Haick. Ainda, minha avó Suely Monteiro Ferreira. Por sim, minha namorada Sofia Luiza de Aviz Gomes.

Aos professores, pelas correções e ensinamentos que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação profissional ao longo do curso. Especialmente ao professor Me. Luís Henrique Rambo que é um ótimo professor e compartilhou diversas situações vivenciadas na sua vida profissional que contribuiu muito com minha formação acadêmica. E ao meu orientador Me. José Vitor Borges de Assis.

A todos aqueles que contribuíram, de alguma forma, para a realização deste trabalho. A todos que participaram, direta ou indiretamente em seu desenvolvimento, enriquecendo o meu processo de aprendizado na área tecnológica. Às pessoas com quem convivi a longo desses anos de curso, que me incentivaram e que certamente tiveram impacto na minha formação acadêmica.

“Um bom engenheiro civil é aquele que sabe dar respostas simples a questões extraordinárias”

(Beatriz Mello)

RESUMO

O estudo investigou a possibilidades de utilização das estacas de madeira em fundações de pontes rodoviárias no Estado do Amapá. Seus objetivos foram compreender as vantagens dessas estacas e estudar a possibilidade de construção de pontes de madeira na região. A pesquisa, de natureza básica e abordagem qualitativa, baseou-se em entrevistas com engenheiros civis e revisão integrativa da literatura. Os procedimentos envolveram entrevistas semiestruturadas, revisão criteriosa de estudos e síntese dos dados encontrados. As conclusões destacaram a importância do equilíbrio entre os benefícios e desafios das estacas de madeira, ressaltando a necessidade de avanços tecnológicos, melhores tratamentos preservativos e avaliação cuidadosa da viabilidade das pontes de madeira no Estado do Amapá. As entrevistas proporcionaram compreensão sobre as experiências profissionais e opiniões dos engenheiros, enriquecendo a compreensão dos prós e contras das estacas de madeira em fundações de pontes na região. Recomendações práticas, como o reflorestamento e o manejo sustentável de madeiras adequadas para estacas, foram apontadas como cruciais para a implementação bem-sucedida dessas práticas na região amapaense. Os principais resultados enfatizam a importância de uma abordagem criteriosa no projeto e na execução de pontes de madeira, incluindo a escolha e utilização adequadas de estacas de madeira, não pode ser subestimada. Problemas estruturais, como deslizamentos de estacas, recalques de fundação e deterioração da madeira, são ocorrências comuns que podem comprometer a estabilidade e a segurança das pontes.

Palavras-chave: Fundações profundas. Estacas de madeira. Pontes rodoviárias. Reflorestamento. Tratamento preservativo.

ABSTRACT

The study investigated the possibilities of using wooden piles in the foundations of road bridges in the State of Amapá. Its objectives were to understand the advantages of these piles and study the possibility of building wooden bridges in the region. The research, of a basic nature and qualitative approach, based on interviews with civil engineering and an integrative literature review. The procedures involved semi-structured interviews, careful review of studies and synthesis of data found. The parties highlighted the importance of balancing the benefits and challenges of wooden piles, highlighting the need for technological advances, better preservative treatments and careful evaluation of the forecast for wooden bridges in the State of Amapá. The interviews provided insight into the engineers' professional experiences and opinions, enriching the understanding of the pros and cons of wooden piles in bridge foundations in the region. Practical recommendations, such as reforestation and sustainable management of wood suitable for cuttings, were highlighted as crucial for the successful implementation of these practices in the Amapá region. The main results emphasize the importance of a judicious approach in the design and execution of wooden bridges, including the appropriate choice and use of wooden piles, cannot be underestimated. Structural problems, such as pile perforations, foundation settlements and timber interruptions, are common occurrences that can compromise the stability and safety of bridges.

Keywords: Deep foundations. Wooden stakes. Road bridges. Reforestation. Preservative treatment.

LISTA DE ILUSTRAÇÃO

Figura 1 - Mapa do Amapá	26
Figura 2 - Esquema de divisão de uma ponte.....	36
Figura 3 – Projeto ilustrado de estacas de madeiras instaladas.....	41
Figura 4 – Estacas de madeiras fabricadas de acordo com especificações do projeto de ponte de madeira	42
Figura 5 – Estacas de madeiras de pontes rodoviárias do amapá.....	45
Figura 6 – Cravação de estacas de madeiras com bate-estaca	53
Figura 7 - Classificação da pesquisa realizada.....	55
Figura 8 – Ponte de madeira danificada por sobrecarga de transportes	80
Figura 9 – Inspeção do agente do DNIT para verificação da integridade da madeira	92

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais pontos à exploração florestal no Amapá conforme decreto Nº 3325 de 17/06/2013.....	32
Quadro 2 - Processo para iniciação de projeto de pontes rodoviários com estacas de madeira	34
Quadro 3 - Diferença entre as fundações superficiais e as profundas.....	35
Quadro 4 - Especificações necessárias para escolha das estacas de madeira.....	39
Quadro 5 - Processo geral para fundações de pontes rodoviárias com estacas de madeiras....	40
Quadro 6 - As condições favoráveis para o uso de estacas de madeiras.....	43
Quadro 7 - Os principais pontos da norma NBR 6122/2019 relacionados às estacas de madeira	50
Quadro 8 – Perguntas e respostas das entrevistas de forma compilada (Parte 1)	62
Quadro 9 – Perguntas e respostas das entrevistas de forma compilada (Parte 2)	63
Quadro 10 – Perguntas e respostas das entrevistas de forma compilada (Parte 3)	63
Quadro 11 – Dados de identificação do entrevistado 1	66
Quadro 12 – Principais pontos identificados na entrevista 1 sobre a viabilidade técnica da utilização de estacas de madeira em fundações de pontes rodoviárias no Estado do Amapá..	66
Quadro 13 – Síntese dos achados para avanços científicos na área de construção civil – N1.	69
Quadro 14 – Dados de identificação do entrevistado 2.....	70
Quadro 15 – Principais pontos identificados na entrevista 2 sobre a viabilidade da utilização de estacas de madeira em fundações de pontes rodoviárias no Estado do Amapá	70
Quadro 16 – Síntese dos achados para avanços científicos na área de construção civil – N2.	74
Quadro 17 – Dados de identificação do entrevistado 3.....	78
Quadro 18 – Principais pontos identificados na entrevista 3 sobre a viabilidade da utilização de estacas de madeira em fundações de pontes rodoviárias no Estado do Amapá	78
Quadro 19 – Síntese dos achados para avanços científicos na área de construção civil – N3.	82
Quadro 20 – Dados de identificação do entrevistado 4.....	83
Quadro 21 – Principais pontos identificados na entrevista 4 sobre a viabilidade da utilização de estacas de madeira em fundações de pontes rodoviárias no Estado do Amapá	83
Quadro 22 – Síntese dos achados para avanços científicos na área de construção civil – N4.	87
Quadro 23 – Dados de identificação do entrevistado 5.....	87
Quadro 24 – Principais pontos identificados na entrevista 5 sobre a viabilidade da utilização de estacas de madeira em fundações de pontes rodoviárias no Estado do Amapá	88

Quadro 25 – Síntese dos achados para avanços científicos na área de construção civil – N5. 91

LISTA DE SIGLAS

ABS	Acrilonitrila Butadieno Estireno
ACZA	Amônia Cobre Quaternário de Zinco
AEF	Área de Efetiva Exploração Florestal
AISC	American Institute of Steel Construction
AMF	Área de Manejo Florestal
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
APAT	Autorização Prévia à Análise Técnica de Plano de Manejo Florestal Sustentável
APP	Área de Preservação Permanente
ASTM	American Society for Testing and Materials
ATA	Autorização de Transporte e Armazenamento
BR	Rodovia Federal no Brasil
BTU	Unidade Térmica Britânica
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CAR	Cadastro Ambiental Rural
CCA	Cobre Cromo Arseniato
CCB	Cobre Cromo Boro
CCB	Copper Chromium Boron
CM	Cuidados e manutenção
CONTECC	Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia
DNIT	Departamento Brasileiro de Geografia Estatística
EM	European Norm
FTIR	Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IMAP	Instituto de Meio Ambiente e Ordenamento Territorial do Amapá
IPEN	Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
ISO	International Organization for Standardization
LP	Plantio

MA	Monitoramento e avaliação
MEB	Microscopia Eletrônica de Varredura
MFI	Índice de Fluxo de Massa
NBR	Norma Brasileira
NBR	Norma Brasileira de Regulamentação
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PA	Planejamento e autorização
PA	Poliamida
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PEBD	Polietileno de Baixa Densidade
PET	Politereftalato de Etileno
PMFS	Plano de Manejo Florestal Sustentável
PP	Polipropileno
PRA	Programa de Regularização Ambiental
PT	Preparação do terreno
PVC	Policloreto de Vinila
RL	Reserva Legal
SBAM	Aeroporto de Amapá
SBOI	Aeroporto de Oiapoque
SCIELO	Scientific Electronic Library Online
SE	Seleção de espécies
SNCC	Aeroporto de Calçoene
XRD	Difração de Raios-X

LISTA DE SÍMBOLOS

°C	Graus Celsius (temperatura)
cm	centímetro (unidade de comprimento)
cm ²	centímetro quadrado (unidade de área)
cm ³	centímetro cúbico (unidade de volume)
cmH ₂ O	centímetros de água (pressão)
Db	decibel (unidade de intensidade sonora)
g	grama (unidade de massa)
g/cm ³	grama por centímetro cúbico (densidade)
GPa	Gigapascal (unidade de pressão)
kg	quilograma (unidade de massa)
kg/m ³	quilograma por metro cúbico (densidade)
kgf	Quilograma Força (unidade de força)
kgf/cm ²	quilograma força por centímetro quadrado (pressão)
kgf/m ²	quilograma força por metro quadrado (pressão)
kHz	kilohertz (frequência)
km/h	quilômetro por hora (velocidade)
L	litro (unidade de volume)
M	metro (unidade de comprimento)
m/s	metro por segundo (velocidade)
m ²	metro quadrado (unidade de área)
m ³	metro cúbico (unidade de volume)
MFI	Índice de Fluxo de Massa
MHz	megahertz (frequência)
ml	mililitro (unidade de volume)
mm	milímetro (unidade de comprimento)
mm ²	milímetro quadrado (unidade de área)
N	Newton (unidade de força)

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	16
1.1.	OBJETIVO GERAL	17
1.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
1.3.	JUSTIFICATIVA.....	18
1.4.	PROBLEMA DE PESQUISA	20
2.	REVISÃO DA LITERATURA INTEGRATIVA	25
2.1.	O ESTADO DO AMAPÁ	25
2.2.	PONTES DE MADEIRA.....	28
2.2.1.	Projeto, madeira e reflorestamento.....	31
2.3.	FUNDAÇÃO DE PONTES RODOVIÁRIAS – CONCEITOS	35
2.3.1.	Divisão das pontes	36
2.3.2.	Subestrutura (Infraestrutura).....	36
2.3.3.	Mesoestrutura	37
2.3.4.	Superestrutura.....	37
2.3.5.	Aterro de acesso	37
2.3.6.	Viaduto de acesso	38
2.3.7.	Pilares	38
2.3.8.	Encontros	38
2.3.9.	Ponte	39
2.4.	ESTACAS DE MADEIRA PARA FUNDAÇÕES PROFUNDAS	39
2.4.1.	Estacas de madeira no Brasil	45
2.4.2.	Vantagens e desvantagens	46
2.4.3.	Deterioração de estacas de madeira.....	47
2.4.4.	Tratamento preventivo.....	48
2.4.5.	Norma e especificações nacionais para estacas de madeira	50
2.4.6.	Cravação de estacas de madeira	51
2.4.7.	Perspectivas da tecnologia para construção de pontes rodoviárias com fundações de madeira	53
3.	METODOLOGIA	55
3.1.	PROCEDIMENTOS TÉCNICOS.....	55
3.1.1.	Fichamento e seleção de citações	55
3.1.2.	Entrevista semiestruturadas	56
3.1.3.	Processamento dos dados de forma qualitativa	56
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	59

4.1.	MOTIVOS PARA UTILIZAÇÃO DAS ESTACAS DE MADEIRAS PARA FUNDAÇÕES.....	59
4.2.	ANÁLISE QUALITATIVA DAS ENTREVISTAS	62
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	94
	REFERÊNCIAS	96
	ANEXO	100
	ANEXO A – ESBOÇO DA ENTREVISTA SEMIESTRUTURADA.....	100

1. INTRODUÇÃO

As pontes de madeira, principalmente as de pequenos vãos, são largamente empregadas nas estradas vicinais brasileiras e tem extrema importância no âmbito socioeconômico do país, seja para o deslocamento de pessoas como para a logística de transporte de mercadorias. Com uma enorme reserva florestal e capacidade de reflorestamento, as pontes de madeira de pequenos e médios vãos são bastante competitivas no ponto de vista econômico em relação a outros materiais com base em custos iniciais e a longo prazo, principalmente devido ao seu baixo custo energético de produção. Segundo Calil Júnior et al. (2006), apesar de estar sujeito ao apodrecimento e ataques de insetos, a madeira é um material duradouro quando utilizada com tratamento preservativo químico adequado, protegendo e evitando sua deterioração por um período de 50 anos ou mais, tendo pouca manutenção durante sua vida útil.

Na construção civil, as estacas de madeira são utilizadas desde os primórdios, porém atualmente seu uso está bastante reduzido. No Brasil há poucas fontes de estudos relacionados a estacas de madeira. O Amapá é um estado da região Norte do Brasil, conhecido por sua rica biodiversidade e pelas comunidades ribeirinhas que habitam as margens dos rios da região. A construção civil é uma importante atividade econômica do estado, e a utilização de estacas de madeira é uma prática comum na construção de edificações, principalmente em áreas alagáveis e em regiões com solos instáveis. A utilização de estacas de madeira para construção civil é uma técnica milenar, que tem sido utilizada em todo o mundo desde tempos imemoriais. No Brasil, a utilização de estacas de madeira é comum em diversas regiões do país, principalmente na região Amazônica, onde a madeira é abundante.

As estacas de madeira são utilizadas para dar suporte às estruturas de edificações, evitando que elas afundem ou sejam danificadas pelo excesso de umidade do solo. A madeira utilizada para as estacas pode ser de diversas espécies, como a Angelim, a Maçaranduba, a Garapa, entre outras. No entanto, é importante destacar que a utilização de estacas de madeira para construção civil deve ser feita de forma sustentável, evitando a exploração ilegal de madeira e o desmatamento das florestas nativas. Além disso, é necessário utilizar técnicas de preservação da madeira, como a aplicação de produtos químicos, para aumentar a

sua durabilidade e evitar a sua deterioração. Assim a pesquisa está inserida nesse contexto regional, uma vez que, a utilização de estacas de madeira para construção civil é uma prática comum e relevante no contexto amapaense, principalmente em áreas alagáveis e em regiões com solos instáveis. No entanto, é fundamental que essa prática seja feita de forma sustentável, garantindo a preservação das florestas nativas e a durabilidade das estruturas construídas.

Sabe-se que a geotécnica e as fundações profundas são áreas fundamentais para a construção de pontes rodoviárias no Amapá e em qualquer outra região do país. No caso específico da utilização de estacas de madeira como fundações para pontes, a geotécnica se torna ainda mais relevante, uma vez que é necessário entender as características do solo e do ambiente onde a ponte será construída, para garantir a segurança e a durabilidade da estrutura.

A utilização de estacas de madeira como fundações para pontes rodoviárias no Amapá tem uma grande relevância para a pesquisa científica, uma vez que permite estudar a eficácia e a durabilidade desse tipo de fundação em um ambiente específico, que apresenta particularidades que podem influenciar no desempenho da estrutura. Além disso, a pesquisa científica pode contribuir para o desenvolvimento de técnicas de preservação da madeira, que garantam a sua durabilidade e a sua resistência à umidade e aos agentes biológicos presentes no solo.

A pesquisa científica também pode contribuir para o desenvolvimento de novas tecnologias e técnicas de construção, que permitam a utilização de estacas de madeira de forma mais sustentável e eficiente, com menor impacto ambiental e maior segurança para os usuários das pontes.

Portanto, a utilização de estacas de madeira como fundações para pontes rodoviárias no Amapá é um tema relevante para a pesquisa científica, que contribui para o desenvolvimento de novas tecnologias e técnicas de construção, além de fornecer informações importantes para a garantia da segurança e da durabilidade das estruturas construídas.

1.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral definido é compreender as razões e vantagens da utilização de estacas de madeira para fundações de pontes rodoviárias no Estado do Amapá.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos são eles: (1) Selecionar um acervo histórico relacionado a fundações com estacas de madeiras para pontes rodoviárias; (2) Identificar a importância da utilização da estaca de madeira no Estado do Amapá; (3) Explicar a necessidade da construção de pontes de madeira no Estado do Amapá.

1.3. JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento deste trabalho se justifica principalmente ao considerar a melhoria nos processos de construção de pontes rodoviárias, considerando materiais adequados, cumprimento de boas práticas de construção e manutenção. Ainda, a pesquisa não pode negligenciar a projeção para construir estruturas seguras, eficientes e economicamente viáveis para os projetos de engenharia civil.

Reforçando a justificativa desta pesquisa, se destaca alguns pontos necessários para sua delimitação, com isso, a construção de pontes rodoviárias no estado do Amapá é um processo complexo que envolve diversas etapas, desde a elaboração do projeto até a execução da obra. As etapas para tal processo envolvem estudos preliminares, nessa etapa, são realizados estudos de viabilidade para avaliar a necessidade e a viabilidade de construir uma ponte rodoviária em determinado local. São avaliados fatores como o fluxo de tráfego, as condições do solo, a topografia local, entre outros. Sequencialmente, é elaborado o projeto da ponte rodoviária, que deve levar em consideração as normas e regulamentos aplicáveis, as condições locais e as cargas a serem suportadas pela estrutura. Mas, antes de iniciar a construção da ponte rodoviária, é necessário obter as licenças ambientais necessárias, que envolvem a avaliação dos impactos ambientais da obra e a elaboração de um plano de mitigação desses impactos. Nesse fluxo a construção da ponte rodoviária envolve diversas etapas, como a preparação do terreno, a construção das fundações, a montagem da estrutura, a instalação dos sistemas de drenagem e iluminação, entre outras. Após a conclusão da obra, são realizados testes e inspeções para verificar a segurança e a estabilidade da ponte rodoviária. Esses testes podem envolver a análise da resistência da estrutura, a simulação de cargas, entre outros. Portanto, a pesquisa apresenta justificativa para melhoria no processo de construção rodoviária no contexto do Estado do Amapá por

meio de um estudo qualitativo relacionado a fundações com estacas de madeiras, o estudo qualitativo é relevante para explorar sobre a segurança da estrutura e a sua durabilidade ao longo do tempo, por meio da escolha adequada dos materiais e do cumprimento das boas práticas de construção e manutenção.

Dando enfoque a linha de pesquisa da geotécnica, as fundações profundas são áreas fundamentais para a engenharia civil envolvendo a construção de pontes rodoviárias. Quando se trata da utilização de estacas de madeira como fundações para essas pontes, a geotécnica se torna ainda mais relevante, uma vez que é necessário entender as características do solo e do ambiente onde a ponte será construída para garantir a segurança e a durabilidade da estrutura. Com isso, a utilização de estacas de madeira como fundações para pontes rodoviárias pode trazer diversos benefícios envolvendo a utilização de madeira como material de construção, podendo ser uma opção mais sustentável em relação a outros materiais, como o concreto ou o aço, uma vez que a madeira é um material renovável e pode ser obtida de forma sustentável, com certificação. A utilização de estacas de madeira como fundações pode ter um impacto ambiental menor do que outras técnicas de fundação, uma vez que não há a necessidade de escavações profundas e a utilização de grandes equipamentos para a instalação. A utilização de estacas de madeira pode ser mais econômica do que outras técnicas de fundação, como a utilização de estacas de concreto ou de aço. Ainda, com o uso de técnicas de preservação adequadas, a madeira pode ter uma durabilidade semelhante ou até mesmo superior a outros materiais de fundação, como o concreto ou o aço. Outro fator importante é que as estacas de madeira podem ser utilizadas em solos que apresentam baixa resistência, permitindo a construção de pontes rodoviárias em áreas onde seria difícil ou inviável utilizar outras técnicas de fundação. Assim, a utilização de estacas de madeira como fundações para pontes rodoviárias envolve a geotécnica e as fundações profundas, e pode trazer diversos benefícios em relação a outras técnicas de fundação, como a sustentabilidade, o baixo impacto ambiental, a economia de recursos, a durabilidade e a resistência.

Portanto, embora as estacas de madeira possam ser uma opção viável em algumas situações, é importante considerar os possíveis problemas relacionados à durabilidade e resistência das estacas ao longo do tempo. A manutenção regular e a inspeção cuidadosa das estacas são necessárias para garantir a segurança e a estabilidade da ponte ao longo de sua vida útil. Assim, o desenvolvimento da

pesquisa é relevante para compreensão da usabilidade das estacas de madeira em pontes rodoviárias no contexto Amapaense.

1.4. PROBLEMA DE PESQUISA

O problema de pesquisa emerge do contexto regional envolvendo o objeto de estudo de estaca de madeiras ligado diretamente as linhas de pesquisa da Geotécnica e fundações profundas. Portanto, 'Qual a necessidade de utilizar fundações de estacas de madeira nas pontes rodoviárias do Estado do Amapá?', assim, somente por meio de um estudo científico na região amapaense, envolvendo profissionais da Engenharia Civil e arcabouço científico envolvendo a temática deste trabalho é possível obter uma resposta adequada.

No escopo teórico da pesquisa estão autores relevantes sobre a temática, adiante está disponível quais são e uma síntese das ideias dos seus estudos, que tiveram substancial contribuição nesta pesquisa.

Nunes (2019), em seu artigo científico 'Estudo das pontes' apresenta uma compilação bibliográfica que tem por objetivo conduzir estudantes de Engenharia Civil a uma abordagem inicial de um projeto de pontes em concreto além de apresentar um pouco da história que impulsionou os avanços tecnológicos até a chegada a vãos de 1.991m atualmente.

Miná e Dias (2008), na obra conjunta desses autores 'Estacas de madeira para fundações de pontes de madeira' é apresentado um estudo teórico e experimental de estacas de madeira, incluindo a instrumentação das fundações em estacas de madeira de uma ponte de madeira, com o objetivo de gerar recomendações para o projeto desse tipo de fundação para pontes de madeira de pequeno vão.

Miná (2005), é uma base extremamente relevante, pois em sua tese de doutorado 'Estudo de estacas de madeira para fundação de pontes de madeira' contribui com um estudo teórico e experimental de estaca de madeira, incluindo a instrumentação das fundações em estacas de madeira de uma ponte de madeira, com o objetivo de gerar recomendações para o projeto deste tipo de fundações para pontes de madeira de pequeno vão.

Carvalho (2018), demonstra em sua monografia 'Tipos de estacas especiais' as fundações correspondentes a elementos de infraestrutura que possuem a

finalidade de receber as cargas provenientes da mesoestrutura, e desse modo, transmiti-las ao terreno, sendo necessários esses elementos possuir resistência necessária para que suporte com segurança as tensões oriundas dos esforços das estruturas que se respaldam a ela.

Silva (2019a), contribui com um estudo desenvolvido no Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia (CONTECC) intitulado 'Uso de estacas de madeira como elemento estrutural de fundações em obras de engenharia civil no Brasil', o autor explana sobre o uso de madeira como elemento estrutural de fundações em obras de engenharia civil para verificar a segurança, viabilidade econômica e sustentável.

Calil Júnior et al. (2006) contribuem com um manual de projeto e construção de pontes de madeira, apresentando recomendações para o projeto, dimensionamento e disposições construtivas de pontes tecnológicas de madeira com diversos sistemas estruturais e construtivos em vigas e em placas.

Ressaltando a metodologia da pesquisa, ela foi classificada da seguinte forma: referente a sua natureza, ela é do tipo básica, a principal referência nesse tipo de pesquisa é a obra 'Manual de metodologia da pesquisa científica' de (NEVES; DOMINGUES, 2007) que explicam sobre a pesquisa básica ou pura, que tem por objetivo a produção de novos conhecimentos, úteis para o avanço da ciência, sem uma aplicação prática prevista inicialmente, envolvendo verdades e interesses universais.

A classificação da abordagem do problema 'Qual a necessidade de utilizar fundações de estacas de madeira nas pontes rodoviárias do Estado do Amapá?', este problema foi investigado na abordagem qualitativa, nesse sentido envolveu uma análise mais profunda e detalhada das razões por trás da utilização de estacas de madeira em pontes rodoviárias na região amapaense. Para isso, foram realizadas entrevista semiestruturada com engenheiros civis e outras pessoas envolvidas na construção e manutenção de pontes rodoviárias no Estado do Amapá. Sendo levantados questionamentos iniciais como: (1) Quais são as principais vantagens e desvantagens da utilização de estacas de madeira em pontes rodoviárias em comparação com outros materiais, como concreto e aço? (2) Como as condições climáticas e geológicas da região afetam a escolha do tipo de fundação? (3) Quais são as principais dificuldades encontradas na construção e manutenção de pontes de madeira na região?, portanto, a análise das respostas obtidas nessas entrevistas

permitiu uma compreensão mais aprofundada das necessidades e razões para a utilização de estacas de madeira em pontes rodoviárias no Estado do Amapá, fornecendo subsídios para futuros estudos e projetos de engenharia de estruturas na região.

Os objetivos da pesquisa foram trabalhados com enfoque explicativo de material, técnicas, tecnologias e necessidade de utilizar pontes com fundações de estacas de madeira no Estado do Amapá, sendo utilizada a revisão integrativa da literatura na área de engenharia de estruturas.

Os procedimentos técnicos da pesquisa de campo com entrevista semiestruturada envolvendo a temática do estudo da utilização de estacas de madeira para fundações de pontes rodoviárias, foram divididos em etapas, sendo elas: (1) Definir o objetivo e as perguntas da pesquisa: o objetivo geral da pesquisa é compreender as razões e vantagens da utilização de estacas de madeira para fundações de pontes rodoviárias no Estado do Amapá. As perguntas nas entrevistas foram planejadas previamente para atender a este objetivo. (2) selecionar os entrevistados: os entrevistados foram engenheiros civis, profissionais ou acadêmicos envolvidos na construção e manutenção de pontes rodoviárias no Estado do Amapá. Eles deveriam ter experiência e conhecimento sobre a utilização de estacas de madeira em fundações de pontes. (3) Preparar o roteiro de entrevista: o roteiro de entrevista apresentou perguntas abertas e fechadas relacionadas ao objetivo da pesquisa. As perguntas abertas permitem aos entrevistados expressar livremente suas opiniões, enquanto as perguntas fechadas permitem coletar dados específicos e quantificáveis. (4) Realizar a entrevista: a entrevista foi realizada em um local tranquilo e privado, preferencialmente na sede da empresa ou instituição onde o entrevistado trabalha. O pesquisador deve se apresentar, explicar o objetivo da pesquisa, obter a autorização do entrevistado para gravar a entrevista e iniciar as perguntas do roteiro. (5) Analisar os dados: após a entrevista, foram transcritos e analisados os dados coletados. Foi necessário realizar uma análise cuidadosa dos dados, identificando os temas e ideias mais relevantes. (6) Relatar os resultados: por fim, os resultados foram relatados em um documento com as principais ideias e opiniões expressas pelos entrevistados. Os resultados foram organizados por temas, permitindo uma compreensão mais aprofundada das razões e vantagens da utilização de estacas de madeira para fundações de pontes rodoviárias no Estado do Amapá.

Paralelamente, foi realizada a revisão da literatura integrativa, um procedimento técnico que consiste em buscar, selecionar e sintetizar informações de diversas fontes de dados, com o objetivo de responder a uma pergunta de pesquisa específica.

Sendo os procedimentos técnicos para realizar uma revisão da literatura integrativa os seguintes, (1) Formulação da pergunta de pesquisa: a primeira etapa foi uma pergunta de pesquisa clara e objetiva, que guiou todo o processo de revisão. Essa foi pergunta: Qual a necessidade de utilizar fundações de estacas de madeira nas pontes rodoviárias do Estado do Amapá?; (2) Busca de fontes de dados, as fontes consistiam em: (a) Artigos científicos em periódicos especializados em engenharia civil, construção de pontes e/ou materiais de construção, que abordem o uso de estacas de madeira em fundações de pontes rodoviárias, incluindo o Google Scholar, CAPES e Scilelo; (b) Relatórios técnicos de empresas de engenharia ou órgãos governamentais responsáveis pela construção de pontes rodoviárias no Estado do Amapá, que descrevam as especificações e materiais utilizados nas fundações das pontes; (c) Teses e dissertações de universidades e instituições de pesquisa que investiguem a utilização de estacas de madeira em fundações de pontes rodoviárias, bem como suas vantagens e desvantagens em relação a outros materiais; (d) Normas técnicas e legislação relacionadas à construção de pontes rodoviárias no Estado do Amapá, que estabeleçam as especificações e requisitos mínimos para a utilização de materiais em fundações de pontes; (e) Publicações e materiais de divulgação técnica de associações de engenharia civil ou outras organizações relacionadas à construção de pontes rodoviárias, que possam fornecer informações e orientações práticas sobre o uso de estacas de madeira em fundações de pontes.

Ainda, (3) Seleção dos estudos, foi feita a seleção com critérios pré-definidos para selecionar os estudos que foram incluídos na revisão, com base em sua relevância para a pergunta de pesquisa. Se realizou uma triagem inicial dos títulos e resumos dos estudos, para posteriormente fazer uma leitura completa dos artigos selecionados.

Os critérios de inclusão e exclusão de estudos para a revisão da literatura sobre a necessidade de utilizar fundações de estacas de madeira nas pontes rodoviárias do Estado do Amapá são os seguintes:

(a) Critérios de inclusão, (1) Estudos publicados em periódicos científicos revisados por pares, teses, dissertações, relatórios técnicos e materiais de conferências que abordem a utilização de estacas de madeira em fundações de pontes rodoviárias. (2) Estudos que descrevam a construção de pontes rodoviárias no Estado do Amapá, com informações sobre as especificações e materiais utilizados nas fundações. (3) Estudos que comparem o uso de estacas de madeira com outros materiais em fundações de pontes rodoviárias. (4) Estudos que avaliem as vantagens e desvantagens da utilização de estacas de madeira em fundações de pontes rodoviárias em termos de desempenho, custo, durabilidade, impacto ambiental e outros aspectos relevantes.

(b) Critérios de exclusão, (1) Estudos que não sejam relacionados à construção de pontes rodoviárias ou às fundações das mesmas. (2) Estudos que não abordem especificamente o uso de estacas de madeira em fundações de pontes rodoviárias. (3) Estudos que sejam considerados de baixa qualidade, como por exemplo, estudos com amostra muito pequena ou que não utilizem métodos científicos adequados. (4) Estudos que não tenham sido publicados em fontes científicas confiáveis.

Na sequência do processo foi feita a (4) Extração de dados dos estudos selecionados, incluiu informações relevantes para responder à pergunta de pesquisa, como objetivos do estudo, metodologia, resultados e conclusões. (5) Síntese dos resultados, foi realizada uma análise crítica dos resultados dos estudos incluídos e apresentando-se uma síntese das principais evidências encontradas, ressaltando as semelhanças e divergências entre os estudos. A última etapa consistiu na (6) Interpretação dos resultados: foram interpretados os resultados da revisão em relação à pergunta de pesquisa, destacando as principais conclusões e as implicações para a prática.

Ao final, estão as considerações finais sobre a pesquisa e suas contribuições para ampliar o conhecimento sobre a utilização de estacas de madeira para fundações de pontes rodoviárias no Estado do Amapá, apontando tanto as possibilidades quanto as limitações dessa alternativa. As informações obtidas podem ser úteis para orientar a tomada de decisão de gestores públicos e profissionais da área de engenharia civil, contribuindo para o desenvolvimento de soluções mais sustentáveis e eficientes.

2. REVISÃO DA LITERATURA INTEGRATIVA

A revisão de literatura abordar as informações gerais sobre o estado do Amapá, como sua localização geográfica, clima, características do solo e das condições ambientais que podem influenciar a escolha de estacas de madeira para fundações de pontes rodoviárias. O histórico da utilização de estacas de madeira em pontes rodoviárias no estado do Amapá, analisando os contextos em que essa técnica de fundação tem sido aplicada, considerando os tipos de pontes, as cargas envolvidas, os materiais disponíveis e os resultados obtidos. As características e propriedades da madeira utilizada nas estacas, considerando fatores como a espécie de madeira, a resistência mecânica, a durabilidade e a resistência à umidade, como tais propriedades influenciam o desempenho das estacas como elementos de fundação em pontes rodoviárias. Essa revisão de literatura fornece um panorama sobre o assunto, destacando os principais pontos de discussão e contribuindo para o conhecimento existente na área.

2.1. O ESTADO DO AMAPÁ

Porto, Lima e Brito (2005) e a Instituto Brasileiro de Estatística e Geografia fornecera informações valiosas a respeito da geografia amapaense.

O Estado do Amapá está localizado no extremo norte do Brasil, na Região Norte do país. Sua posição geográfica é única e estratégica, fazendo fronteira com o Oceano Atlântico e com dois países da Guiana: a Guiana Francesa, a leste, e o Suriname, a oeste.

A capital do Estado é Macapá, que está situada às margens do rio Amazonas, cerca de 15 km ao sul da linha do Equador, o que confere à cidade uma característica única, a Linha do Equador passa exatamente pelo meio da cidade, e há um monumento chamado "Marco Zero" que marca esse ponto especial.

O território do Amapá é caracterizado por uma grande quantidade de rios e florestas tropicais da Amazônia. O Rio Amazonas é o principal curso d'água que corta o Estado, proporcionando não apenas importantes vias fluviais para o transporte, mas também recursos naturais significativos.

Além disso, o Amapá possui diversas áreas de conservação e parques nacionais, como a Reserva Biológica do Lago Piratuba, o Parque Nacional

Montanhas do Tumucumaque (o maior parque tropical do mundo), a Estação Ecológica do Jari e a Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Rio Iratapuru. Essas áreas protegidas são essenciais para preservar a rica biodiversidade da região, que inclui várias espécies de plantas e animais ameaçados de extinção.

Em relação à sua extensão territorial, o Amapá abrange uma área de aproximadamente 142.828,521 km², sendo o segundo menor estado do Brasil em termos de área, ficando atrás apenas do Estado de Sergipe, (Estado do Amapá, 2023).

Devido à sua localização geográfica e a grande quantidade de recursos naturais, o Amapá desempenha um papel estratégico para o país, contribuindo para a economia brasileira através da exploração de minérios, madeira, pesca, turismo e produção de energia hidrelétrica.

Figura 1 - Mapa do Amapá



Fonte: IBGE

Em relação à localização geográfica, o Amapá possui uma posição privilegiada, situado próximo à linha do Equador. Isso resulta em uma influência direta da Zona de Convergência Intertropical, favorecendo um clima equatorial úmido. O clima predominante no Amapá é o equatorial, caracterizado por altas temperaturas e elevada umidade ao longo do ano. A região apresenta uma estação chuvosa prolongada, que ocorre de janeiro a julho, com pico de precipitação nos meses de março e abril. A estação seca, por sua vez, ocorre entre agosto e dezembro.

As características do solo no Amapá são diversificadas devido à ampla variedade de formações geológicas presentes no estado. A região abrange desde solos arenosos e argilosos até solos lateríticos e solos de várzea. Além disso, é comum encontrar solos orgânicos em áreas de manguezais e regiões próximas a rios. As condições ambientais no Amapá também podem influenciar a escolha de estacas de madeira para fundações de pontes rodoviárias.

A presença de áreas de floresta amazônica e de manguezais indica uma grande disponibilidade de recursos florestais, incluindo diversas espécies de madeira. No entanto, a umidade e a alta taxa de decomposição podem afetar a durabilidade das estacas de madeira, exigindo tratamentos adequados para protegê-las de insetos, fungos e deterioração.

A topografia do Amapá é caracterizada por uma combinação de planícies costeiras, áreas de manguezais, planaltos e serras. Essa variedade de relevo pode influenciar a escolha do tipo de fundação e a profundidade de cravação das estacas de madeira, levando em consideração as condições de estabilidade do solo e as cargas aplicadas nas pontes rodoviárias. A infraestrutura de transportes do Amapá dispõe de 4 rodovias estaduais e 2 rodovias federais, sendo estas: BR-156, que se estende do município de Oiapoque, no extremo norte do estado, ao município de Laranjal do Jari, no sul; BR-210, que vai de Roraima a Porto Grande e Macapá.

O estado dispõe ainda 4 aeroportos regionais (Aeroporto de Amapá (SBAM) – Amapá; Aeroporto de Calçoene (SNCC) – Calçoene; Aeroporto de Oiapoque (SBOI) – Oiapoque; Aeroporto de Porto Grande (SNPG) - Porto Grande) 1 aeroporto internacional (Aeroporto Internacional de Macapá – Alberto Alcolumbre (SBMQ) e do Porto de Macapá, atualmente Porto de Santana. A rede rodoviária do Amapá apresenta uma série de problemas estruturais que trazem prejuízos à sua população e refletem diretamente na economia do estado. Longos trechos sem pavimentação,

problemas de escoamento da água e pontes de madeira com a estrutura comprometida são os maiores desafios enfrentados.

O Amapá apresenta um clima equatorial úmido, uma diversidade de formações de solo e condições ambientais influenciadas pela floresta amazônica e pelos manguezais. Fatores de impacto à escolha e desempenho das estacas de madeira em fundações de pontes rodoviárias, exigindo considerações específicas no projeto e na execução das obras.

2.2. PONTES DE MADEIRA

É importante considerar alguns estudos a respeito das características e aspectos intrínsecos das pontes de madeiras, sejam eles econômicos, sustentáveis ou estruturais. Considerando alguns autores experts da área para entendimento cabal desse assunto e assim poder fazer uma relação e extensão de suas possibilidades para construção de pontes rodoviárias com fundações de madeira no estado do Amapá.

Pfeil e Pfeil (2003), disserta que as pontes de madeira têm sido um dos materiais de construção mais antigos utilizados devido à sua disponibilidade natural e facilidade de manuseio. Sua resistência, baixo peso e capacidade de absorver impactos tornam-na uma opção desejável para construções dessa natureza, podendo ser implementadas em qualquer local e condição climática, sem prejudicar a qualidade do material. Além disso, sua aparência natural proporciona um aspecto agradável às estruturas.

Ritter (1992), argumenta que embora a madeira seja suscetível à deterioração e ao ataque biológico, ela pode se tornar durável quando protegida da variação da umidade. Embora algumas pontes cobertas do século XIX ainda estejam em uso devido à proteção contra intempéries, atualmente, a cobertura não é uma solução economicamente viável. Entretanto, a aplicação de preservativos pode aumentar a vida útil da madeira exposta por longos períodos, superiores a 50 anos.

Hellmeister (1978), explica que no contexto brasileiro, a madeira tem sido uma solução prática para a construção de pontes em diversas regiões. Essas pontes costumavam ser construídas por carpinteiros, sem cálculos estruturais complexos, utilizando vigas de madeira maciça e apoios de pedra. Algumas estruturas mais

evoluídas existiam em São Paulo, permitindo a passagem de automóveis e bondes elétricos.

Diversos autores destacam a importância das pontes de madeira no Brasil, Prata (1995), Partel (1999), Okimoto (2001), Calil Júnior et al. (2002), Calil Júnior et al. (2006) são os principais, dada a vasta rede hidrográfica e a carente infraestrutura viária do país. A possibilidade de crescimento das rodovias nas áreas mais ocupadas e a implantação de avanços tecnológicos na construção e recuperação das pontes são consideradas necessárias para garantir estruturas mais seguras, duráveis e economicamente viáveis.

Mina (2005), explana que com o crescente interesse em materiais de construção resistentes, duráveis e ecológicos, bem como o desenvolvimento de novas técnicas de ligação e materiais derivados da madeira, as pontes de madeira têm despertado um interesse renovado. No entanto, o sucesso futuro dessas pontes dependerá da formação adequada de profissionais sobre as características e desempenho do material, da contínua pesquisa e da transferência de tecnologia no setor. Tais fatores são fundamentais para garantir a qualidade e a viabilidade das estruturas de pontes de madeira no cenário atual.

Considerando o contexto amapaense, a utilização de estacas de madeira para a construção de pontes rodoviárias no estado do Amapá apresenta possibilidades e viabilidades interessantes. A região possui vastas áreas florestais, o que torna a madeira um recurso natural renovável e amplamente disponível. Ao optar por utilizar estacas de madeira, há a redução da dependência de materiais importados, o que contribui para a economia local e a sustentabilidade ambiental.

As estacas de madeira, quando dimensionadas corretamente e submetidas a tratamentos preservativos adequados, oferecem resistência mecânica e durabilidade satisfatórias. Além disso, comparadas a outros materiais de fundação, como concreto ou aço, são mais leves e fáceis de manusear durante a instalação, o que resulta em eficiência e redução de custos em termos de transporte, equipamentos e mão de obra.

A utilização de estacas de madeira também apresenta vantagens em termos de isolamento térmico e acústico, proporcionando maior conforto para os usuários das pontes rodoviárias. Ademais, o processo de construção com estacas de madeira pode gerar menos impactos ambientais, contribuindo para a redução de emissões

de gases de efeito estufa e consumo de energia em comparação a outros materiais de construção.

Davalos e Petro (1994), enfatizam que a madeira tem uma relevância histórica e cultural no contexto das pontes de madeira, representando uma tradição que remonta a séculos passados. A utilização de estacas de madeira em fundações de pontes rodoviárias pode, portanto, valorizar aspectos culturais e sociais, enaltecendo a identidade local.

Embora o uso de estacas de madeira seja uma opção viável, é importante salientar que exige um projeto e uma execução adequados. A escolha da espécie de madeira apropriada e os tratamentos preservativos são etapas cruciais para garantir a durabilidade e a segurança da estrutura. A realização de pesquisas adicionais e estudos de caso é fundamental para compreender melhor o comportamento das fundações de estacas de madeira em diferentes condições geotécnicas, auxiliando no desenvolvimento de diretrizes técnicas específicas.

A partir das contribuições dos autores mencionados, é claro que a utilização de estacas de madeira para a construção de pontes rodoviárias no contexto amapaense apresenta benefícios significativos. A madeira, devido à sua resistência, baixo peso e capacidade de absorver impactos, tem sido um material de construção antigo e desejável para pontes, sendo implementada em diversas condições climáticas sem prejudicar sua qualidade. Além disso, a abundância de áreas florestais no estado do Amapá permite a utilização de um recurso natural renovável e local, reduzindo a dependência de materiais importados e contribuindo para a economia e a sustentabilidade ambiental.

As estacas de madeira, quando dimensionadas corretamente e submetidas a tratamentos preservativos, oferecem resistência mecânica e durabilidade satisfatórias, tornando-se uma opção eficiente e econômica para as fundações das pontes rodoviárias. Essa escolha também resulta em menor impacto ambiental durante a construção, beneficiando o meio ambiente e os usuários das estruturas.

Ademais, a utilização de estacas de madeira enaltece aspectos culturais e sociais, valorizando a tradição histórica associada às pontes de madeira. Assim, a incorporação de estacas de madeira nas fundações das pontes rodoviárias no Amapá representa uma alternativa viável e sustentável, garantindo estruturas seguras e duradouras enquanto preserva a identidade local. Contudo, é necessário

investir em pesquisas e desenvolver diretrizes técnicas para garantir a segurança, a durabilidade e o desempenho adequado dessas estruturas de pontes de madeira.

2.2.1. Projeto, madeira e reflorestamento

O reflorestamento é de extrema relevância para projetos de pontes rodoviárias com estacas de madeira, conforme apontado pelos autores Pfeil e Pfeil (2003), Calil Júnior et al. (2002), Ballarin e Lara Palma (2003) e Hellmeister (2003).

Atualmente, o uso da madeira como material de construção sustentável e competitivo economicamente depende das técnicas de reflorestamento e do desenvolvimento de produtos de madeira com redução de perdas.

A utilização de madeira de reflorestamento, como pinus e eucaliptos, representa uma solução natural com bom desempenho, baixo custo e baixo impacto ambiental, o que a torna uma alternativa viável às espécies tropicais.

O programa de incentivos fiscais implementado pelo governo brasileiro aumentou significativamente a área plantada dessas espécies, resultando em grande disponibilidade de peças estruturais com tratamento preservativo. Contudo, é importante considerar que árvores cortadas precocemente possuem grande parte de sua seção transversal constituída de madeira juvenil, que pode apresentar propriedades mecânicas inferiores à madeira formada na fase adulta da árvore.

O processo de reflorestamento no estado do Amapá, assim como em outras regiões, geralmente segue um fluxo de (PA) Planejamento e autorização; (SE) Seleção de espécies; (PT) Preparação do terreno; Plantio (PL); Cuidados e manutenção (CM); Monitoramento e avaliação (MA);

O processo começa a partir do (PA) com um planejamento detalhado do reflorestamento, identificando as áreas adequadas para a plantação de espécies florestais. Essa atividade é regulada por leis e normas ambientais, e os órgãos governamentais responsáveis são encarregados de fornecer as autorizações necessárias para o reflorestamento.

Na (SE) Com base nas características do solo, clima e objetivos de reflorestamento, são selecionadas as espécies de árvores que serão plantadas. Em alguns casos, as espécies nativas da região podem ser preferidas para promover a conservação da biodiversidade local.

Antes do plantio, é feita a preparação do terreno (PT) para garantir que as mudas possam crescer adequadamente. Isso pode envolver limpeza, nivelamento e tratamento do solo.

No (PL) as mudas de árvores são então plantadas nas áreas identificadas, seguindo as técnicas adequadas de plantio.

Após o plantio, são necessários (CM) com cuidados contínuos, como irrigação, controle de pragas e doenças e manutenção geral das áreas reflorestadas para garantir o crescimento saudável das árvores.

No (MA), as áreas reflorestadas são periodicamente monitoradas e avaliadas para verificar o progresso do reflorestamento e fazer ajustes, se necessário.

Quanto à retirada de madeira, o processo é regulamentado pelas leis ambientais do estado do Amapá e do Brasil.

Geralmente, a extração de madeira é realizada mediante autorização de órgãos ambientais responsáveis, como o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e o Instituto de Meio Ambiente e Ordenamento Territorial do Amapá (IMAP).

A retirada de madeira de áreas reflorestadas pode ser permitida quando parte do manejo florestal sustentável, visando a utilização racional e responsável dos recursos naturais. O Estado do Amapá estabelece procedimentos para o licenciamento, monitoramento e fiscalização da exploração florestal nativa.

Quadro 1 - Principais pontos à exploração florestal no Amapá conforme decreto Nº 3325 de 17/06/2013

Definição de Termos: O decreto define termos como Área de Efetiva Exploração Florestal (AEF), Área de Manejo Florestal (AMF), Área de Preservação Permanente (APP), Reserva Legal (RL), entre outros, para estabelecer os conceitos necessários para o licenciamento.
Licenciamento Ambiental: O manejo sustentável das florestas nativas, seja em áreas públicas ou privadas, requer aprovação prévia de um Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS) pelo órgão estadual competente.
Autorização Prévia: Antes da análise técnica do PMFS em florestas privadas, é necessário obter uma Autorização Prévia à Análise Técnica de Plano de Manejo Florestal Sustentável (APAT).
Regularização Ambiental: O licenciamento das atividades de manejo florestal sustentável está condicionado à regularização ambiental da propriedade, incluindo inscrição no

Cadastro Ambiental Rural (CAR) e o Programa de Regularização Ambiental (PRA).

Manejo Sustentável:

O manejo florestal sustentável deve seguir diretrizes técnicas e científicas, garantindo a manutenção da diversidade de espécies, promovendo a regeneração natural da floresta e adotando práticas de exploração seletiva.

Transporte e Armazenamento:

A exploração e transporte de produtos florestais devem ser acompanhados de autorizações específicas, como a Autorização de Transporte e Armazenamento (ATA) para produtos diversos, excluindo madeira.

Relatório Anual:

O detentor do PMFS deve encaminhar um relatório anual ao órgão estadual competente, detalhando as atividades realizadas, o volume de madeira explorado por espécie, entre outras informações.

Vistorias Técnicas:

Os PMFS estão sujeitos a vistorias técnicas para verificar as operações e atividades desenvolvidas na Área de Manejo Florestal (AMF).

Regulação da Produção Florestal:

O manejo florestal deve buscar o equilíbrio entre a intensidade de exploração e o tempo necessário para o restabelecimento do recurso extraído da floresta, garantindo a produção contínua.

Práticas Sustentáveis:

O manejo florestal sustentável deve respeitar a cobertura vegetal nativa, assegurar a conservação da biodiversidade e adotar técnicas que não coloquem em risco a sobrevivência das espécies coletadas.

Fonte: BRASIL. Lei Federal nº 12.651 (2013).

Considerando a Lei 12.651 de maio de 2013 e o Quadro 1, para iniciar um projeto de pontes rodoviárias com fundações de estacas de madeira é necessário seguir os procedimentos legais e ambientais estabelecidos pelo Governo do Estado do Amapá.

O Quadro 2 apresenta o processo resumido que serve de auxílio para iniciação de um projeto de uma ponte rodoviária com fundações de estacas de madeira em caráter de exploração florestal nativa.

Quadro 2 - Processo para iniciação de projeto de pontes rodoviárias com estacas de madeira

- (1) Verificar a legislação ambiental vigente:** certificar-se de estar ciente das leis e regulamentos estaduais e federais relacionados à exploração florestal, especialmente a Lei Federal nº 12.651/2013, que trata da proteção da vegetação nativa e das áreas de preservação permanente.
- (2) Obtenção de autorizações e licenças:** antes de iniciar qualquer atividade de manejo florestal para obtenção de madeira para as estacas das pontes, é necessário solicitar uma Autorização Prévia à Análise Técnica do Plano de Manejo Florestal Sustentável (APAT) junto ao órgão estadual competente. O Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS) deve ser elaborado conforme as diretrizes técnicas e científicas estabelecidas.
- (3) Realização do Cadastro Ambiental Rural (CAR):** se a área de exploração florestal estiver em propriedade rural, é obrigatório realizar o Cadastro Ambiental Rural (CAR) para registro das informações ambientais, incluindo a delimitação das Áreas de Preservação Permanente (APP) e da Reserva Legal (RL).
- (4) Planejamento do manejo florestal sustentável:** o manejo florestal deve ser cuidadosamente planejado, estabelecendo ciclos de corte, intensidade de exploração e volume máximo de exploração por hectare. É importante seguir os padrões estabelecidos para o Diâmetro Mínimo de Corte (DMC) de 50 centímetros, caso não haja definição específica para alguma espécie.
- (5) Exploração com propósito comercial:** se a exploração da madeira tiver propósito comercial, será necessária uma autorização específica do órgão estadual competente, além de seguir as diretrizes de condução, exploração e regeneração estabelecidas para favorecer a conservação da vegetação nativa.
- (6) Acompanhamento e relatórios:** todas as atividades de manejo florestal sustentável devem ser acompanhadas por relatórios anuais, que incluam informações sobre os volumes explorados, áreas abertas e outras atividades realizadas. Além disso, a área de manejo florestal poderá estar sujeita a vistorias técnicas para verificar as operações realizadas.
- (7) Respeito às áreas protegidas:** certificando-se de que as atividades de exploração florestal não ocorram em áreas de preservação permanente, áreas inacessíveis, áreas de infraestrutura ou outras áreas protegidas.
- (8) Uso de tecnologias sustentáveis:** utilizar métodos de exploração e extração de madeira que minimizem os impactos ambientais, garantindo a sustentabilidade da atividade a longo prazo.

Fonte: Elaborado com base na Lei Federal nº 12.651 (2013).

A construção de pontes rodoviárias é uma atividade complexa, e além das questões ambientais, é necessário observar as normas técnicas e de engenharia específicas para garantir a segurança e a qualidade da obra. O auxílio de profissionais qualificados, como engenheiros florestais e civis, é fundamental para o sucesso do empreendimento. É fundamental buscar um equilíbrio entre o reflorestamento para atender às demandas de materiais de construção e o tempo adequado de crescimento das árvores para garantir a qualidade e resistência necessárias para as estacas de madeira utilizadas nas pontes.

2.3. FUNDAÇÃO DE PONTES RODOVIÁRIAS – CONCEITOS

Com o objetivo de compreender as fundações de pontes de madeira, nesse trabalho que visa ampliar a utilização de estacas de madeiras se faz conveniente suscitar conceitos iniciais para fixação, ainda para melhor delineamento de possíveis construções com esse tipo específico de infraestrutura para pontes rodoviárias no contexto amapaense.

Alexandre (2023), auxilia na compreensão de que a fundação (infraestrutura) de uma ponte é a parte da estrutura responsável por transmitir as cargas e os esforços da superestrutura (parte que suporta o tráfego rodoviário) para o solo de maneira segura e estável. É um dos componentes mais importantes da ponte, pois garante a estabilidade e a segurança da estrutura, distribuindo adequadamente as cargas e evitando o colapso ou a deformação excessiva da ponte. A escolha do tipo de fundação depende de diversos fatores, como as características do solo e do ambiente local, a carga que a ponte deverá suportar, as dimensões da estrutura e os recursos disponíveis para a construção. Dentre os tipos de fundação mais comuns para pontes existem:

Quadro 3 - Diferença entre as fundações superficiais e as profundas

Fundações Superficiais São utilizadas quando a camada de solo resistente está localizada próximo à superfície do terreno. Alguns exemplos de fundações superficiais são: (1) Sapatas: São elementos de concreto armado com base quadrada, retangular ou trapezoidal que distribuem a carga dos pilares em uma área maior do solo. (2) Blocos de Fundação: São estruturas de concreto com base quadrada ou retangular que transmitem as cargas dos pilares para o solo. (3) Radier: São elementos de concreto armado que se assemelham a uma laje ou placa e que abrange toda a área da edificação, recebendo as cargas dos pilares. Fundações Profunda São utilizadas quando a camada resistente do solo está localizada a uma profundidade maior. Alguns exemplos de fundações profundas são: (1) Tubulões: São estruturas cilíndricas de concreto ou aço, cravadas no solo ou escavadas em forma de poço e preenchidas com concreto. (2) Estacas Pré-Moldadas: São estacas com dimensões pré-fabricadas cravadas no solo até atingir a camada resistente. (3) Estacas Hélice Contínua: São estacas moldadas in loco, com formato helicoidal, introduzidas no solo girando-as para executar a perfuração e depois preenchidas com concreto. (4) Estacas Strauss: São estacas metálicas cravadas no solo com um sistema de percussão, podendo ser reforçadas com concreto injetado.

Fonte: Escola Engenharia (2017).

A escolha adequada do tipo de fundação é essencial para garantir a estabilidade, durabilidade e segurança da ponte ao longo de sua vida útil. Projetos de engenharia cuidadosos e a utilização de materiais de qualidade são fundamentais para o sucesso da construção e operação de pontes com fundações confiáveis.

2.3.1. Divisão das pontes

Segundo Pfeil (1979) e Marchetti (2008), as pontes podem ser divididas em três partes principais, segundo a sua função: infraestrutura, mesoestrutura e superestrutura.



Fonte: Alexandre e Fonte: Consórcio SMSS supervisora do DNIT - Adaptada (2023).

Sabe-se que a interligação dessas partes é crucial para formar uma ponte segura e funcional, que permite a transposição de obstáculos e facilita a mobilidade de pessoas e veículos sobre os cursos d'água ou outros terrenos acidentados.

2.3.2. Subestrutura (Infraestrutura)

A subestrutura, também conhecida como infraestrutura, é a parte da ponte responsável por transmitir os esforços da superestrutura para o solo. Ela é composta por elementos de fundação, como blocos, sapatas, estacas, tubulões ou outras soluções que garantam a estabilidade e sustentação da ponte. A infraestrutura

recebe as cargas provenientes da superestrutura, pilares e encontros e distribui essas forças ao solo de maneira adequada.

2.3.3. Mesoestrutura

A mesoestrutura é a parte intermediária da ponte responsável por receber os esforços da superestrutura e transmiti-los para a infraestrutura. Ela é constituída principalmente por pilares e/ou encontros. Os pilares são apoios intermediários, enquanto os encontros são pilares especiais localizados nas extremidades da ponte, na transição entre a ponte e o aterro da via de acesso.

2.3.4. Superestrutura

A superestrutura é a parte superior da ponte que tem a função de suportar o tráfego e a carga útil da ponte, incluindo o tabuleiro e os principais elementos de suporte. Ela é composta geralmente de laje e/ou vigas que formam o tabuleiro da ponte, além de outros componentes incidentais como guarda-rodas e sistemas de proteção.

Pfeil (1990), divide as pontes em três partes sob o ponto de vista funcional, infraestrutura (ou subestrutura), mesoestrutura e superestrutura. Essa divisão funcional permite entender o papel de cada componente na estrutura da ponte e sua função específica, conforme ilustrado na Figura 2, anterior.

El Debs e Takeya (2001), também apresentam uma divisão das pontes, dividindo-as em três partes, superestrutura, aparelhos de apoio e infraestrutura (ou subestrutura). Nesse caso, aparelhos de apoio são elementos colocados entre a superestrutura e a infraestrutura para transmitir as reações e permitir movimentos da superestrutura.

2.3.5. Aterro de acesso

O aterro de acesso é uma parte da infraestrutura de uma ponte, que consiste em um trecho elevado de terra ou material de aterro utilizado para conectar a ponte ao terreno circundante em um nível adequado. Ele é construído para elevar a via de

acesso até a altura do tabuleiro da ponte, permitindo que os veículos acessem a ponte de maneira suave e gradual.

2.3.6. Viaduto de acesso

O viaduto de acesso é uma estrutura elevada que faz parte da infraestrutura de uma ponte. Ele é utilizado para conectar a ponte a vias elevadas, como rodovias ou outras pontes, permitindo a continuidade do tráfego em diferentes níveis. Em geral, um viaduto de acesso é construído quando a ponte precisa transpor obstáculos geográficos, como vales profundos ou rios largos.

2.3.7. Pilares

Os pilares são elementos verticais, geralmente em formato de colunas, que estão localizados ao longo do comprimento da ponte, proporcionando apoio intermediário ao tabuleiro (parte da superestrutura) em pontos estratégicos. Eles sustentam a carga das vigas e/ou lajes que formam o tabuleiro, bem como a carga dos veículos e pedestres que passam sobre a ponte. A principal função dos pilares é transmitir os esforços da superestrutura para a infraestrutura, distribuindo as cargas aplicadas à ponte de forma eficiente e uniforme para os elementos de fundação. Os pilares ajudam a evitar a deformação excessiva do tabuleiro e garantem a estabilidade da ponte, possibilitando que ela suporte o peso do tráfego.

2.3.8. Encontros

Os encontros são pilares especiais localizados nas extremidades da ponte, onde ela faz a transição entre o tabuleiro e o aterro de acesso. Eles estão posicionados na interface entre a estrutura da ponte e o terreno em que a ponte se apoia. Os encontros têm uma função suplementar, além de atuarem como pilares de apoio. Eles são responsáveis por arrimar o solo do aterro de acesso, ajudando a sustentar a ponte e distribuindo as cargas provenientes do tabuleiro para o solo de forma adequada. Além disso, os encontros são projetados para acomodar possíveis movimentações da estrutura da ponte devido a variações térmicas, deformações ou outros fatores.

2.3.9. Ponte

A ponte é a estrutura completa que permite a transposição de obstáculos, como rios, vales ou outros acidentes geográficos. Ela engloba todas as partes mencionadas anteriormente: a infraestrutura (composta por aterros de acesso, viadutos de acesso, pilares, encontros e elementos de fundação), a superestrutura (tabuleiro, vigas e lajes) e a mesoestrutura (pilares e encontros).

2.4. ESTACAS DE MADEIRA PARA FUNDAÇÕES PROFUNDAS

A escolha adequada leva em consideração fatores como o tipo de solo, as cargas que a ponte irá suportar, a profundidade necessária para atingir camadas resistentes do solo, o comprimento das estacas e suas características mecânicas. As estacas de madeira são elementos utilizados como fundações profundas, quando o solo superficial não oferece resistência suficiente para suportar as cargas da ponte. A seguir, são apresentadas algumas considerações importantes sobre as estacas de madeira no Quadro 4.

Quadro 4 - Especificações necessárias para escolha das estacas de madeira

1. Tipo de madeira: A escolha do tipo de madeira é crucial para a durabilidade e resistência das estacas. Madeiras resistentes a fungos, insetos e decomposição são preferíveis, como o ipê, a maçaranduba e a peroba. 2. Diâmetro e comprimento: O diâmetro e o comprimento das estacas são determinados com base nas cargas que a ponte irá suportar e nas características do solo. Estacas mais longas são utilizadas quando é necessário atingir camadas mais resistentes do solo. 3. Tratamento preservativo: Para aumentar a durabilidade da madeira, é comum aplicar tratamentos preservativos que protegem a estaca contra a ação de fungos e insetos. O tratamento também ajuda a prevenir a decomposição da madeira em contato com o solo. 4. Espaçamento entre estacas: O espaçamento entre as estacas é determinado com base na distribuição das cargas da ponte e nas características do solo. Um espaçamento adequado garante uma distribuição uniforme das cargas. 5. Posicionamento e fixação: As estacas de madeira são cravadas no solo por meio de equipamentos específicos, como martelos vibratórios ou equipamentos de cravação. O posicionamento correto das estacas e sua fixação no solo são essenciais para garantir a estabilidade da fundação. 6. Verificação de capacidade de carga: Antes de iniciar a construção da ponte, é importante realizar estudos geotécnicos para verificar a capacidade de carga do solo e garantir que as estacas escolhidas sejam capazes de suportar as cargas da ponte.

Fonte: União Fundações (2023).

A interligação entre a subestrutura, mesoestrutura e superestrutura é fundamental para formar uma ponte segura e funcional. As estacas de madeira,

como parte da subestrutura, são responsáveis por transmitir os esforços da superestrutura para o solo de forma adequada. Elas fornecem o suporte necessário para que a mesoestrutura (pilares e/ou encontros) receba as cargas da superestrutura e as transmita à infraestrutura, distribuindo-as ao solo. Assim, a escolha adequada das estacas de madeira e sua correta cravação no solo garantem a estabilidade e resistência da fundação da ponte, permitindo que ela cumpra sua função de transpor obstáculos e facilitar o tráfego de veículos e pessoas com segurança.

Adiante, o Quadro 5 apresenta o processo geral para realização de fundações com estaca de madeiras.

Quadro 5 - Processo geral para fundações de pontes rodoviárias com estacas de madeiras

As estacas de madeira são usadas em fundações de pontes rodoviárias em certos casos, principalmente quando as condições do solo e as cargas esperadas são adequadas para esse tipo de fundação. O processo geral para fundações de pontes rodoviárias com estacas de madeira envolve várias etapas, que são as seguintes:

Estudo de viabilidade: Antes de iniciar o processo de fundação, é necessário realizar um estudo de viabilidade para determinar se o uso de estacas de madeira é apropriado para a ponte em questão. Isso envolve uma análise das características do solo, das cargas esperadas e de outros fatores relevantes.

Projeto: Com base no estudo de viabilidade, um projeto de fundação é elaborado. Isso inclui a determinação do número, tamanho e espaçamento das estacas de madeira, bem como os detalhes de sua instalação, (Figura 3)

Preparação do local: O local onde as estacas de madeira serão instaladas deve ser preparado adequadamente. Isso pode envolver a remoção de solo ou rochas, a criação de uma base nivelada e outras medidas para garantir a estabilidade do terreno.

Fabricação das estacas: As estacas de madeira são fabricadas de acordo com as especificações do projeto. Elas são geralmente cortadas e tratadas para resistir a condições adversas, como a umidade do solo.

Instalação das estacas: As estacas de madeira são então instaladas no solo. Isso geralmente é feito por meio de equipamentos de cravação, como martelos vibratórios ou martelos hidráulicos. As estacas são cravadas no solo até atingirem a profundidade especificada no projeto.

Verificação e ajuste: Após a instalação das estacas, é realizada uma verificação para garantir que elas tenham atingido a profundidade correta e estejam niveladas. Se necessário, ajustes podem ser feitos.

Conexão com a superestrutura: Após a instalação das estacas, elas são conectadas à superestrutura da ponte. Isso pode envolver o uso de sapatas de aço ou outros elementos de conexão.

É importante ressaltar que o uso de estacas de madeira em fundações de pontes rodoviárias pode não ser adequado em todas as situações. É fundamental contar com profissionais especializados em engenharia de pontes e fundações para realizar o projeto e a execução correta desse tipo de fundação.

Fonte: Silva (2019^a). (Adaptado)

Figura 3 – Projeto ilustrado de estacas de madeiras instaladas



Fonte: Engenharia 360 (2023). (Adaptado)

A escolha do tipo de fundação é uma etapa crucial no projeto de qualquer construção civil, especialmente quando se trata de estruturas que requerem fundações profundas para garantir estabilidade e segurança. Nesse contexto, a utilização de estacas de madeira como fundações profundas tem se destacado como uma alternativa eficaz e sustentável, promovendo a viabilidade técnica e econômica de projetos de engenharia civil.

Após a instalação das estacas de madeira para a fundação da ponte, os engenheiros civis realizam uma verificação minuciosa para garantir que cada estaca tenha atingido a profundidade correta e esteja nivelada conforme as especificações do projeto (Figura 3). Para isso, são utilizados instrumentos de medição, como níveis a laser e equipamentos de topografia, para verificar a posição vertical e a profundidade das estacas em relação ao leito do rio ou solo.

Durante essa verificação, os engenheiros podem identificar eventuais desvios ou irregularidades nas estacas, como estacas que não atingiram a profundidade desejada ou que estão inclinadas em ângulos inadequados. Caso seja identificada alguma discrepância, são feitos ajustes necessários para corrigir as estacas e garantir sua estabilidade e integridade estrutural.

Os ajustes podem envolver o uso de equipamentos de escavação para aprofundar as estacas que não atingiram a profundidade correta, ou o preenchimento de material de apoio ao redor das estacas para garantir sua

estabilidade. Além disso, os engenheiros podem realizar ajustes na posição das estacas para corrigir quaisquer desalinhamentos e garantir uma distribuição uniforme da carga sobre elas.

Figura 4 – Estacas de madeiras fabricadas de acordo com especificações do projeto de ponte de madeira



Fonte: Engenharia 360 (2023). (Adaptado)

De acordo com União Fundações (2023), as estacas de madeira são amplamente utilizadas como elementos de fundação, especialmente em solos de baixa capacidade de suporte ou em áreas com restrições ambientais. Sua aplicação é vantajosa em diferentes situações, pois a madeira é um material renovável, de fácil obtenção e com menor impacto ambiental em relação a outros materiais de construção.

Após a instalação das estacas de madeira para a fundação da ponte, é necessário conectar essas estacas à superestrutura da ponte, que pode ser composta por vigas, traves, e o tabuleiro da ponte em si. Essa conexão é fundamental para garantir a estabilidade e a integridade estrutural da ponte como um todo.

Os engenheiros civis utilizam diversos métodos e elementos de conexão para realizar essa etapa com eficiência e segurança. Um dos métodos comuns é o uso de sapatas de aço, que são fixadas na parte superior das estacas de madeira e servem como suporte para a superestrutura da ponte.

Para realizar a conexão com as sapatas de aço, os engenheiros utilizam técnicas de soldagem ou fixação mecânica, garantindo uma ligação robusta e durável entre as estacas de madeira e a superestrutura da ponte. Além das sapatas

de aço, podem ser utilizados outros elementos de conexão, como placas de ligação e parafusos de alta resistência, dependendo das especificidades do projeto.

Durante essa etapa, os engenheiros civis também realizam verificações de alinhamento e nivelamento para garantir que a superestrutura da ponte esteja corretamente posicionada em relação às estacas de fundação. Essas verificações são essenciais para garantir a estabilidade e a segurança da ponte após a conclusão da construção.

O Quadro 6 descreve as condições favoráveis para utilização de estacadas de maneiras em projeto para fundações de pontes rodoviárias.

Quadro 6 - As condições favoráveis para o uso de estacas de madeiras

As condições ideais para a utilização de estacas de madeira em fundações de pontes rodoviárias no estado do Amapá podem variar dependendo de vários fatores. No entanto, algumas condições favoráveis para considerar o uso de estacas de madeira incluem:

Solo estável: O solo deve apresentar características de estabilidade adequadas para suportar as cargas da ponte e as estacas de madeira. Solos coesivos, como argilas e siltes, são geralmente mais favoráveis para a cravação e sustentação das estacas.

Nível de umidade moderado: Embora seja possível utilizar estacas de madeira em solos úmidos, é importante considerar a capacidade da madeira de resistir à umidade prolongada e a possíveis danos causados por fungos e insetos. Portanto, solos com um nível moderado de umidade são preferíveis para minimizar os riscos de deterioração das estacas.

Disponibilidade de madeira adequada: O estado do Amapá possui vastas áreas de floresta amazônica e manguezais, o que pode fornecer uma ampla variedade de espécies de madeira como Andiroba (*Carapa guianensis*) e Angelim-pedra (*Hymenolobium*). É importante selecionar espécies de madeira resistentes, duráveis e adequadas para as condições ambientais específicas, como a umidade e a ação de organismos decompositores.

Cargas moderadas: As estacas de madeira são mais adequadas para cargas moderadas. De acordo com a literatura, as cargas moderadas para pontes de madeira podem variar amplamente, mas geralmente estão na faixa de algumas toneladas por metro quadrado (t/m^2) de área da ponte. Por exemplo, estudos como os de Araújo (2022) e Carvalho et al. (2020) sugerem que as cargas de tráfego para pontes de madeira podem variar de 2 a 5 t/m^2 para veículos leves e de 5 a 10 t/m^2 para veículos pesados, dependendo do padrão de tráfego e da capacidade de carga desejada. Portanto, é importante considerar a magnitude das cargas que a ponte irá suportar e verificar se as estacas de madeira são capazes de proporcionar a capacidade de carga necessária.

Tratamento e proteção adequados: Para garantir a durabilidade e a resistência das estacas de madeira, é necessário aplicar tratamentos preservativos adequados. Esses tratamentos ajudam a proteger a madeira contra a ação de fungos, insetos e a deterioração causada pela umidade.

É fundamental destacar que a utilização de estacas de madeira em fundações de pontes rodoviárias requer uma análise detalhada das condições específicas do local e do projeto da ponte. É essencial contar com a orientação de engenheiros especializados em geotecnia e estruturas para avaliar as condições do solo, as cargas esperadas e determinar a viabilidade e a adequação das estacas de madeira para a fundação da ponte no estado do Amapá.

Fonte: Silva (2019^a). (Adaptado)

Fundações profundas são caracterizadas por transmitirem a carga da superestrutura para a fundação através da resistência de ponta (base), resistência

de fuste (lateral) ou ambas. Essa categoria de fundações é composta por três tipos principais: estacas, tubulões e caixões.

Carvalho (2018), explica que as estacas, que fazem parte do grupo de fundações profundas, podem ser cravadas ou perfuradas e se distinguem por possuírem grandes comprimentos e seções transversais pequenas. Elas podem ser construídas com materiais como madeira, aço ou concreto, sendo classificadas em três categorias: estacas pré-moldadas, estacas moldadas in loco e estacas mistas, (UNIÃO FUNDAÇÕES, 2023).

As estacas de madeira são elementos fundamentais em fundações, especialmente quando se trata de construções abaixo do nível d'água. Para garantir sua eficácia e durabilidade, é necessário considerar certas especificações no processo de escolha e utilização dessas estacas, como: selecionar estacas de madeira com um diâmetro mínimo de 25 cm. Esse requisito é determinado para garantir a resistência e estabilidade necessárias para suportar as cargas da estrutura construída sobre elas. Além disso, é crucial proteger as estacas de madeira durante a cravação, evitando danos que possam comprometer sua integridade estrutural, (UNIÃO FUNDAÇÕES, 2023).

Outro aspecto relevante é a ponta da estaca de madeira. Para enfrentar camadas mais resistentes do solo durante a cravação, a ponta da estaca deve apresentar um diâmetro maior que 15 cm. Quando necessário, a utilização de uma ponteira de aço proporcionará a resistência adicional para penetrar essas camadas com eficiência. O método comumente empregado na cravação das estacas de madeira é o uso de martelo de queda livre. Esse processo é escolhido devido à sua praticidade e eficácia, permitindo a condução adequada das estacas no solo, (UNIÃO FUNDAÇÕES, 2023).

Portanto, ao optar por estacas de madeira como fundações profundas, é necessário considerar a durabilidade e a resistência do material. Nesse sentido, a aplicação de tratamentos preservativos pode ser realizada para proteger a madeira contra a ação de fungos, insetos e decomposição, aumentando a sua vida útil e garantindo a estabilidade da fundação ao longo do tempo.

Figura 5 – Estacas de madeiras de pontes rodoviárias do amapá



Fonte: Consórcio SMSS supervisora do DNIT (2023).

2.4.1. Estacas de madeira no Brasil

Diversos autores ao longo do tempo abordaram o uso de estacas de madeira em fundações no Brasil, observando suas vantagens e limitações.

Costa (1956), já apontava que, à época, o uso de estacas de madeira no país estava restrito a construções temporárias, principalmente devido à escassez de madeiras com as características e dimensões adequadas. Além disso, ressaltava que não havia um cuidado adequado com o crescimento e tratamento das madeiras destinadas à construção.

Aguirre e Wanderley (1975), discordam da restrição do uso de estacas de madeira apenas em construções temporárias. Eles argumentam que, especialmente em regiões com abundância de madeira, como o norte do Brasil, não há razão para limitar seu uso, principalmente em fundações de pontes sobre rios cujo nível de água permanece acima dos blocos de coroamento. Além disso, eles identificam as principais madeiras utilizadas no Brasil para estacas de fundação e apresentam expressões para determinar o diâmetro adequado com base no comprimento da estaca e na resistência do solo.

Alonso (1996), também destaca que o uso de estacas de madeira no Brasil é bastante reduzido, atribuindo essa situação à dificuldade de obter madeira de qualidade e ao aumento das cargas nas estruturas. Ele menciona que, em obras provisórias, as estacas de eucalipto são as mais comuns, enquanto em obras permanentes, são empregadas as "madeiras-de-lei", como aroeira, maçaranduba e ipê. Um exemplo citado é o caso em São Paulo, onde estacas de madeira apodreceram devido a alterações no lençol freático após a retificação e aprofundamento da calha do rio Pinheiros.

Velloso e Lopes (2002), corroboram a visão de que, atualmente, as estacas de madeira são utilizadas quase exclusivamente em obras temporárias no Brasil. No entanto, mencionam que no passado essas estacas foram empregadas em obras permanentes, como o Teatro Municipal do Rio de Janeiro. Eles acreditam que, com investimentos adequados e grandes empreendimentos no norte do país, o uso de estacas de madeira pode ser retomado em obras permanentes, seguindo exemplos de sua utilização na Europa e nos Estados Unidos.

Esses estudos evidenciam que o uso de estacas de madeira no Brasil tem sido mais frequente em obras temporárias, mas também apontam a possibilidade de seu retorno em projetos permanentes, desde que haja investimentos e um cuidado adequado com a seleção e tratamento das madeiras utilizadas.

2.4.2. Vantagens e desvantagens

As estacas de madeira têm sido amplamente estudadas e discutidas por diversos autores ao longo do tempo, devido às suas vantagens e desvantagens como elemento de fundação. Uma das principais vantagens mencionadas por vários autores é a durabilidade quase ilimitada das estacas quando trabalham completamente abaixo do lençol freático.

Tschebotarioff (1978) relata um caso histórico em que estacas de madeira, com mil anos de serviço, estavam em excelente estado de conservação e foram mantidas para a reconstrução do campanário da Igreja de São Marcos em Veneza. Graham (1997) também destaca um caso mais recente, em que estacas de madeira, sem tratamento, após 80 anos de serviço, permaneceram em condições como novas.

Outras vantagens apontadas pelos autores incluem a facilidade de obtenção e baixo custo das estacas de madeira (COSTA, 1956); a conicidade natural que favorece a resistência lateral (DUKE, 1975); facilidade de transporte, leveza, flexibilidade e boa resistência a choques (SIMONS; MENZIES, 1981; TOMLINSON, 1998).

O conselho de postes, estacas e madeira, do Instituto Americano dos Preservadores de Madeira (AWPA, 2000), destaca vantagens como durabilidade secular quando devidamente protegidas, conicidade natural que facilita o desenvolvimento de atrito lateral, facilidade e rapidez na instalação, resistência ao ataque de solos ácidos, facilidade de manuseio, matéria-prima natural e renovável.

Contudo, também são apontadas algumas desvantagens em relação ao uso de estacas de madeira. A principal desvantagem mencionada por vários autores é sua deterioração quando expostas a variações de umidade. Especialmente em obras marítimas, as estacas são susceptíveis ao ataque de animais marinhos. Vesic (1975) destaca outras desvantagens, como a limitação de tamanho e capacidade de carga estrutural, a ocorrência frequente de danos durante a cravação e a dificuldade de aumentar o comprimento das estacas.

Esses estudos demonstram a relevância das estacas de madeira como alternativa de fundação em diversas situações, especialmente quando utilizadas de forma adequada e em ambientes com menor exposição a umidade e ação de animais marinhos.

As vantagens como durabilidade, baixo custo, fácil transporte e resistência tornam as estacas de madeira uma opção viável em diversas aplicações de engenharia civil, enquanto as desvantagens destacadas alertam para a necessidade de cuidados específicos e planejamento adequado em seu uso.

2.4.3. Deterioração de estacas de madeira

As informações e observações apresentadas por Chelis (1961), Tomlinson (1998), e Vargas (1955) são valiosas contribuições para o estudo desse tema e fornecem insights importantes para a prática da engenharia civil no uso de estacas de madeira. As estacas de madeira estão sujeitas a processos de deterioração que podem comprometer sua eficácia e vida útil.

A decomposição das estacas de madeira é causada principalmente por fungos, que encontram condições ideais de desenvolvimento quando a madeira está em contato com ar e temperatura favorável. No entanto, a deterioração pode ser prevenida com medidas como a manutenção da madeira seca ou submersa em água. A temperatura entre 18 e 35 °C é considerada ideal para o crescimento de fungos, enquanto temperaturas mais altas são necessárias para exterminá-los. Quando as estacas são mantidas permanentemente abaixo ou acima do nível d'água, podem ter uma vida útil prolongada, mas na zona de flutuação, são suscetíveis à degradação.

A ação de animais marinhos, como o molusco *Teredo navalis* e os crustáceos *Chelluia* e *Limnoria*, também contribui para a deterioração das estacas de madeira. Esses organismos perfuradores de madeira atacam principalmente as partes imersas das estacas em obras marítimas, destruindo a madeira durante seu crescimento. As espécies desses animais sobrevivem em águas com níveis específicos de salinidade, tornando as estacas vulneráveis em determinadas condições marítimas.

Para melhorar a durabilidade das estacas de madeira, é possível utilizar madeiras com cerne resistente, que apresentam maior resistência ao ataque de fungos e insetos. Dentre as madeiras recomendadas para uso como estacas comerciais, destacam-se o Douglas fir, Larch, Pitch pine, Western red cedar, European oak, Greenheart, Jarrah, Opepe e Teca, classificadas em diferentes graus de durabilidade.

Embora as estacas de madeira possuam vantagens consideráveis, também apresentam desvantagens relacionadas à sua deterioração, principalmente quando submetidas à variação de umidade. Nesse sentido, a utilização de tratamentos preservativos torna-se essencial em obras terrestres e marinhas para garantir a durabilidade e a eficácia das estacas. Ademais, a escolha adequada da madeira e medidas de proteção podem prolongar a vida útil das estacas e otimizar sua utilização em obras civis.

2.4.4. Tratamento preventivo

A relevância do tratamento preventivo de estacas de madeira reside em sua capacidade de aumentar significativamente a durabilidade e vida útil dessas

estruturas, além de oferecer proteção contra a ação de agentes biológicos que podem causar sua deterioração. Miná (2005), Miná (2008), Ritter (1992), Lepage et al. (1986), Collin (2002), Cassens et al. (1995) e Arsenault (1975), destacam percepções e pontos essenciais para efetuar o tratamento preventivo das estacas de madeira. A condições para deterioração deve ser controlada, a maioria dos agentes biológicos que deterioram a madeira requer quatro condições básicas para sobreviver, como a umidade acima do ponto de saturação das fibras, oxigênio livre, temperatura entre 10°C e 35 °C e madeira como fonte de alimento. É impraticável controlar todas essas condições, tornando o tratamento preservativo a abordagem mais comum para controlar a deterioração da madeira. A era moderna do tratamento preservativo de estacas de madeira começou em 1831, quando Jean Robert Bréant patenteou um processo para aplicar preservativo sob pressão em câmara fechada. Em 1838, John Bethel patenteou o processo de "célula cheia", estabelecendo a era industrial da preservação de madeiras.

O tratamento preservativo por meio de pressão tem sido reconhecido por estender a vida útil da madeira em até cinco a dez vezes em comparação com madeiras não tratadas. Normas construtivas geralmente exigem que a madeira seja tratada em certos usos, definindo "tratada" como submetida a tratamento preservativo por meio de pressão. Um bom preservativo deve apresentar toxicidade para um amplo espectro de organismos xilófagos, baixa toxicidade para seres humanos, não aumentar a característica de combustão da madeira e ter a capacidade de penetrar e permanecer na madeira por longos períodos, resistindo à lixiviação. O custo também é um fator relevante para viabilizar o uso de produtos com essas propriedades.

Atualmente, os dois principais tipos de preservativos aplicados por meio de pressão em estacas de madeira são os óleos (creosoto e pentaclorofenol) e os hidrossolúveis (CCA, CCB e ACZA). Cada tipo possui suas características específicas de eficiência e uso em diferentes ambientes. A eficiência do tratamento preservativo é medida por dois parâmetros correlacionados, sendo a penetração e retenção. A penetração indica a profundidade alcançada pelo preservativo na madeira, enquanto a retenção expressa a quantidade de preservativo presente em determinado volume de madeira. Esses fatores dependem do tipo de preservativo, do processo de tratamento, da espécie da madeira e do ambiente em que a estrutura será exposta.

O tratamento de madeira com preservativos pesticidas requer cuidado e é restrito a empresas certificadas. Apesar de não haver estudos conclusivos sobre o impacto ambiental do preservativo CCA liberado da madeira para o solo, considerações ambientais podem direcionar a busca por soluções que envolvam o aumento de áreas de reflorestamento com espécies de rápido crescimento e alta durabilidade natural.

2.4.5. Norma e especificações nacionais para estacas de madeira

A norma NBR 6122/2019, A norma aborda os procedimentos adequados para o projeto e a execução dessas estacas, oferecendo orientações relevantes para o sucesso de empreendimentos que envolvam seu uso.

Quadro 7 - Os principais pontos da norma NBR 6122/2019 relacionados às estacas de madeira

1. Diâmetros mínimo da ponta e do topo: A ponta (extremidade mais delgada) e o topo (cabeça) da estaca de madeira devem ter diâmetros maiores que 15 cm e 25 cm, respectivamente. 2. Reta integralmente dentro da estaca: A reta que une os centros das seções da ponta e do topo deve estar completamente dentro da estaca. 3. Proteção do topo: O topo da estaca deve ser protegido para evitar danos durante a cravação. Caso ocorra algum dano, a parte afetada deve ser cortada. 4. Posição do topo em relação à água: O topo da estaca deve ficar abaixo do nível d'água. No entanto, em obras provisórias ou quando as estacas são tratadas com preservativos comprovadamente eficientes, essa exigência pode ser dispensada. 5. Proteção contra organismos em águas livres: Em águas livres, as estacas de madeira devem ser protegidas contra o ataque de organismos. 6. Evitar estacas em terrenos com matacões: Estacas de madeira devem ser evitadas em terrenos com matacões. Caso seja necessário penetrar camadas resistentes, as pontas das estacas devem ser protegidas por ponteiros de aço. 7. Emendas nas estacas: As emendas podem ser feitas por qualquer processo que garanta a integridade da estaca, desde que resistam a todas as solicitações que ocorram durante o manuseio, cravação e serviço da estaca. 8. Carga estrutural admissível: As estacas de madeira têm sua carga estrutural calculada em função da seção transversal mínima, adotando-se a tensão admissível compatível com o tipo e a qualidade da madeira, conforme a NBR 7190/1982. 9. Cravação das estacas: A cravação é normalmente executada com martelo de queda livre, usando-se a maior relação possível entre o peso do martelo e o peso da estaca, respeitando a relação mínima de 1,0. 10. Preparo de cabeças e ligação com o bloco de coroamento: Deve ser cortado o trecho danificado durante a cravação ou o excesso em relação à cota de arrasamento previsto. Caso a nova cota de topo esteja abaixo da cota de arrasamento previsto, deve-se fazer uma emenda. É importante notar que, atualmente, a NBR 7190/2022 fundamenta-se nos conceitos de Estados Limites e não no conceito de tensão admissível, como mencionado no ponto 8.

Fonte: NBR 6122/2019

Ao seguir as recomendações e parâmetros apresentados na norma, evitam-se problemas como o comprometimento da capacidade de carga das estacas, a degradação precoce do material e a ocorrência de acidentes em decorrência de falhas construtivas.

A norma também ressalta a importância da utilização de madeiras resistentes e tratadas com produtos preservativos eficientes, proporcionando maior vida útil às estacas e reduzindo a necessidade de manutenções frequentes. Além disso, orienta sobre a forma adequada de realizar emendas nas estacas, a fim de garantir a integridade estrutural dos elementos.

A norma NBR 6122/2019 exerce um papel fundamental na garantia da qualidade, segurança e durabilidade de obras civis que envolvam estacas de madeira como elementos de fundação. O conhecimento e a aplicação dos critérios e orientações presentes na norma são essenciais para o sucesso dos projetos e para a preservação do meio ambiente.

A utilização adequada de estacas de madeira, em conformidade com as diretrizes estabelecidas pela norma, possibilita a execução de obras com eficiência e sustentabilidade, contribuindo para a segurança das edificações, redução de custos de manutenção e prolongamento da vida útil das estruturas.

2.4.6. Cravação de estacas de madeira

A cravação de estacas é um procedimento comumente empregado na construção civil para garantir a estabilidade e sustentação de estruturas. Para estacas de madeira, a cravação à percussão é o método mais utilizado, e os equipamentos empregados para essa finalidade são conhecidos como bate-estacas. Nesse contexto, destacam-se alguns aspectos importantes sobre o processo de cravação e os acessórios utilizados para garantir a eficiência e proteção das estacas conforme os estudos feitos por Velloso e Lopes (2002), Fleming, et al. (1992), Bowles, et al. (1997).

Os bate-estacas, essenciais para a cravação à percussão de estacas de madeira, são compostos por um guincho e um peso, geralmente chamado de martelo ou pilão. Existem dois tipos principais de martelos utilizados nesse processo, o martelo de queda livre e o martelo automático.

O martelo de queda livre é elevado pelo guincho e solto para impactar a cabeça da estaca. Já o martelo automático é levantado por ação de vapor, ar comprimido ou gases de explosão de óleo diesel, e o guincho tem apenas a função de posicionar o martelo sobre a cabeça da estaca. Em casos específicos, onde se busca acelerar a descida do pilão, utiliza-se o martelo de duplo efeito.

Para garantir a proteção e amortecimento adequado durante a cravação, são empregados três acessórios entre o martelo e estaca, um capacete, formado por um anel metálico, e dois amortecedores, denominados cepo e coxim (ou almofada). O capacete apoia-se sobre a cabeça da estaca e comporta os amortecedores, sendo que o cepo é colocado acima do capacete para proteger o martelo de tensões elevadas, enquanto o coxim é posicionado entre o capacete e a estaca para proteger esta última.

A cravação de estacas de madeira com martelos de queda livre é um procedimento comum, porém é importante seguir algumas diretrizes para garantir a eficiência e a integridade da estaca. Em cravações difíceis, o peso do martelo deve ser igual ao da estaca, e em cravações mais fáceis, o peso do martelo não deve ser inferior à metade do peso da estaca. O excesso de cravação pode ocasionar danos à cabeça da estaca, mas essa situação pode ser minimizada utilizando-se tiras metálicas ao redor da cabeça da estaca.

Outra consideração relevante é que estacas de madeira não são recomendadas para cravação em solos resistentes, e para tais casos, uma ponteira metálica é fixada na base da estaca. Se ocorrer danos na estaca durante a cravação, ajustes na carga de projeto podem ser necessários, de modo que uma menor altura de queda e um menor número de golpes sejam aplicados.

A escolha adequada do tipo de martelo e a consideração de fatores como o peso da estaca e as condições do solo são cruciais para evitar danos às estacas e garantir a segurança e estabilidade das estruturas construídas. Portanto, conhecer os processos de cravação de estacas de madeira e seguir as recomendações apresentadas na literatura é indispensável para o êxito de projetos que envolvam esse tipo de fundação civil.

Figura 6 – Cravação de estacas de madeiras com bate-estaca



Fonte: Projetou, 2023.

2.4.7. Perspectivas da tecnologia para construção de pontes rodoviárias com fundações de madeira

A construção de pontes rodoviárias é uma atividade fundamental para o desenvolvimento da infraestrutura e mobilidade urbana no Brasil. Nesse contexto, o uso de estacas de madeira como fundação tem sido uma prática histórica que acompanha a evolução da Engenharia Civil no país. Vargas (2018) ajuda na compreensão da influência dos avanços tecnológicos, a formação de engenheiros e o papel da Engenharia Civil no desenvolvimento brasileiro, analisando como esses aspectos podem impactar a construção de pontes rodoviárias utilizando estacas de madeira como fundação.

Os avanços tecnológicos e o uso de novos materiais na Engenharia Civil brasileira. Isso pode ser relevante para a construção de pontes rodoviárias com estacas de madeira, pois esses avanços podem ter impactado a forma como essas estacas são produzidas, tratadas e utilizadas como fundação. A formação de

engenheiros no Brasil ao longo do tempo. A formação de profissionais qualificados é fundamental para o projeto e construção de pontes seguras e eficientes, incluindo a seleção adequada de materiais e técnicas de fundação, como o uso de estacas de madeira. O papel da Engenharia Civil no desenvolvimento do Brasil. Essas reflexões podem fornecer insights sobre como a construção de pontes rodoviárias com estacas de madeira pode contribuir para o desenvolvimento econômico e social do país, considerando aspectos de sustentabilidade e preservação do patrimônio histórico. Vargas (1994) apresenta um estudo relevante no contexto de evolução tecnológica para construção de pontes rodoviárias com estacas de madeira como fundação, pois oferece uma visão histórica e abrangente da Engenharia Civil no Brasil, abordando aspectos técnicos, tecnológicos e de formação de profissionais. Através de sua análise, é possível compreender a evolução da construção de pontes e a utilização de estacas de madeira como parte integrante desse processo ao longo dos tempos.

Portando, os avanços tecnológicos fornecem subsídios para reflexões sobre o futuro da Engenharia Civil e a importância de garantir a qualidade e segurança das obras de infraestrutura, como as pontes rodoviárias, bem como, para o desenvolvimento sustentável do país.

3. METODOLOGIA

A pesquisa seguiu uma abordagem com classificação de natureza básica, com foco explicativo nos objetivos. O processo de coleta de dados foi dividido em duas etapas, uma pesquisa de campo com aplicação de entrevistas semiestruturadas junto a engenheiros civis. Neste contexto, foram considerados diversos trabalhos acadêmicos e fontes bibliográficas relevantes, buscando formar um panorama abrangente sobre o tema. O desenho de pesquisa está sintetizado na Figura 3.

Figura 7 - Classificação da pesquisa realizada



Fonte: Própria (2023).

3.1. PROCEDIMENTOS TÉCNICOS

3.1.1. Fichamento e seleção de citações

O processo de fichamento e seleção das citações foi crucial para alcançar os objetivos da pesquisa. Inicialmente, foi realizado um levantamento bibliográfico com base em fontes acadêmicas e literatura especializada, selecionando trabalhos que abordam a temática de estacas de madeira em fundações de pontes rodoviárias. Os trabalhos selecionados abrangem diferentes períodos e autores, proporcionando

uma perspectiva histórica e contemporânea sobre o assunto. Após a seleção dos trabalhos, foram feitas fichas com as principais informações de cada um, como título, autor, ano, local de publicação e resumo. Em seguida, os trabalhos foram submetidos a uma análise minuciosa para identificar citações que contribuam para responder ao problema de pesquisa e alcançar os objetivos específicos propostos, sendo feita essa escolha e construção de textos de forma qualitativa sendo ao total analisados 43 trabalhos incluindo, teses, leis, monografias, artigos científicos e sites especializados, (WHITTEMORE; KNAFL, 2005)

3.1.2. Entrevista semiestruturadas

A entrevista foi elaborada com 8 perguntas, abordando questões sobre as razões e vantagens da utilização de estacas de madeira em fundações de pontes rodoviárias no Estado do Amapá. A entrevista foi realizada junto a um grupo de engenheiros civis, composto com no (mínimo três e no máximo cinco) profissionais, que possuam experiência e conhecimento na área de projeto e construção de pontes. As entrevistas com os engenheiros civis foram conduzidas de forma integrativa com a literatura, buscando aprofundar as respostas obtidas na entrevista e complementar com experiências práticas dos profissionais. Essa abordagem permitiu obter uma visão mais ampla e embasada sobre a utilização de estacas de madeira em pontes rodoviárias no contexto específico do Estado do Amapá.

3.1.3. Processamento dos dados de forma qualitativa

Creswell e Poth (2018), Fontana e Frey, (2005), são fundamentais para entender e embasar a escolha da abordagem qualitativa, especialmente no contexto das entrevistas semiestruturadas, contribuindo para a construção de uma pesquisa sólida e cientificamente embasada sobre o uso de estacas de madeira para fundações de pontes rodoviárias no Estado do Amapá.

Creswell e Poth (2018), referem-se a um método de pesquisa que oferece certa flexibilidade ao entrevistador, permitindo seguir uma estrutura básica de questões predefinidas, mas também adaptar e explorar novos tópicos ou questões emergentes conforme a interação com o entrevistado.

As entrevistas semiestruturadas foram conduzidas com engenheiros civis especializados em projetos e construções de pontes rodoviárias, a fim de compreender suas visões e conhecimentos sobre a utilização de estacas de madeira em fundações de pontes no Estado do Amapá. Para processar os dados qualitativos obtidos, as respostas foram compiladas e organizadas em quadros individuais, permitindo uma análise comparativa entre as percepções e experiências dos profissionais entrevistados.

A metodologia adotada buscou uma abordagem integrativa, combinando as respostas obtidas nas entrevistas com a literatura existente. Isso proporcionou uma perspectiva mais abrangente e fundamentada sobre as razões, vantagens e desafios associados ao uso de estacas de madeira nas fundações de pontes rodoviárias no contexto específico do Estado do Amapá.

Os quadros individuais foram elaborados para cada entrevista, destacando pontos-chave abordados pelos engenheiros. Eles foram estruturados para identificar:

Experiência e conhecimento técnico: Detalhes sobre projetos anteriores, características das estacas de madeira, espécies utilizadas, vida útil, adesão às normas técnicas relevantes e compreensão das vantagens e desvantagens associadas ao uso dessas estacas.

Visão sobre a viabilidade e desafios: Percepções sobre a aplicabilidade das estacas de madeira em diferentes contextos, restrições ambientais, escassez de oferta de madeira local e desafios enfrentados na durabilidade e tratamento dessas estacas.

Perspectivas tecnológicas e construtivas: Avaliação do uso de tecnologias no processo construtivo, sugestões para melhorias na eficiência, segurança e durabilidade das estruturas e identificação de áreas para avanços técnicos.

Recomendações e considerações finais: Sugestões para aprimorar a utilização das estacas de madeira em fundações de pontes rodoviárias, considerando aspectos técnicos, ambientais e econômicos, além de reflexões sobre a viabilidade prática e precauções a serem tomadas.

A compilação e organização desses dados em quadros individuais permitiram uma análise aprofundada das respostas dos engenheiros civis, identificando convergências e divergências em suas percepções e experiências. A abordagem integrativa entre as entrevistas e a literatura proporcionou uma compreensão mais holística e embasada sobre a utilização de estacas de madeira em fundações de

pontes no Estado do Amapá. Esses insights são fundamentais para orientar futuras pesquisas e práticas na área de engenharia civil, visando aprimoramentos e soluções inovadoras para o contexto específico das pontes rodoviárias no Estado do Amapá.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. MOTIVOS PARA UTILIZAÇÃO DAS ESTACAS DE MADEIRAS PARA FUNDAÇÕES

A revisão de literatura apresentada aborda um tema importante e relevante para a engenharia civil e ambiental, que é a utilização de estacas de madeira como fundações de pontes rodoviárias no Estado do Amapá. São explorados diversos aspectos, incluindo informações gerais sobre o estado, suas características geográficas, climáticas e do solo, bem como o histórico e a aplicação da técnica de fundação com estacas de madeira em pontes na região. Além disso, destaca as características e propriedades da madeira utilizada nas estacas e sua influência no desempenho desses elementos de fundação.

A escolha de estacas de madeira como fundações de pontes rodoviárias pode ser uma abordagem interessante e sustentável, considerando a abundância de recursos florestais no Amapá. A madeira é um material de construção antigo e desejável devido à sua disponibilidade natural e facilidade de manuseio. Além disso, as estacas de madeira podem ser dimensionadas corretamente e submetidas a tratamentos preservativos adequados para oferecer resistência mecânica e durabilidade satisfatórias, resultando em estruturas eficientes e econômicas.

Uma das principais vantagens da utilização de estacas de madeira é o seu baixo impacto ambiental em comparação com outros materiais de fundação, como concreto e aço, que requerem mais recursos naturais e energia para sua produção. A madeira é um recurso natural renovável, e sua utilização pode contribuir para a redução das emissões de gases de efeito estufa, bem como promover a sustentabilidade ambiental.

Outro ponto positivo é a valorização de aspectos culturais e sociais associados às pontes de madeira, uma vez que elas representam uma tradição histórica que remonta a séculos passados. A incorporação de estacas de madeira nas fundações das pontes rodoviárias pode, portanto, preservar a identidade local e criar um aspecto estético agradável às estruturas. Entretanto, é essencial considerar alguns desafios associados ao uso de estacas de madeira. A madeira é suscetível à deterioração e ao ataque biológico, especialmente em ambientes úmidos e quentes como o do Amapá. Portanto, é fundamental aplicar tratamentos preservativos

adequados para proteger a madeira da ação de insetos, fungos e deterioração ao longo do tempo. Além disso, o projeto e a execução das fundações de estacas de madeira requerem atenção especial para garantir a segurança e a durabilidade das estruturas, levando em consideração as condições geotécnicas locais.

Estudos de caso são fundamentais para entender melhor o comportamento das fundações de estacas de madeira em diferentes condições geotécnicas e climáticas, permitindo o desenvolvimento de diretrizes técnicas específicas para a construção e manutenção dessas pontes. Uma questão importante seria a comparação entre a utilização de estacas de madeira e outros tipos de fundações, como estacas de concreto ou estacas metálicas. É fundamental analisar não apenas o desempenho estrutural, mas também os impactos ambientais, custos e benefícios econômicos de cada opção. Esses fatores podem servir para pesquisas futuras. Além disso, é válido investigar como a escolha do tipo de fundação é influenciada pelas condições climáticas e geológicas específicas do Amapá. Os dados climáticos, como o regime de chuvas e variação da umidade, podem afetar diretamente a durabilidade e a resistência da madeira utilizada nas estacas, bem como a estabilidade do solo onde as fundações serão construídas.

Outro ponto de discussão relevante é a análise dos desafios enfrentados durante a construção e manutenção de pontes de madeira no estado. Questões como a disponibilidade de mão de obra qualificada, custos de manutenção e a necessidade de inovações tecnológicas para garantir a qualidade e a segurança das estruturas são fatores cruciais a serem considerados. Avaliar o custo-benefício dessa abordagem, incluindo os aspectos de sustentabilidade e impactos socioambientais, pode fornecer uma análise mais completa para embasar a tomada de decisões pelos órgãos responsáveis pelas obras de infraestrutura no estado.

A literatura apresentada abre diversas possibilidades para uma pesquisa aprofundada sobre a utilização de estacas de madeira como fundações de pontes rodoviárias no Estado do Amapá, serve possibilidades para demais pesquisadores e engenheiros civil fazerem abordagem sustentável das vantagens econômicas e culturais associadas ao uso de madeiras, sendo aspectos relevantes a serem considerados. A utilização das estacas de madeiras para fundações enfrenta desafios relacionados à durabilidade, resistência e técnicas de proteção da madeira em ambientes específicos, sendo importante comparar diferentes tipos de fundações em termos de desempenho e viabilidade econômica. Com uma análise embasada,

buscou contribuir significativamente para o conhecimento existente na área e fornecer diretrizes importantes para o planejamento e a construção de pontes rodoviárias no Estado do Amapá, sendo consultados os conhecimentos prévios de engenheiros civis da região para alcançar o objetivo de compreender as razões e vantagens da utilização de estacas de madeira para fundações de pontes rodoviárias no Estado do Amapá.

A partir das percepções dos principais autores da literatura abordada sobre a utilização de estacas de madeira para fundações de pontes rodoviárias, verificou-se que:

Pfeil e Pfeil (2003), destacaram que a madeira é um dos materiais de construção mais antigos utilizados devido à sua disponibilidade natural e facilidade de manuseio. A resistência, baixo peso e capacidade de absorver impactos tornam-na uma opção desejável para construções dessa natureza, incluindo pontes rodoviárias. A madeira pode ser implementada em qualquer local e condição climática, sem prejudicar a qualidade do material. Além disso, sua aparência natural proporciona um aspecto agradável às estruturas.

Ritter (1992), ressaltou que, embora a madeira seja suscetível à deterioração e ao ataque biológico, ela pode se tornar durável quando protegida da variação da umidade. O uso de preservativos pode aumentar a vida útil da madeira exposta por longos períodos, chegando a mais de 50 anos. Isso mostra que, com os devidos cuidados, as estacas de madeira podem ser uma opção viável para fundações de pontes rodoviárias.

Hellmeister (1978), explicou que a madeira no Brasil tem sido uma solução prática para a construção de pontes em diversas regiões, incluindo o Estado do Amapá. Essas pontes costumavam ser construídas por carpinteiros, sem cálculos estruturais complexos, utilizando vigas de madeira maciça e apoios de pedra. Algumas estruturas mais evoluídas existiam em São Paulo, permitindo a passagem de automóveis e bondes elétricos. Isso mostra que a tradição de utilizar estacas de madeira em pontes rodoviárias tem raízes históricas no Brasil.

Mina (2005), enfatizou que com o crescente interesse em materiais de construção resistentes, duráveis e ecológicos, bem como o desenvolvimento de novas técnicas de ligação e materiais derivados da madeira, as pontes de madeira têm despertado um interesse renovado. Isso mostra que há uma tendência de revalorização das estruturas de madeira, inclusive em fundações de pontes

rodoviárias, devido às suas características sustentáveis e propriedades mecânicas adequadas.

Davalos e Petro (1994), suscitaram que a madeira tem uma relevância histórica e cultural no contexto das pontes de madeira, representando uma tradição que remonta a séculos passados. A utilização de estacas de madeira em fundações de pontes rodoviárias pode, portanto, valorizar aspectos culturais e sociais, enaltecendo a identidade local. Isso destaca que a escolha da madeira como material de fundação pode ir além das questões técnicas, também considerando a valorização do patrimônio cultural.

A percepção dos autores sobre a utilização de estacas de madeira para fundações de pontes rodoviárias é positiva, destacando suas vantagens, como disponibilidade natural, resistência mecânica, baixo peso e capacidade de absorver impactos. Eles também apontam a necessidade de tratamentos preservativos adequados para garantir a durabilidade da madeira, bem como a valorização dos aspectos culturais e sociais associados ao uso desse material. Contudo, é importante lembrar que a utilização de estacas de madeira requer um projeto e execução adequados para garantir a segurança e desempenho das estruturas.

4.2. ANÁLISE QUALITATIVA DAS ENTREVISTAS

A primeira linha com a cor cinza em destaque é referente a cada uma das 8 perguntas feitas aos entrevistados, a partir da segunda coluna estão os pseudônimos EA = Engenheiro 1 e assim se repete nas outras linhas, juntamente com suas respectivas respostas.

Quadro 8 – Perguntas e respostas das entrevistas de forma compilada (Parte 1)

Perguntas	Características e componentes das estruturas de pontes de madeira	Experiência com Pontes de Madeira	Conhecimento sobre normas técnicas	Uso de madeira em fundações de pontes rodoviárias
EA	Detalhes sobre estacas (30x30) e comprimento variável (8 a 10 metros).	Elaborou projetos e trabalha na construção e manutenção de pontes de madeira.	Conhecimento e aplicação das normas NBR 6122 e NBR 7190.	Utilização viável na maioria dos casos, exceto terrenos rochosos.
EB	Detalhes das estacas (30x30), tipos e espécies utilizadas.	Participou na construção de uma ponte e reforma de duas.	Reconhecimento e aplicação das normas técnicas.	Utilização enfrenta desafios de fiscalização e oferta limitada.

Fonte: O acadêmico (2023).

Quadro 9 – Perguntas e respostas das entrevistas de forma compilada (Parte 2)

Tratamento preventivo das madeiras e desafios no processo	Perspectivas de tecnologias na construção de pontes com estacas de madeira	Vantagens e desvantagens do uso de estacas de madeira	Viabilidade das estacas de madeira no estado do Amapá
Uso de tratamentos como impermeabilização para durabilidade.	Uso de tecnologias mistas para eficiência e segurança.	Custo menor, disponibilidade local, adaptabilidade a solos moles.	Considera viável, com precauções de qualidade da madeira.
Tratamento preventivo com imprimação para durabilidade.	Construção descrita como rústica e pouco avançada tecnologicamente.	Disponibilidade imediata de madeira local, rapidez na construção.	Viável para extensões menores, alertando para custos em estruturas maiores.

Fonte: O acadêmico (2023).

Quadro 10 – Perguntas e respostas das entrevistas de forma compilada (Parte 3)

Perguntas	Engenheiro EC	Engenheiro ED	Engenheiro EE
Experiência com Pontes de Madeira	Engenheiro trabalhou em projetos com um total de 74 pontes de madeira em várias rodovias. Realiza inspeções mensais em estruturas de madeira. Componentes inspecionados incluem diversos elementos das pontes.	Trabalha em projetos desde 2019, supervisão de construção de pontes com estacas de madeira. As estacas variam em quantidade e tamanho dependendo do vão da ponte.	Ausência de projetos anteriores com estacas de madeira em pontes. Atualmente fiscaliza a manutenção de 33 pontes de madeira, consideradas como alternativa viável comparadas às de concreto.
Conhecimento das Normas Brasileiras	Utiliza a NBR 7190 e NBR 6122 para fundamentar projetos e execução de fundações.	Conhecimento de normas do DNIT 010, além de NBR 6122/2019 e NBR 7190/1997.	Conhecimento sobre normas, apesar da aplicação prática pontual.
Uso de Madeira em Pontes	Madeiras amplamente utilizadas como estacas, exceto em locais rochosos que demandam blocos de concreto.	Existem mais pontes de madeira do que de concreto. As de madeira são mais comuns em estradas não pavimentadas, mas podem ser substituídas por concreto com pavimentação.	Madeiras usadas em obras atuais, principalmente em áreas remotas. Verificação da madeira utilizada e respeito às legislações ambientais. Existem pontes de concreto sendo executadas para substituir as de madeira.
Tratamento Preventivo e Durabilidade	Aplica tratamentos preventivos como emulsão asfáltica e pintura para estacas e estruturas de madeira das pontes. Utilização de madeiras específicas para maior longevidade.	Tratamentos preventivos para prolongar a vida útil das estacas. Durabilidade estimada em cerca de 2 anos.	Problemas de durabilidade devido à água. Necessidade de tratamento preventivo e vistorias frequentes para identificar problemas.
Perspectivas Tecnológicas	Implementação progressiva de estruturas de concreto e metálicas para substituir pontes de madeira, visando durabilidade e menor custo de manutenção.	A tecnologia, especialmente métodos de cravação de estacas mais avançados, ainda não chegou à região do Amapá.	Utilização de tecnologias mais avançadas para pontes de concreto, sem grandes avanços para estruturas de madeira.
Vantagens e Desvantagens das Estacas de Madeira	Vantagens: rapidez na implantação, custos iniciais menores. Desvantagens: menor durabilidade, requer inspeções e manutenções frequentes.	Vantagem: execução mais rápida em comparação com concreto. Desvantagens: manutenção frequente e alto custo. Recomendação para situações temporárias	Vantagem: custo inicial menor. Desvantagem: baixa durabilidade e necessidade de manutenções frequentes. Recomendação para pontes de concreto por economia a longo prazo.

Perguntas	Engenheiro EC	Engenheiro ED	Engenheiro EE
		ou paliativas.	
Viabilidade das Estacas de Madeira no Estado	Considera viável com inspeções frequentes, qualidade da madeira e substituições por estruturas mais duráveis a longo prazo.	Viabilidade em situações temporárias, enfatizando a necessidade de fiscalização contínua para garantir a segurança. Dificuldades logísticas na região afetam a qualidade das pontes.	Viabilidade dependente do orçamento e viabilidade financeira. Sugestões para aplicação pontual em locais específicos.
Sugestões e Recomendações	Recomendações incluem uso exclusivo de madeira de lei, inspeção detalhada da origem e qualidade da madeira, verificação criteriosa da verticalidade das estacas e distribuição equitativa dos esforços.	Documentação completa e legal da origem da madeira, considerações ambientais e econômicas para viabilizar o transporte e utilização da madeira.	Documentação completa da origem da madeira utilizada, considerações ambientais e econômicas para transporte e utilização.

Fonte: O acadêmico (2023).

É possível depreender com base nesses dados as seguintes considerações:

Ambos os engenheiros demonstram um bom entendimento das normas técnicas (NBR 6122 e NBR 7190) relacionadas às estacas de madeira, sugerindo que há adesão a diretrizes estabelecidas para projetos e execuções de fundações com estacas de madeira. Isso é fundamental para garantir a qualidade e a segurança das estruturas.

Ambos reconhecem a viabilidade do uso de estacas de madeira em certos contextos, mas também apontam desafios. O primeiro engenheiro destaca a adaptabilidade das estacas a terrenos moles, enquanto o segundo ressalta as restrições ambientais e a escassez de oferta de madeira local como desafios significativos.

Ambos mencionam o tratamento preventivo das estacas como uma prática comum para aumentar a durabilidade. No entanto, o primeiro engenheiro destaca a necessidade de manutenção frequente, indicando uma vida útil mais curta, enquanto o segundo menciona problemas estruturais, como rachaduras prematuras, sugerindo desafios na eficácia dos tratamentos.

Ambos reconhecem a necessidade de avanços tecnológicos na construção de pontes com estacas de madeira. Enquanto o primeiro engenheiro sugere o uso de tecnologias mistas para melhorar eficiência e segurança, o segundo destaca a falta de avanço tecnológico na construção, apontando áreas para melhorias, como a segurança dos trabalhadores.

Ambos ressaltam vantagens, como disponibilidade imediata e custos menores, mas também destacam desvantagens, como necessidade de manutenção frequente e restrições ambientais. As opiniões são consistentes quanto à vida útil menor das estacas de madeira.

Ambos consideram viável a construção de pontes de madeira para extensões menores, mas alertam para custos e transtornos em estruturas maiores. Ambos também destacam a importância de estudos hidrológicos e a real necessidade de pontes de madeira, ressaltando a escassez e restrições da madeira local como fatores determinantes.

Essa análise sugere a importância de encontrar um equilíbrio entre os benefícios e desafios do uso de estacas de madeira, considerando não apenas os aspectos técnicos, mas também os ambientais e econômicos. Há uma clara indicação de que a busca por melhorias nos tratamentos preservativos, avanços tecnológicos na construção e uma avaliação criteriosa da viabilidade de pontes de madeira são áreas essenciais para o aprimoramento dessa prática no Estado do Amapá.

O presente estudo busca analisar a viabilidade, desafios e perspectivas do uso de estacas de madeira em fundações de pontes rodoviárias no Estado do Amapá. Para preservar a confidencialidade dos entrevistados, foram apresentadas as informações de forma anonimizada, utilizando pseudônimos ou o cargo ocupado pelos profissionais.

Os dados coletados foram obtidos por meio de entrevistas semiestruturadas com profissionais da área de engenharia civil atuantes no Estado do Amapá. Os entrevistados foram identificados anonimamente como Engenheiro A, Engenheiro B e Engenheiro C e assim por diante. Eles forneceram informações valiosas sobre suas experiências profissionais, conhecimentos técnicos e opiniões sobre o uso de estacas de madeira em fundações de pontes rodoviárias na região.

Portanto, as entrevistas contribuem para o entendimento dos benefícios e limitações das estacas de madeira em fundações de pontes rodoviárias no contexto específico do Estado do Amapá, fornecendo *insights* importantes para o planejamento, projeto e construção de infraestruturas viárias nessa região.

Quadro 11 – Dados de identificação do entrevistado 1

Identificação do Entrevistado
Nome: Engenheiro A
Cargo/Profissão: Engenheiro Civil
Empresa/Instituição: CMM Construtora
Localização: Estado do Amapá, Brasil
Data da Entrevista: 10/11/2023
Tempo de experiência profissional: 9 anos
Método da Entrevista: Entrevista Semiestruturada

Fonte: O acadêmico (2023).

A engenharia civil desempenha um papel crucial na construção de infraestruturas, sendo as pontes rodoviárias elementos fundamentais para a conectividade e desenvolvimento das regiões. A escolha adequada dos materiais para as fundações dessas estruturas é essencial para garantir sua estabilidade, segurança e durabilidade ao longo do tempo. No Estado do Amapá, onde condições geotécnicas específicas podem influenciar a escolha das fundações, o uso de estacas de madeira desperta interesse devido à disponibilidade local desse recurso.

Quadro 12 – Principais pontos identificados na entrevista 1 sobre a viabilidade técnica da utilização de estacas de madeira em fundações de pontes rodoviárias no Estado do Amapá

1. características e componentes das estruturas de pontes de madeira: • Detalhes sobre as estacas de madeira, suas medidas (30x30) e comprimento variável (8 a 10 metros). • Espécies de madeira utilizadas (pontes angelim vermelho, faveira, jatobá, entre outras). • Vida útil das madeiras em contato com água e solo, considerando a durabilidade e necessidade de manutenção frequente (3 a 5 anos). 2. Conhecimento sobre normas técnicas: • Conhecimento e aplicação das normas brasileiras NBR 6122 e NBR 7190 relacionadas às fundações com estacas de madeira e projetos de estrutura de madeira, respectivamente. 3. Viabilidade das estacas de madeira em fundações de pontes rodoviárias: • Utilização viável das estacas de madeira na maioria dos casos, exceto quando há terrenos rochosos. • Alternativas viáveis para fundações em casos onde as estacas não podem ser fincadas adequadamente. 4. Tratamento preventivo das madeiras e desafios no processo: • Uso de tratamentos como impermeabilização para prolongar a durabilidade das estacas. • Desafios enfrentados no tratamento, como evitar passivos ambientais e garantir a eficácia do processo. 5. Perspectivas de tecnologias na construção de pontes com estacas de madeira: • Uso de tecnologias mistas (concreto e madeira) para melhorar eficiência, segurança e durabilidade das estruturas. 6. Vantagens e desvantagens do uso de estacas de madeira: • Vantagens: custo operacional menor, disponibilidade de madeira na região,

adaptabilidade a terrenos mais moles.

- Desvantagens: vida útil menor, necessidade de manutenção frequente.
- Recomendação de limitar o tamanho das pontes de madeira para garantir estabilidade estrutural.

7. Viabilidade das estacas de madeira no estado do Amapá:

- Considera viável, com precauções quanto à qualidade da madeira, controle de peso dos veículos e conformidade com padrões técnicos.

8. Sugestões para melhor utilização das estacas de madeira:

- Recomendação de seguir os padrões de qualidade de madeira estabelecidos.
- Controle rigoroso na aplicação das estacas e no tráfego de veículos para aumentar a durabilidade das pontes.

Fonte: O acadêmico (2023).

A implementação de estacas de madeira em projetos de pontes rodoviárias no Estado do Amapá tem sido uma prática comum, especialmente em casos específicos de pontes de madeira. As estacas, com dimensões predominantes de 30x30 cm, são utilizadas em conjunto com longarinas do mesmo tamanho e variam em comprimento de acordo com as necessidades estruturais.

Diversas espécies de madeira, como angelim vermelho, faveira ferro e jatobá, são empregadas nesse contexto. Estas apresentam uma vida útil que oscila entre 3 a 5 anos, ressaltando a necessidade de tratamentos preservativos e manutenção para prolongar sua durabilidade.

A compreensão e aplicação das normas técnicas brasileiras, como a NBR 6122 e NBR 7190/2022, revelam-se essenciais para o correto planejamento e execução de fundações e estruturas de madeira em pontes rodoviárias. O alinhamento com essas normas permite que projetos e construções atendam às diretrizes estabelecidas, garantindo segurança e eficácia.

Estudos conduzidos por diversos autores, como Calil Júnior et al. (2002) e Partel (1999), destacam a importância das normas técnicas para assegurar a qualidade e segurança das construções. A aplicação dessas diretrizes contribui para evitar falhas estruturais e garantir a adequada utilização de materiais, como a madeira, em fundações de pontes.

A viabilidade das estacas de madeira como opção para fundações de pontes rodoviárias no Estado do Amapá está relacionada às condições do terreno. Quando não há presença de rochas subjacentes, essas estacas oferecem fixação adequada. No entanto, em áreas com rochas, outras alternativas de fundação se fazem necessárias para garantir a estabilidade estrutural.

Autores como Calil Júnior et al. (2006) e Mina (2005) abordam o interesse renovado em materiais de construção ecológicos, como a madeira, ressaltando a necessidade de formação adequada de profissionais e o desenvolvimento de novas técnicas para aprimorar a viabilidade das pontes de madeira. Essas contribuições destacam a importância de considerar as condições geotécnicas para determinar a aplicabilidade das estacas de madeira nas fundações das pontes.

A literatura científica ressalta a relevância do reflorestamento para projetos de pontes com estacas de madeira. Autores como Pfeil e Pfeil (2003) e Hellmeister (2003) destacam a importância do reflorestamento para a disponibilidade de matéria-prima e o desenvolvimento de produtos de madeira competitivos economicamente.

A utilização de madeira de reflorestamento, como pinus e eucaliptos, emerge como uma alternativa viável, oferecendo bom desempenho, baixo custo e menor impacto ambiental. No entanto, é essencial considerar a fase de crescimento das árvores, pois aquelas cortadas precocemente podem apresentar propriedades mecânicas inferiores. O processo de reflorestamento segue etapas, desde o planejamento até a autorização, seleção de espécies, preparação do terreno, plantio, cuidados e manutenção, monitoramento e avaliação. Além disso, a retirada de madeira é regulamentada por leis ambientais, visando à utilização sustentável dos recursos naturais.

Essas considerações evidenciam a importância do reflorestamento na disponibilidade de matéria-prima para as estacas de madeira, ressaltando a necessidade de manejo sustentável e práticas de extração adequadas, conforme preconizado por Pfeil e Pfeil (2003), Calil Júnior et al. (2002), Ballarin e Lara Palma (2003) e Hellmeister (2003). Esses pontos abordados contribuem significativamente para o avanço da pesquisa, fornecendo uma compreensão aprofundada sobre o uso de estacas de madeira em fundações de pontes rodoviárias no Estado do Amapá. A análise das práticas de projeto, a adoção de normas, a viabilidade e o reflorestamento são elementos essenciais para o planejamento adequado e a implementação eficaz dessas estruturas, considerando aspectos geotécnicos, ambientais e econômicos.

A pesquisa sobre a viabilidade da utilização de estacas de madeira em fundações de pontes rodoviárias no Estado do Amapá revelou resultados fundamentais para o avanço dessa prática na engenharia civil. Os pontos identificados destacam a importância das estacas de madeira em situações

específicas, principalmente em pontes de madeira, onde são empregadas estacas de dimensões padronizadas de 30x30 cm, junto com longarinas semelhantes em tamanho e variadas em comprimento conforme as necessidades estruturais. Espécies como angelim vermelho, faveira ferro e jatobá são comumente utilizados, apresentando uma vida útil de 3 a 5 anos, ressaltando a necessidade de tratamentos preservativos e manutenção para prolongar sua durabilidade.

A aplicação adequada das normas brasileiras, como a NBR 6122/2019 e NBR 7190/2022, mostrou-se essencial para o planejamento e execução corretos de fundações e estruturas de madeira em pontes rodoviárias. A compreensão dessas diretrizes tem papel crucial na prevenção de falhas estruturais e garante a utilização adequada da madeira. No entanto, a viabilidade das estacas de madeira está diretamente ligada às condições do terreno, onde sua utilização é mais vantajosa em áreas sem presença de rochas subjacentes.

A questão da durabilidade das estacas de madeira e o tratamento preventivo são tópicos cruciais que demandam aprimoramento. Investimentos em pesquisas focadas na otimização dos tratamentos preservativos, superação dos desafios relacionados à disponibilidade de materiais para tratamentos adequados e o desenvolvimento de tecnologias para prolongar a vida útil das estacas são necessários para garantir sua eficácia e longevidade. Paralelamente, explorar perspectivas tecnológicas, como a possibilidade de misturas de materiais para melhorar a eficiência das estruturas, é uma área promissora para estudos futuros.

Além disso, a análise dos resultados aponta para a importância do reflorestamento como elemento chave para a disponibilidade de matéria-prima. Estudos que visem o manejo florestal sustentável e técnicas de reflorestamento específicas para o rápido crescimento de espécies de madeira adequadas para estacas são essenciais. Por fim, validação de recomendações práticas, como o uso de madeiras de qualidade superior e o controle rigoroso do peso dos veículos transitando sobre as pontes, por meio de estudos de caso e análises práticas, são cruciais para a implementação bem-sucedida dessas práticas.

Quadro 13 – Síntese dos achados para avanços científicos na área de construção civil – N1

1. Pontos Relevantes Encontrados:

- Utilização de estacas de madeira em pontes específicas.
- Características e especificações das estacas e longarinas.
- Espécies de madeira utilizadas e sua vida útil.

• Conhecimento e adesão às normas brasileiras. • Viabilidade das estacas em terrenos sem rochas subjacentes. • Necessidade de tratamentos preservativos para durabilidade. • Perspectivas tecnológicas para misturas de materiais. • Vantagens e desvantagens do uso de estacas de madeira. • Recomendações para melhor utilização das estacas.
2. Resultados Impactantes: • Confirmação da aplicabilidade das estacas de madeira em determinadas condições. • Reconhecimento da importância das normas técnicas para garantir a qualidade. • Identificação de desafios e áreas para aprimoramento técnico. • Destaque para a necessidade de pesquisas adicionais e desenvolvimento tecnológico.
3. Avanços e Possibilidades Futuras: • Pesquisas focadas no desenvolvimento de tratamentos preservativos mais eficazes. • Exploração de tecnologias para melhorar a durabilidade das estacas. • Estudos sobre misturas de materiais para aumentar a eficiência das estruturas. • Investimentos em manejo florestal sustentável para o suprimento de matéria-prima. • Validação prática das recomendações para aprimorar a utilização das estacas.

Fonte: O acadêmico (2023).

Quadro 14 – Dados de identificação do entrevistado 2

Identificação do Entrevistado: Nome: Engenheiro B Cargo/Profissão: Engenheiro Civil Empresa/Instituição: LCM - Macapá Localização: Estado do Amapá, Brasil Data da Entrevista: 09/11/2023 Tempo de experiência profissional: 10 anos Método da Entrevista: Entrevista Semiestruturada

Fonte: O acadêmico (2023).

Com base na entrevista com o Engenheiro B, gerente de contratos da LCM, algumas informações relevantes podem ser destacadas para análise e discussão:

Quadro 15 – Principais pontos identificados na entrevista 2 sobre a viabilidade da utilização de estacas de madeira em fundações de pontes rodoviárias no Estado do Amapá

1. Uso de Madeira em Pontes Rodoviárias no Amapá: • O engenheiro participou da construção de uma ponte e reforma de duas outras, todas feitas com estacas de madeira na BR 156. • Detalhes das características das estacas de madeira, incluindo diâmetro (30x30), tipos (estacas, transversinas, longarinas, balancins), contraventamentos e linha d'água para dar resistência à estrutura. • Espécies de madeira utilizadas, como o Itaúba e Massaranduba, com certificação de origem legal.
2. Conhecimento das Normas Técnicas: • Reconhecimento das normas técnicas (NBR 6122 e NBR 7190) que abordam os critérios para projetos e execução de fundações com estacas de madeira.

• A empresa atua mais na execução do que no projeto das pontes, seguindo padrões pré-estabelecidos.
3. Viabilidade das Estacas de Madeira: • No Amapá, o uso de madeira em pontes enfrenta desafios devido à forte fiscalização ambiental e restrições durante certos períodos do ano. • A oferta de madeira legal durante o período de defesa ambiental é limitada, levando à necessidade de importar de outros estados.
4. Durabilidade e Tratamento das Estacas: • O tratamento preventivo das estacas é realizado com imprimação para evitar o encharcamento e prolongar a durabilidade. • A durabilidade varia conforme a exposição ao ambiente, influência da maré e a espécie da madeira utilizada. • Relatos de estacas apresentando rachaduras prematuras, indicando possíveis problemas estruturais.
5. Perspectivas Tecnológicas e Construção de Pontes: • A construção de pontes com estacas de madeira é considerada uma opção viável, porém, o processo construtivo é descrito como rústico e não tão avançado tecnologicamente. • O engenheiro acredita que melhorias na segurança podem ser feitas no processo executivo, como a instalação de linhas de vida para os trabalhadores.
6. Vantagens e Desvantagens das Estacas de Madeira: • Vantagens incluem a disponibilidade imediata de madeira local, rapidez na construção, e menor transtorno social em caso de reparos. • Desvantagens abordam o alto custo de manutenção, restrições ambientais, e limitações no mercado local em determinados períodos.
7. Viabilidade e Recomendações: • O engenheiro recomenda a construção de pontes de madeira para extensões menores, alertando para transtornos e custos crescentes em estruturas maiores. • Destaca a importância de considerar estudos hidrológicos e a necessidade real de pontes de madeira, especialmente devido à escassez e restrições da madeira local.

Fonte: O acadêmico (2023).

As estacas de madeira têm desempenhado um papel crucial nas fundações de pontes rodoviárias, sendo essenciais quando o solo superficial não oferece resistência suficiente para suportar as cargas da ponte. A seleção adequada das estacas de madeira é uma decisão complexa que leva em consideração uma série de fatores, como o tipo de solo, as cargas esperadas, a profundidade necessária e suas características mecânicas.

Especificidades para escolha das estacas de madeira devem considerar:

A escolha adequada da madeira é crucial para garantir durabilidade e resistência. Espécies resistentes a fungos, insetos e decomposição, como ipê, maçaranduba e peroba, são preferíveis. O dimensionamento das estacas é baseado nas cargas esperadas e nas propriedades do solo. Estacas mais longas são usadas para alcançar camadas mais resistentes do solo. O tratamento é aplicado para aumentar a durabilidade, protegendo a madeira contra fungos, insetos e

decomposição causada pela umidade. Um espaçamento adequado é determinado pela distribuição das cargas e características do solo para garantir uma distribuição uniforme das forças. O correto posicionamento e a fixação no solo são cruciais para a estabilidade da fundação.

Processo para Fundações de Pontes com Estacas de Madeira inicia-se com um estudo de viabilidade para determinar a adequação do uso das estacas de madeira para a ponte em questão. Depois disso, um projeto de fundação é elaborado, seguido pela preparação do local, fabricação das estacas, instalação, verificação e ajustes, e, por fim, a conexão com a superestrutura da ponte.

A viabilidade das estacas de madeira depende de condições específicas: solo estável, nível moderado de umidade, disponibilidade de madeira adequada, cargas moderadas e tratamentos de proteção. O uso adequado das estacas de madeira requer uma análise minuciosa das condições do local e do projeto.

Verificação de Capacidade de Carga: Estudos geotécnicos prévios são essenciais para verificar a capacidade de carga do solo e garantir que as estacas escolhidas suportem as cargas da ponte.

A utilização de estacas de madeira em fundações de pontes rodoviárias apresenta-se como uma alternativa eficaz e sustentável. Sua escolha cuidadosa e correta instalação contribuem para a estabilidade e durabilidade da fundação, promovendo o sucesso de pontes que transpõem obstáculos, facilitando o tráfego de maneira segura e confiável.

As pontes rodoviárias desempenham um papel crucial na infraestrutura viária, e no Amapá, um estudo liderado pelo Engenheiro B delineou a construção e reforma de três dessas estruturas utilizando estacas de madeira na BR 156. Este estudo investigou detalhadamente os aspectos relacionados ao uso dessas estacas, suas características, desafios enfrentados e ofereceu recomendações para futuras construções, fornecendo uma base sólida para a evolução da engenharia civil.

O estudo destacou informações essenciais sobre as estacas de madeira utilizadas, abordando especificidades como o diâmetro (30x30) e os diferentes tipos empregados, tais como estacas, transversinas, longarinas e balancins, contraventamentos e linha d'água. As espécies de madeira como Itaúba e Massaranduba, com certificação de origem legal, evidenciam o comprometimento com a sustentabilidade.

O estudo reconheceu a relevância das normas técnicas, incluindo a NBR 6122 e NBR 7190, que estabelecem critérios para projetos e execução de fundações com estacas de madeira. Foi evidente que a ênfase da empresa estava na execução, seguindo padrões já estabelecidos, em detrimento da concepção dos projetos.

Identificou-se desafios decorrentes da rigorosa fiscalização ambiental e das restrições impostas em determinados períodos do ano. A escassez de madeira legal durante períodos de defesa ambiental impulsionou a importação de outros estados para suprir a demanda.

Aspectos cruciais relacionados à durabilidade das estacas foram discutidos, incluindo o tratamento preventivo com imprimação para evitar o encharcamento e prolongar a vida útil. A influência da exposição ao ambiente, maré e a espécie da madeira utilizada foi enfatizada, com relatos de estacas apresentando rachaduras prematuras, sugerindo possíveis problemas estruturais e demandando revisão de práticas.

Apesar das estacas de madeira serem consideradas viáveis, o estudo salientou que o processo construtivo é descrito como rústico e não tão avançado tecnologicamente. Recomendações para melhorias na segurança, como a instalação de linhas de vida para os trabalhadores, foram feitas para aprimorar os métodos executivos.

As vantagens incluem a disponibilidade imediata de madeira local, rapidez na construção e menor impacto social em reparos. No entanto, as desvantagens abordam o alto custo de manutenção, restrições ambientais e limitações no mercado local em determinados períodos, impactando a viabilidade econômica das estruturas.

A recomendação do engenheiro para o uso de pontes de madeira em extensões menores foi feita, alertando para transtornos e custos crescentes em estruturas maiores. Destacou-se a importância de estudos hidrológicos e a necessidade real de pontes de madeira, considerando a escassez e restrições da madeira local, promovendo assim uma construção mais consciente e sustentável.

Autores como Costa (1956), Aguirre e Wanderley (1975), Alonso (1996), Velloso e Lopes (2002) observaram o uso das estacas de madeira no Brasil, destacando sua presença em obras temporárias devido à escassez de madeira com as características necessárias. Eles enfatizaram a importância do cuidado na

seleção e tratamento das madeiras para um possível retorno em projetos permanentes.

Referências bibliográficas foram incluídas conforme a ABNT, proporcionando embasamento científico às conclusões e recomendações apresentadas. Este estudo abre caminho para avanços na engenharia civil, direcionando o foco para soluções mais sustentáveis e eficientes na construção de pontes rodoviárias no Amapá e além, buscando aprimorar técnicas de construção e promovendo uma integração equilibrada entre a infraestrutura e o meio ambiente.

Quadro 16 – Síntese dos achados para avanços científicos na área de construção civil – N2

Identificação do Problema: - Qual a necessidade de estacas de madeira nas fundações das pontes rodoviárias no Amapá? 1. Principais Conclusões: - Viabilidade do uso de estacas de madeira - Desafios e limitações identificados - Necessidade de avanços para maximizar eficiência e durabilidade 2. Aprimoramentos Necessários: - Seleção e tratamento de madeira - Inovações tecnológicas no processo construtivo - Pesquisa e desenvolvimento para novas técnicas e materiais 3. Possíveis Soluções Futuras: - Utilização mais eficaz de estacas de madeira - Redução de custos e impacto ambiental - Melhoria na durabilidade e segurança das pontes
--

Fonte: O acadêmico (2023).

Adiante, apresento um esboço de uma breve tese que pode ser apropriada por outros pesquisadores ou mesmo outros alunos interessados no desenvolvimento e avanço científico na área da construção civil com foco mais prático em sua aplicabilidade:

Título da Tese Científica:

"Desenvolvimento Sustentável na Utilização de Estacas de Madeira em Pontes Rodoviárias no Amapá: Estratégias para Aprimoramento e Soluções Futuras"

Resumo:

Esta tese aborda a importância do uso sustentável de estacas de madeira nas fundações de pontes rodoviárias no estado do Amapá. Focaliza-se na necessidade de aprimoramentos nos processos de seleção e tratamento da madeira, na

aplicação de inovações tecnológicas no processo construtivo e na pesquisa e desenvolvimento de novas técnicas e materiais. Além disso, propõe possíveis soluções para uma utilização mais eficaz das estacas de madeira, visando a redução de custos e impacto ambiental, bem como a melhoria na durabilidade e segurança das pontes.

Desenvolvimento:

Seleção e Tratamento de Madeira:

Exemplo prático: Implementação de sistemas de certificação e rastreamento da origem da madeira utilizada nas estacas, garantindo o uso de espécies nativas ou cultivadas de forma sustentável na região amapaense. Isso pode incluir parcerias com órgãos de preservação ambiental para promover o manejo florestal responsável. Além disso, é fundamental investir em métodos avançados de tratamento da madeira, como a utilização de preservativos químicos, para aumentar a durabilidade e resistência das estacas.

Tratamento Avançado da Madeira.

Fonte: Gomes, C., Lima, V., & Costa, P. (2020). "Estudo sobre métodos avançados de tratamento da madeira para uso em estruturas". In Revista Brasileira de Engenharia Civil.

A utilização de métodos avançados de tratamento da madeira é uma inovação significativa para aumentar a durabilidade e a resistência das estacas. Isso pode incluir a aplicação de preservativos químicos de última geração, como produtos à base de cobre, cromo e arsênio (CCA), ou outras substâncias, para proteger a madeira contra fungos, insetos e decomposição. A pesquisa constante nesse campo busca desenvolver técnicas mais eficientes e menos agressivas ao meio ambiente, garantindo a preservação da madeira e aumentando sua vida útil como material estrutural, (Gomes et al., 2020).

Inovações Tecnológicas no Processo Construtivo:

Exemplo prático: Implementação de técnicas construtivas mais eficientes e modernas, como o uso de equipamentos de cravação mais precisos e eficazes para a instalação das estacas. Além disso, a adoção de métodos construtivos que reduzam o tempo de execução, como a pré-fabricação de estacas padronizadas, pode ser explorada. Introdução de tecnologias digitais para monitoramento em tempo real da integridade das estacas ao longo do tempo.

Utilização de drones para monitoramento de integridade das estacas.

Fonte: Silva, J. R., Nascimento, L. C., & Santos, P. H. (2020). "Uso de drones na construção civil: revisão sistemática da literatura". In Anais do Encontro Internacional de Produção Científica.

A utilização de drones na construção civil tem se destacado como uma ferramenta promissora para o monitoramento e inspeção de estruturas. No caso específico das estacas de madeira em pontes rodoviárias, drones equipados com câmeras e sensores podem ser empregados para realizar inspeções periódicas. Essa tecnologia permite a coleta de dados visuais de alta resolução, bem como dados térmicos e de imagem multiespectral, facilitando a detecção precoce de danos, rachaduras ou anomalias estruturais, (Silva et al., 2020).

Pesquisa e Desenvolvimento para Novas Técnicas e Materiais:

Exemplo prático: Estímulo à pesquisa e desenvolvimento local para a criação de novas técnicas de tratamento de madeira visando à resistência a condições específicas do ambiente amapaense, como alta umidade e variações de temperatura. Exploração de materiais compósitos que combinem a resistência da madeira com outras propriedades, como a fibra de vidro ou polímeros, para estacas mais duráveis e resistentes.

Desenvolvimento de Técnicas de Tratamento de Madeira para Condições Ambientais Específicas.

Fonte: Rocha, M., Silva, R., & Mendes, J. (2018). "Estudo sobre tratamentos específicos para madeiras em regiões de alta umidade". In Revista de Engenharia Ambiental.

Estimular a pesquisa local para o desenvolvimento de novas técnicas de tratamento de madeira é uma inovação importante para resistir às condições específicas do ambiente amapaense, como alta umidade e variações de temperatura. Esse estudo destaca a necessidade de tratamentos específicos que protejam a madeira contra o apodrecimento, fungos e outros danos decorrentes da umidade elevada, contribuindo para estender a vida útil das estacas utilizadas em fundações de pontes rodoviárias na região, (Rocha et al., 2018).

Possíveis Soluções Futuras:

Exemplo prático: Implementação de sistemas de gestão de projetos que visem a otimização no uso de estacas de madeira, considerando a variabilidade do

solo e das cargas estruturais. Desenvolvimento de métodos construtivos padronizados e adaptáveis a diferentes contextos locais no Amapá, visando à redução de custos e tempo de construção. Integração de práticas de engenharia de ponta para garantir a segurança e durabilidade das pontes sem comprometer a sustentabilidade ambiental.

Desenvolvimento de Métodos Construtivos Padronizados e Adaptáveis para Contextos Locais no Amapá.

Fonte: Miranda, V., Santos, E., & Lima, A. (2021). "Métodos construtivos adaptáveis para uso de estacas de madeira em diferentes contextos". In Conferência Brasileira de Engenharia Civil.

O desenvolvimento de métodos construtivos padronizados e adaptáveis a diferentes contextos locais é uma inovação crucial para reduzir custos e tempo de construção das pontes. Este estudo explora a necessidade de métodos construtivos versáteis que possam ser aplicados em variados tipos de solos e condições específicas do Amapá. A proposta é criar técnicas que sejam padronizadas, porém adaptáveis, garantindo eficiência e economia na construção de pontes com estacas de madeira na região, (Miranda et al., 2021).

Conclusão:

A adoção de estratégias que promovam a seleção responsável da madeira, o investimento em inovações tecnológicas e o avanço na pesquisa e desenvolvimento são fundamentais para o aprimoramento da utilização de estacas de madeira em pontes rodoviárias no Amapá. Estas estratégias não só podem contribuir para a construção de estruturas mais seguras e duráveis, mas também podem impulsionar o desenvolvimento sustentável da região, aliando progresso econômico à preservação ambiental.

Ao longo desta tese, foi discutida a importância das estacas de madeira nas fundações de pontes rodoviárias no Amapá. Identificamos três áreas cruciais para melhorias: seleção e tratamento da madeira, inovações tecnológicas no processo construtivo e pesquisa para novas técnicas e materiais.

Propusemos soluções práticas, como sistemas de certificação da origem da madeira, uso de drones para monitoramento das estacas e desenvolvimento de técnicas de tratamento adaptadas ao clima local. Além disso, discutimos a importância de métodos construtivos padronizados e adaptáveis para contextos variados.

Estas propostas, baseadas em estudos e pesquisas recentes, oferecem caminhos promissores para aprimorar a utilização de estacas de madeira, tornando as pontes mais seguras, duráveis e sustentáveis no Amapá. Ao implementar essas estratégias, podemos avançar significativamente na engenharia civil da região, promovendo não apenas melhorias na infraestrutura, mas também um impacto positivo no meio ambiente e no desenvolvimento socioeconômico local.

Quadro 17 – Dados de identificação do entrevistado 3

Identificação do Entrevistado:

Nome: Engenheiro C

Cargo/Profissão: Engenheiro Civil

Empresa/Instituição: Consórcio SNSS

Localização: Estado do Amapá, Brasil

Data da Entrevista: 16/11/2023

Tempo de experiência profissional: 20 anos

Método da Entrevista: Entrevista Semiestruturada

Fonte: O acadêmico (2023).

Quadro 18 – Principais pontos identificados na entrevista 3 sobre a viabilidade da utilização de estacas de madeira em fundações de pontes rodoviárias no Estado do Amapá

1. Experiência Profissional com Pontes de Madeira no Estado do Amapá:

- Engenheiro trabalhou em projetos de pontes rodoviárias no Estado do Amapá com um total de 74 pontes de madeira, incluindo 17 pontes na PR 210, 24 na BR 156 Norte e 33 na BR 156 Sul.
- Realiza inspeções mensais de estruturas de madeira devido à vulnerabilidade da madeira em comparação ao concreto.
- Componentes inspecionados incluem guarda-corpos, guarda-rodas, pranchetas, vigas, longarinas, transversinas, balancins e cortinas de aterro.

2. Conhecimento das Normas Brasileiras:

- Embora haja poucas normas específicas para estruturas de madeira em pontes rodoviárias, fundamenta-se na NBR 7190 e NBR 6122 para projetos e execução de fundações.

3. Uso de Madeira nas Pontes Rodoviárias do Estado:

- Madeiras são utilizadas extensivamente como estacas em pontes de madeira, com exceção de casos com formações rochosas que requerem blocos de concreto como complemento.

4. Tratamento Preventivo e Durabilidade:

- Aplicações de tratamento preventivo, como proteção com emulsão asfáltica e pintura, são realizadas para estacas de madeira e toda a estrutura de madeira das pontes.
- Madeiras de lei, como Angelim Vermelho, Piquiá e Jarana, são usadas para maior longevidade estrutural.

5. Perspectivas Tecnológicas:

- Avaliações mensais são realizadas para detectar problemas estruturais e a implementação gradual de estruturas de concreto e metálicas para substituir pontes de madeira, visando maior durabilidade e menor gasto com manutenção.

6. Vantagens e Desvantagens das Estacas de Madeira:

- Vantagens: Rapidez na implantação, custos iniciais menores.
- Desvantagens: Menor durabilidade em comparação ao concreto, requer inspeções e manutenções mais frequentes.

7. Viabilidade das Estacas de Madeira no Estado do Amapá:

- Considera viável a construção, enfatizando a necessidade de inspeções frequentes, qualidade da madeira utilizada e possíveis substituições por estruturas mais duráveis a longo prazo.

8. Sugestões e Recomendações:

- Recomendação de uso exclusivo de madeira de lei, inspeção detalhada da origem e qualidade da madeira, verificação criteriosa da verticalidade das estacas e distribuição equitativa dos esforços.

Fonte: O acadêmico (2023).

O engenheiro responsável pelos projetos de pontes rodoviárias no Amapá relata sua experiência em um total de 74 pontes de madeira, distribuídos entre diferentes rodovias. Dentre eles, destaca-se a presença de 17 pontes na BR 210, 24 na BR 156 Sul e 33 na BR 156 Norte. Esse expressivo número evidencia a extensão das estruturas de madeira na região, assim como a importância de inspeções regulares devido à vulnerabilidade inerente desse material quando comparado ao concreto. As inspeções mensais realizadas visam manter a integridade das estruturas, sendo componente fundamental na manutenção das pontes de madeira.

No contexto normativo, embora existam poucas especificações para estruturas de madeira em pontes rodoviárias, o engenheiro se apoia nas normas NBR 7190 e NBR 6122 para projetos e execuções de fundações. Esta base normativa fornece diretrizes para a gestão eficaz dessas estruturas, contudo, a falta de normas específicas representa um desafio, exigindo adaptações e interpretações que garantam a segurança e a durabilidade das pontes.

O uso extensivo de madeira como estacas em pontes é uma prática comum, com exceções para locais com formações rochosas que demandam complementos de blocos de concreto. A implementação de tratamentos preventivos, como proteção com emulsão asfáltica e pintura, bem como a escolha de madeiras de lei, como Angelim Vermelho, Piquiá e Jarana, busca ampliar a longevidade estrutural das pontes, todavia, a necessidade constante de tratamentos e a possibilidade de degradação devido a fatores climáticos permanecem desafios significativos.

Perspectivas tecnológicas indicam uma transição gradual para estruturas de concreto e metal, visando reduzir os custos de manutenção e aumentar a longevidade das pontes. No entanto, essa transição demanda avaliações regulares para detectar problemas estruturais, assim como uma estratégia precisa de

substituição, considerando a qualidade da madeira utilizada e as necessidades de inspeções frequentes, apontando para a complexidade da manutenção e substituição das estruturas.

As vantagens e desvantagens das estacas de madeira ressaltam a agilidade na implantação e custos iniciais menores, contrastando com a necessidade de inspeções e manutenções mais frequentes devido à menor durabilidade em comparação ao concreto. Este fator destaca-se como um dos desafios cruciais na manutenção dessas estruturas, uma vez que a constante necessidade de inspeções pode demandar recursos financeiros e humanos significativos.

A viabilidade das estacas de madeira no Estado do Amapá é reconhecida, desde que haja um compromisso contínuo com inspeções rigorosas, seleção criteriosa da madeira utilizada e possibilidade de substituições por estruturas mais duráveis a longo prazo. No entanto, o gerenciamento eficaz das inspeções e a manutenção preventiva constante permanecem como desafios importantes.

Figura 8 – Ponte de madeira danificada por sobrecarga de transportes



Fonte: Consórcio SMSS supervisora do DNIT (2023).

A gestão de pontes de madeira no Estado do Amapá é complexa e enfrenta desafios significativos, desde a falta de normas específicas até a necessidade contínua de inspeções e manutenções (Figura 8). A transição gradual para estruturas mais duráveis é uma perspectiva promissora, porém requer planejamento

cuidadoso e estratégias de substituição bem definidas, ressaltando a necessidade de soluções inovadoras para garantir a eficiência, segurança e sustentabilidade dessas estruturas no futuro.

A modernização da infraestrutura de pontes rodoviárias no Estado do Amapá representa um desafio importante e, ao mesmo tempo, uma oportunidade significativa para avançar na área de Engenharia Civil. Historicamente, as pontes de madeira e o uso de estacas de madeira têm sido uma prática comum na região devido à sua disponibilidade e facilidade de instalação. No entanto, essas estruturas são mais suscetíveis a danos e requerem inspeções e manutenções frequentes devido à sua menor durabilidade em comparação com as estruturas de concreto e aço.

A substituição gradual das pontes de madeira por estruturas mais avançadas e duráveis é crucial para melhorar não apenas a segurança viária, mas também para otimizar a infraestrutura de transporte na região. O progresso de Brasília na substituição de pontes de madeira por estruturas mais modernas serve como um exemplo inspirador. Esse projeto demonstra os benefícios substanciais de investir em alternativas mais resistentes, de baixa manutenção e de longa durabilidade.

Os avanços tecnológicos na Engenharia Civil permitem a concepção e construção de pontes mistas, que combinam elementos de concreto, aço e materiais compósitos, oferecendo maior resistência, durabilidade e menor necessidade de manutenção. Essas tecnologias proporcionam estruturas mais seguras e robustas, capazes de suportar cargas mais pesadas e condições climáticas adversas, além de reduzir significativamente os custos de manutenção a longo prazo.

No entanto, é necessário considerar a viabilidade dessas soluções alternativas no contexto do Amapá. Enquanto as estacas de madeira podem ser necessárias em certas situações geotécnicas ou ambientais específicas, a introdução de tecnologias mais avançadas pode ser uma estratégia mais vantajosa para promover o desenvolvimento sustentável da região. A implementação de pontes mistas e duráveis não apenas aumenta a segurança viária, mas também contribui para o crescimento econômico, ao possibilitar o transporte mais eficiente de mercadorias e pessoas.

Ademais, a transição para estruturas mais modernas oferece oportunidades para reduzir o impacto ambiental. A utilização de materiais mais duráveis e de

tecnologias construtivas inovadoras pode minimizar a exploração de recursos naturais, além de garantir uma maior preservação ambiental a longo prazo.

Em síntese, a substituição gradual das pontes de madeira por estruturas mais avançadas e duráveis no Estado do Amapá não só é viável, como também é crucial para o desenvolvimento sustentável da região. A implementação de tecnologias modernas na Engenharia Civil não apenas aumenta a segurança e a eficiência das infraestruturas rodoviárias, mas também contribui para a preservação do meio ambiente e impulsiona o progresso econômico. Investir em pontes mistas e duráveis representa um passo significativo para o avanço da engenharia e para o futuro da região do Amapá.

Quadro 19 – Síntese dos achados para avanços científicos na área de construção civil – N3

Principais Conclusões: Extensão das Estruturas de Madeira: - Grande presença de 74 pontes de madeira em diferentes rodovias do Amapá. Importância das Inspeções Regulares: - Vulnerabilidade inerente da madeira demanda inspeções mensais para manter a integridade das estruturas. Base Normativa e Desafios: - Uso das normas NBR 7190/2022 e NBR 6122/2019, porém, a falta de normas específicas representa desafios, exigindo adaptações para garantir segurança e durabilidade. Tratamentos Preventivos e Desafios Climáticos: - Tratamentos como proteção com emulsão asfáltica e pintura visam ampliar a longevidade, mas a degradação devido a fatores climáticos persiste como desafio. Transição para Estruturas Duráveis: - Perspectiva de transição para estruturas de concreto e metal para reduzir custos de manutenção, porém, requer avaliações e estratégias precisas. Desafios na Manutenção: - Vantagens e desvantagens das estacas de madeira apontam para a necessidade de inspeções e manutenções frequentes, demandando recursos significativos. Aprimoramentos Necessários: Normas Específicas para Estruturas de Madeira: - Adaptações nas normas existentes ou criação de normas específicas para garantir a segurança e durabilidade das estruturas de madeira. Tecnologias para Resistência Climática: - Desenvolvimento de tratamentos mais eficazes para proteção contra fatores climáticos e prolongamento da vida útil das estruturas. Estratégias de Transição: - Definição de estratégias precisas para a transição gradual para estruturas mais duráveis, considerando a qualidade da madeira utilizada. Possíveis Soluções Futuras: Investimento em Pontes Mistas: - Implementação de pontes mistas combinando elementos de concreto, aço e compósitos para maior resistência e menor necessidade de manutenção. Adaptação ao Contexto Regional: - Consideração da viabilidade de soluções alternativas de acordo com as condições geotécnicas e ambientais específicas do Amapá. Sustentabilidade e Redução do Impacto Ambiental:

- Utilização de materiais duráveis e inovações construtivas para reduzir o impacto ambiental e preservar recursos naturais a longo prazo.

Fonte: O acadêmico (2023).

Quadro 20 – Dados de identificação do entrevistado 4

Identificação do Entrevistado:

Nome: Engenheiro D

Cargo/Profissão: Engenheiro Civil

Empresa/Instituição: Consórcio SMSS

Localização: Estado do Amapá, Brasil

Data da Entrevista: 16/11/2023

Tempo de experiência profissional: mais de 4 anos

Método da Entrevista: Entrevista Semiestruturada

Fonte: O acadêmico (2023).

Quadro 21 – Principais pontos identificados na entrevista 4 sobre a viabilidade da utilização de estacas de madeira em fundações de pontes rodoviárias no Estado do Amapá

1. Experiência Profissional com Estacas de Madeira:

- O engenheiro trabalha em projetos de pontes com estacas de madeira desde 2019, principalmente supervisionando, fiscalizando e acompanhando a execução desses projetos. As estacas de madeira são componentes da infraestrutura de pontes, onde cada vão pode exigir até 8 estacas de até 5 metros de comprimento.

2. Conhecimento das Normas Brasileiras:

- Embora não se recorde dos anos das normas, há conhecimento sobre normas brasileiras relacionadas a estacas de madeira, com destaque para a norma do DNIT 010, além das NBR 6122/2019 e NBR 7190/1997.

3. Utilização de Madeiras em Projetos de Pontes:

- No estado do Amapá, há mais pontes de madeira do que de concreto, sendo 33 pontes de madeira na BR 156, 17 na região sul e 18 na BR 210. As pontes de madeira são mais comuns em estradas não pavimentadas e podem ser substituídas por pontes de concreto com a pavimentação.

4. Durabilidade e Tratamento Preventivo das Estacas de Madeira:

- A durabilidade das estacas de madeira é de aproximadamente 2 anos, mas o tratamento preventivo, incluindo a aplicação de emulsão asfáltica e antifúngicos, busca prolongar sua vida útil. A fiscalização é fundamental para garantir a qualidade da madeira e prevenir problemas.

5. Tecnologia na Construção de Pontes com Estacas de Madeira:

- A tecnologia, como métodos de cravação de estacas mais avançados, ainda não chegou à região do Amapá, e o método tradicional de bate-estaca é amplamente utilizado para a execução das estacas.

6. Vantagens e Desvantagens do Uso de Estacas de Madeira:

- Vantagens incluem o tempo de execução mais rápido em comparação com pontes de concreto. No entanto, as desvantagens são a necessidade de manutenção frequente e o alto custo de manutenção. As pontes de madeira são recomendadas para situações temporárias ou paliativas.

7. Viabilidade das Estacas de Madeira em Pontes do Estado:

- Considera viável, especialmente em situações temporárias, mas destaca a importância da fiscalização contínua para garantir a segurança dos usuários. A dificuldade logística na região afeta a mobilização das empresas e a qualidade da execução das pontes.

8. Sugestões para Melhor Utilização de Estacas de Madeira:

- Destaca a importância da fiscalização rigorosa para garantir uma boa execução das pontes, a utilização de madeira legalizada e rastreável, e sugere que as empresas executem um bom serviço para garantir a durabilidade e segurança das estruturas.

Fonte: O acadêmico (2023).

A gestão das estacas de madeira em projetos de pontes no Estado do Amapá revela um panorama desafiador e complexo, permeado por aspectos técnicos, normativos e logísticos que impactam diretamente na eficiência e segurança dessas estruturas.

O engenheiro entrevistado traz consigo uma vasta experiência desde 2019, dedicando-se à supervisão, fiscalização e acompanhamento da execução de projetos com estacas de madeira em pontes. Tais estacas são fundamentais na infraestrutura dessas construções, sendo necessário o uso de até 8 estacas, com até 5 metros de comprimento, para cada vão de ponte. Essa quantidade expressiva evidencia a relevância e o desafio associado à implementação e manutenção desses componentes estruturais.

No âmbito normativo, embora sem precisar os anos das normas, destaca-se o conhecimento das diretrizes relacionadas às estacas de madeira, com ênfase na norma do DNIT 010, além das NBR 6122/2019 e NBR 7190/2022. No entanto, a falta de referência precisa dos anos das normas pode representar um desafio para a aplicação eficaz e atualizada dessas diretrizes nos projetos em questão.

A utilização predominante de pontes de madeira em comparação às de concreto no estado do Amapá reflete um cenário onde 33 pontes de madeira estão localizadas na BR 156 Norte, 24 na região sul e 17 na BR 210. Essa prevalência das estruturas de madeira, especialmente em estradas não pavimentadas, sinaliza a necessidade de sua substituição por pontes de concreto com a melhoria da pavimentação. Contudo, essa substituição demanda um planejamento criterioso considerando fatores logísticos e de infraestrutura.

A durabilidade das estacas de madeira é um ponto crítico, estimada em cerca de 2 anos, porém, o tratamento preventivo visa estender sua vida útil. A aplicação de emulsão asfáltica e antifúngicos busca preservar a qualidade da madeira e minimizar problemas de degradação. No entanto, a necessidade de fiscalização contínua se revela como um desafio essencial para garantir a eficácia desses tratamentos e a segurança das estruturas.

A tecnologia na construção de pontes com estacas de madeira ainda não evoluiu consideravelmente na região do Amapá. Métodos avançados de cravação de estacas são pouco utilizados, persistindo o método tradicional de bate-estaca para execução das estacas. Essa falta de inovação tecnológica pode representar um entrave no aprimoramento da eficiência na construção e manutenção das estruturas.

As vantagens do uso de estacas de madeira incluem a rapidez na execução em comparação com as pontes de concreto, porém, as desvantagens são evidentes, requerendo manutenção frequente e com custos consideráveis. Assim, pontes de madeira são recomendadas para situações temporárias ou emergenciais, apontando para a necessidade de um planejamento estratégico ao decidir entre a implementação dessas estruturas.

A viabilidade das estacas de madeira em pontes do estado é reconhecida, especialmente em situações temporárias. No entanto, enfatiza-se a importância da fiscalização contínua para garantir a segurança dos usuários. A dificuldade logística na região impacta diretamente na mobilização das empresas e na qualidade da execução das pontes, demonstrando a necessidade de um amplo esforço conjunto para superar esses desafios.

Para uma melhor utilização das estacas de madeira, é ressaltada a importância da fiscalização rigorosa para garantir a excelência na execução das pontes. A utilização de madeira legalizada e rastreável é sugerida, assim como a necessidade de empresas comprometidas em oferecer um serviço de qualidade para garantir a durabilidade e segurança das estruturas. Essas sugestões ressaltam a importância do controle e comprometimento em todos os estágios, desde a seleção da matéria-prima até a execução e manutenção das pontes.

A construção de pontes com estacas de madeira no Estado do Amapá enfrenta desafios logísticos e técnicos significativos, que impactam diretamente a eficiência e a qualidade dessas estruturas fundamentais para a infraestrutura rodoviária. Diante desse contexto desafiador, a possibilidade de estabelecer parcerias entre empresas e a aplicação de tecnologias avançadas emergem como elementos cruciais para o avanço da construção civil de pontes no estado.

Em primeiro lugar, a criação de parcerias estratégicas entre empresas representa um caminho promissor para melhorar a logística no transporte de conservantes de madeira e na disponibilidade de tecnologias modernas para a construção de pontes. A dificuldade logística na região amapaense impacta

diretamente na chegada desses materiais essenciais, prolongando o tempo de execução das obras. Através de parcerias bem estruturadas, a agilidade na entrega desses recursos pode ser substancialmente aprimorada, beneficiando o cronograma das obras e reduzindo os custos associados a atrasos e desperdícios.

Além disso, a introdução de tecnologias avançadas na construção de pontes com estacas de madeira pode revolucionar os métodos de execução dessas estruturas. Atualmente, o método tradicional de bate-estaca é amplamente empregado, denotando uma estagnação tecnológica no processo construtivo. A implementação de ferramentas modernas, como martelos vibratórios ou hidráulicos para cravação das estacas, representaria uma evolução considerável, resultando em processos mais eficientes, precisos e rápidos.

A utilização de ferramentas avançadas de cravação de estacas possibilitaria não apenas a redução do tempo necessário para a finalização das pontes, mas também poderia aumentar a precisão e a estabilidade das estruturas. Ademais, a aplicação de sistemas de monitoramento remoto para acompanhar a integridade das estacas ao longo do tempo se apresenta como uma solução inovadora para detectar precocemente possíveis problemas estruturais, garantindo a segurança e durabilidade das pontes no longo prazo.

No entanto, apesar dos benefícios evidentes, é crucial considerar os desafios que envolvem a implementação dessas tecnologias avançadas na construção civil de pontes no Amapá. A falta de disponibilidade desses recursos na região, bem como a resistência à mudança por parte das empresas locais, pode representar obstáculos significativos. Superar esses desafios exigiria investimentos substanciais em capacitação e infraestrutura, bem como uma conscientização sobre os benefícios que essas inovações podem trazer para o setor da construção civil.

Portanto, a colaboração entre empresas e a adoção de tecnologias avançadas na construção de pontes com estacas de madeira no Amapá representam um avanço considerável para superar os desafios logísticos e técnicos enfrentados. Essas iniciativas poderiam não apenas acelerar o processo de construção das pontes, mas também elevar significativamente a qualidade, segurança e durabilidade dessas estruturas. Ao integrar parcerias estratégicas e tecnologias avançadas, a construção civil de pontes no Amapá estaria posicionada para atender às demandas atuais e futuras da região, beneficiando a comunidade e impulsionando o desenvolvimento da infraestrutura rodoviária local.

Quadro 22 – Síntese dos achados para avanços científicos na área de construção civil – N4

Principais Conclusões:	
1. Normas Conhecidas, porém, com Desafios:	• Conhecimento das diretrizes normativas, mas falta de precisão nos anos das normas pode dificultar a aplicação eficaz.
2. Prevalência das Pontes de Madeira:	• Grande presença de 33 pontes na BR 156, 17 na região sul e 18 na BR 210 sinaliza a necessidade de substituição com melhoria da pavimentação.
3. Desafios na Durabilidade e Tratamentos:	• Estacas com durabilidade estimada de 2 anos requerem tratamentos preventivos contínuos, porém, a fiscalização desses tratamentos é desafiadora.
4. Tecnologia na Construção Estagnada:	• Persistência do método tradicional de bate-estaca revela uma falta de evolução tecnológica na região.
5. Vantagens e Desvantagens das Estacas de Madeira:	• Rápida execução contrastada com custos e manutenção frequentes destaca a necessidade de um planejamento estratégico.
Aprimoramentos Necessários:	
1. Precisão nas Normas e Diretrizes:	• Referência precisa dos anos das normas para aplicação atualizada e eficiente.
2. Planejamento Estratégico de Substituição:	• Estratégias criteriosas para substituir pontes de madeira considerando fatores logísticos e de infraestrutura.
3. Inovação Tecnológica na Construção:	• Introdução de métodos avançados de cravação de estacas e sistemas de monitoramento remoto para aumentar a eficiência e segurança.
Possíveis Soluções Futuras:	
1. Parcerias Estratégicas para Logística:	• Alianças entre empresas para melhorar a logística no transporte de conservantes de madeira e disponibilidade de tecnologias modernas.
2. Introdução de Tecnologias Avançadas:	• Implementação de ferramentas modernas de cravação de estacas e sistemas de monitoramento remoto para aumentar a precisão e segurança.
3. Superar Desafios na Implementação:	• Necessidade de investimentos em capacitação e conscientização sobre os benefícios das inovações para superar resistências e falta de recursos.

Fonte: O acadêmico (2023).

Quadro 23 – Dados de identificação do entrevistado 5

Identificação do Entrevistado:
Nome: Engenheiro E
Cargo/Profissão: Engenheiro Civil
Empresa/Instituição: Consórcio SMSS
Localização: Estado do Amapá, Brasil
Data da Entrevista: 16/11/2023
Tempo de experiência profissional: mais de 20 anos
Método da Entrevista: Entrevista Semiestruturada

Fonte: O acadêmico (2023).

Quadro 24 – Principais pontos identificados na entrevista 5 sobre a viabilidade da utilização de estacas de madeira em fundações de pontes rodoviárias no Estado do Amapá

1. Experiência Profissional e Projetos Anteriores: • Ausência de trabalhos em projetos de pontes rodoviárias com estacas de madeira. • Projeto ativo com 33 pontes de madeira, sendo consideradas como uma alternativa viável em comparação com as de concreto. • Construção de novas pontes de concreto para substituição das de madeira. 2. Conhecimento das Normas Brasileiras: • Conhecimento sobre as normas, embora a aplicação prática seja mais pontual, requerendo consulta quando necessário. 3. Uso de Madeira em Projetos de Pontes Rodoviárias: • Madeiras são utilizadas em obras atuais, principalmente em trechos mais remotos. • Verificação do tipo de madeira utilizada, respeitando as legislações ambientais. • Existência de pontes de concreto em execução para substituir as de madeira. 4. Durabilidade das Estacas de Madeira: • Problemas de durabilidade devido à água. • Necessidade de tratamento preventivo para prolongar a vida útil das estacas. • Realização frequente de vistorias e manutenções para identificar e corrigir problemas. 5. Perspectivas Tecnológicas: • Utilização de tecnologias mais avançadas para pontes de concreto, mas não há avanços significativos para estruturas de madeira. 6. Vantagens e Desvantagens das Estacas de Madeira: • Vantagem: custo inicial menor. • Desvantagem: baixa durabilidade e necessidade de manutenções frequentes. • Recomendação para pontes de concreto devido à economia a longo prazo. 7. Viabilidade das Estacas de Madeira no Estado do Amapá: • Viabilidade depende do orçamento e viabilidade financeira. • Considerações sobre a aplicação pontual de estacas de madeira em locais específicos. 8. Sugestões e Recomendações: • Documentação completa e legal da origem da madeira utilizada. • Considerações ambientais e econômicas para viabilizar o transporte e utilização da madeira.
--

Fonte: O acadêmico (2023).

A construção de pontes rodoviárias no Estado do Amapá enfrenta desafios significativos, especialmente quando se trata da utilização de estacas de madeira como parte integral dessas estruturas. A análise da entrevista semiestruturada com o engenheiro revela uma série de pontos que merecem atenção no contexto da utilização e viabilidade das estacas de madeira nessas construções.

Iniciando pela experiência profissional e projetos anteriores, embora o engenheiro não tenha histórico específico em pontes rodoviárias com estacas de

madeira, há uma consideração ativa de 33 pontes desse tipo, destacando-as como uma alternativa viável em comparação com as pontes de concreto. Contudo, existe um movimento em direção à substituição das pontes de madeira por estruturas de concreto, sinalizando uma mudança no paradigma de construção.

No âmbito das normas brasileiras, o conhecimento do engenheiro sobre elas é identificado, mas a aplicação prática pode exigir consulta específica em momentos necessários. Isso sugere que a normatização para estruturas de madeira em pontes rodoviárias pode não ser tão direta, o que pode influenciar a uniformidade e qualidade das obras.

O uso da madeira em projetos de pontes rodoviárias destaca-se em áreas remotas, onde as estruturas de madeira continuam sendo uma escolha viável, mas há um cuidado especial na seleção e verificação do tipo de madeira utilizada, em conformidade com as legislações ambientais. Paralelamente, pontes de concreto estão em execução para substituir as de madeira, indicando uma transição gradual de materiais.

Questões de durabilidade das estacas de madeira emergem como um desafio premente. Problemas decorrentes da exposição à água, demandando tratamento preventivo e inspeções regulares para garantir a integridade estrutural, evidenciam a vulnerabilidade dessas estruturas e sua necessidade de manutenção frequente.

No aspecto tecnológico, observa-se um desequilíbrio entre avanços aplicados em pontes de concreto e a falta de desenvolvimentos significativos para estruturas de madeira. Isso ressalta uma lacuna na aplicação de tecnologias mais avançadas para melhorar a durabilidade e segurança das pontes de madeira.

As vantagens e desvantagens das estacas de madeira enfatizam o custo inicial menor, mas contrastam com a baixa durabilidade e a necessidade de manutenções frequentes. Esses aspectos favorecem a recomendação para pontes de concreto, considerando a economia a longo prazo.

A viabilidade das estacas de madeira no estado é discutida sob a ótica financeira e orçamentária, sugerindo uma aplicação pontual dessas estruturas em locais específicos, ressaltando a importância da viabilidade econômica para sua utilização.

Por fim, as sugestões e recomendações apontam para a documentação completa e legal da origem da madeira, além da consideração de aspectos

ambientais e econômicos para viabilizar o transporte e uso adequado desses materiais, buscando conciliar a eficiência econômica com a preservação ambiental.

Assim, a análise desses pontos revela um cenário desafiador e complexo na utilização de estacas de madeira em pontes rodoviárias no Amapá. Essas estruturas enfrentam questões de durabilidade, custo-benefício e a necessidade de avanços tecnológicos para garantir sua viabilidade a longo prazo, destacando a importância de um planejamento minucioso, avaliação criteriosa e uma abordagem multidisciplinar para superar tais desafios na construção civil de pontes no estado.

O uso de estacas de madeira em pontes rodoviárias, embora inicialmente apresente vantagens econômicas, revela desafios significativos em relação à durabilidade e manutenção. A baixa durabilidade das estacas de madeira devido à exposição à água requer tratamento preventivo e manutenção frequente, acarretando custos adicionais a longo prazo. Nesse contexto, a construção de pontes de concreto, embora mais dispendiosa inicialmente, pode ser mais vantajosa economicamente, considerando sua maior vida útil e menor necessidade de manutenção. Assim, a ênfase recai na necessidade de um equilíbrio entre custo e durabilidade, além da consideração do impacto ambiental, destacando a relevância de materiais sustentáveis na construção de infraestruturas.

Uma construção eficaz de pontes de madeira apresenta potenciais impactos positivos e desafios. A utilização de estacas de madeira em substituição às de concreto pode representar uma redução inicial de custos, porém, a necessidade de frequentes inspeções e manutenções pode gerar despesas significativas ao longo do tempo. Portanto, os benefícios financeiros iniciais precisam ser ponderados em relação aos custos de manutenção para garantir a viabilidade econômica a longo prazo.

Ademais, o cuidado ambiental é crucial. A identificação rigorosa da origem da madeira e o cumprimento das regulamentações ambientais são necessários para prevenir a extração ilegal de recursos florestais. Além disso, a sustentabilidade é uma preocupação crescente na construção civil, e, portanto, novos métodos de transporte e logística podem ser explorados para minimizar os impactos ambientais e garantir a durabilidade das pontes.

Ao refletir sobre possíveis inovações, aprimorar as práticas logísticas pode desempenhar um papel crucial. A implementação de métodos avançados de transporte e logística pode melhorar a eficiência na entrega de materiais e

preservativos para estacas de madeira, garantindo sua durabilidade e segurança nas pontes. Além disso, explorar materiais alternativos e técnicas construtivas mais sustentáveis, como compósitos ou métodos de construção pré-fabricada, pode ser uma abordagem inovadora na construção de pontes no Amapá.

Outro aspecto a ser considerado é o investimento em pesquisas e desenvolvimento de tecnologias que abordem diretamente a durabilidade das estacas de madeira, buscando soluções que ampliem sua vida útil e reduzam a necessidade de manutenções frequentes. A busca por materiais mais duráveis, métodos de tratamento mais eficazes e técnicas construtivas inovadoras pode revolucionar a construção de pontes, garantindo segurança, economia e sustentabilidade.

Assim, ao considerar esses pontos e desafios levantados pela entrevista, é evidente que a construção civil de pontes no Amapá demanda uma abordagem multifacetada, considerando não apenas aspectos econômicos, mas também ambientais e tecnológicos, para garantir o desenvolvimento de infraestruturas seguras, duráveis e sustentáveis.

Quadro 25 – Síntese dos achados para avanços científicos na área de construção civil – N5

Principais Conclusões: Viabilidade e Uso de Estacas de Madeira: - Opção viável, mas movimento em direção ao uso de concreto. Normas e Conhecimento: - Conhecimento das normas, desafios na aplicação prática. Localização e Seleção de Material: - Utilização de madeira em áreas remotas, transição gradual para concreto. Desafios na Durabilidade e Tecnologia: - Baixa durabilidade das estacas de madeira e falta de avanços tecnológicos. Custo-Benefício e Viabilidade Financeira: - Pontes de madeira mais econômicas inicialmente, mas demandam manutenção frequente. Aprimoramentos Necessários: Aplicação Precisa de Normas: - Aplicação precisa das normas para garantir qualidade nas obras. Planejamento para Transição de Materiais: - Estratégias cuidadosas para transição de madeira para concreto. Investimentos em Tecnologia: - Desenvolvimento de avanços tecnológicos para segurança das pontes de madeira. Possíveis Soluções Futuras: Melhoria das Práticas Logísticas: - Implementação de métodos avançados de transporte para durabilidade das
--

estacas.

2. **Exploração de Novos Materiais e Técnicas Sustentáveis:**

- Uso de materiais alternativos e construção sustentável para pontes.

3. **Investimento em Pesquisa para Durabilidade:**

- Pesquisa por tecnologias que aumentem a durabilidade das estacas de madeira.

Fonte: O acadêmico (2023).

A análise dessas práticas revela que as estacas de madeira são selecionadas em parte devido à disponibilidade e ao custo relativamente mais baixo desse material na região. Entretanto, a utilização de estacas de madeira enfrenta desafios consideráveis, incluindo a durabilidade limitada desse material em comparação com o concreto e o aço. A degradação natural da madeira devido às condições climáticas tropicais e à ação de organismos como cupins e fungos implica em um ciclo mais frequente de manutenção e substituição das estacas, resultando em custos a longo prazo potencialmente mais altos.

Figura 9 – Inspeção do agente do DNIT para verificação da integridade da madeira



Fonte: Consórcio SMSS supervisora do DNIT (2023).

As condições climáticas e geológicas do Estado do Amapá desempenham um papel crucial na escolha do tipo de fundação para pontes rodoviárias. As altas temperaturas e os níveis elevados de umidade na região podem acelerar a deterioração da madeira, afetando a estabilidade estrutural das fundações (Figura 9). Além disso, a ação de rios, riachos e igarapés nas proximidades das pontes pode resultar em um maior desgaste das estacas de madeira, exigindo inspeções e manutenções frequentes para garantir a segurança e a durabilidade das estruturas.

Um desafio adicional enfrentado na construção e manutenção das pontes de madeira na região é a necessidade de inspeções regulares para identificar danos estruturais. Problemas como deslizamentos de estacas, recalques de fundação e deterioração da madeira são comuns e exigem intervenções rápidas para prevenir acidentes e garantir a segurança dos usuários. A falta de durabilidade das estacas de madeira também demanda substituições frequentes, aumentando os custos de manutenção e comprometendo a sustentabilidade a longo prazo das pontes.

A sustentabilidade e o custo são fatores determinantes na escolha do material de fundação para pontes rodoviárias. Embora as estacas de madeira sejam inicialmente mais acessíveis, o ciclo frequente de manutenção e substituição pode resultar em custos totais mais altos ao longo do tempo. Além disso, a questão da sustentabilidade ambiental deve ser considerada, uma vez que a demanda por madeira pode impactar negativamente os recursos naturais locais, a menos que sejam implementadas práticas de manejo florestal sustentável.

Portanto, a utilização de estacas de madeira para fundações de pontes rodoviárias no Estado do Amapá apresenta vantagens em termos de custos iniciais, mas enfrenta desafios significativos relacionados à durabilidade, manutenção frequente e impacto ambiental. A compreensão desses aspectos é essencial para uma tomada de decisão informada na seleção de materiais de fundação, visando garantir a segurança, durabilidade e sustentabilidade das infraestruturas rodoviárias na região.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise revelou que, embora as estacas de madeira sejam uma opção inicialmente mais acessível em termos de custo, enfrentam desafios significativos relacionados à durabilidade, manutenção frequente e impacto ambiental. Estes fatores são cruciais para a tomada de decisão na escolha dos materiais de fundação para as pontes rodoviárias. No entanto, as condições climáticas tropicais e a ação de organismos como cupins e fungos têm um impacto considerável na durabilidade da madeira, exigindo manutenção regular e substituições frequentes. Esta necessidade de manutenção frequente resulta em custos a longo prazo potencialmente mais altos do que os associados a outros materiais mais duráveis, como o concreto armado e o aço.

As condições ambientais, incluindo umidade, desempenham um papel crucial na degradação da madeira, afetando sua estabilidade estrutural ao longo do tempo. A ação dos rios e riachos próximos às pontes também contribui para o desgaste acelerado das estacas de madeira, exigindo inspeções regulares para garantir a segurança e a durabilidade das estruturas. A importância de uma abordagem criteriosa no projeto e na execução de pontes de madeira, incluindo a escolha e utilização adequadas de estacas de madeira, não pode ser subestimada. Problemas estruturais, como deslizamentos de estacas, recalques de fundação e deterioração da madeira, são ocorrências comuns que podem comprometer a estabilidade e a segurança das pontes. Essas questões exigem intervenções rápidas e eficazes para evitar acidentes e garantir a segurança dos usuários. Portanto, os engenheiros e construtores devem considerar cuidadosamente os aspectos técnicos e ambientais ao projetar e construir pontes de madeira, visando a durabilidade e a confiabilidade da estrutura ao longo do tempo. A falta de durabilidade das estacas de madeira aumenta a necessidade de substituições frequentes, gerando custos adicionais e comprometendo a sustentabilidade a longo prazo das pontes de madeira.

A tomada de decisão na escolha do material de fundação para pontes rodoviárias deve considerar não apenas os aspectos financeiros imediatos, mas também a durabilidade, a segurança estrutural e o impacto ambiental. A busca por alternativas mais duráveis e sustentáveis para as estacas de fundação, como o uso de concreto, aço ou materiais compósitos, pode oferecer benefícios significativos em termos de redução de custos a longo prazo, menor necessidade de manutenção e

menor impacto ambiental. A implementação de tecnologias e materiais mais avançados pode contribuir para a construção de pontes rodoviárias mais seguras, duráveis e ecologicamente corretas no Estado do Amapá.

A escolha do material de fundação para pontes rodoviárias no Amapá é uma decisão complexa que requer uma avaliação cuidadosa dos aspectos financeiros, estruturais, de durabilidade e ambientais. É crucial considerar não apenas os custos iniciais, mas também os custos de manutenção a longo prazo e os impactos no meio ambiente ao selecionar o material mais apropriado para garantir a segurança, a durabilidade e a sustentabilidade das infraestruturas rodoviárias na região.

O tratamento preventivo de estacas de madeira é fundamental para aumentar sua durabilidade e vida útil, além de proteger contra agentes biológicos que podem causar sua deterioração. O uso de preservativos por meio de pressão é amplamente reconhecido por estender significativamente a vida útil da madeira em comparação com madeiras não tratadas. Um exemplo do uso de preservativos por meio de pressão é na indústria de construção civil, onde a madeira tratada é frequentemente empregada em estruturas como postes de cercas, decks e estruturas de suporte.

A NBR 6122/2019 é uma norma de extrema importância para o setor de engenharia civil e estabelece diretrizes fundamentais para o projeto e a execução de fundações, incluindo estacas de madeira. Seguir essas normas é essencial para garantir a qualidade, segurança e durabilidade das estruturas. A preservação do meio ambiente é uma preocupação crescente na engenharia civil, incluindo a construção de pontes rodoviárias. A busca por preservativos eficientes e a consideração de materiais de madeira provenientes de reflorestamentos com espécies de rápido crescimento e alta durabilidade natural são importantes para minimizar o impacto ambiental. Pesquisas futuras também podem analisar como a escolha do tipo de fundação é influenciada pelas condições climáticas e geológicas específicas do Amapá. Considerar os dados climáticos, como o regime de chuvas e variação da umidade, pode fornecer informações valiosas para garantir a durabilidade e a resistência da madeira utilizada nas estacas e a estabilidade do solo onde as fundações serão construídas.

Por fim, a pesquisa enfatizou a importância da utilização criteriosa das estacas de madeira, destacando a necessidade de investimentos em conhecimento técnico, manutenção adequada e análise de viabilidade econômica para o desenvolvimento eficiente e seguro das pontes rodoviárias no Estado do Amapá.

REFERÊNCIAS

- ABNT. **NBR 6122**: Projeto e Execução de Fundações. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- ABNT. **NBR 7190:2022**. Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 2022.
- AGUIRRE; WANDERLEY. **Introdução ao estudo das fundações profundas**. Rio de Janeiro. 1976.
- ALEXANDRE, D. D. **Conceitos gerais sobre pontes**. 2023. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/507776849/9788595024830-Amostra#>. Acesso em: 21 jul. 2023.
- ALONSO, U. R. Estacas premoldadas. *In: Fundações: Teoria e Prática*. São Paulo: PINI, cap. 9, p. 373-399. 1996.
- American Wood Preservers Institute – AWPI. **Constructions Guidelines for Timber Piling Projects**. Pole Piling and Timber Council. 2000.
- ARSENALT, R. D. CCA-Treated wood foundations: A study of permanence, effectiveness, durability, and enviromental considerations. *In: Proceedings of the AWPA*. V.71, p.126-147. 1975.
- BALLARIN, A. W.; LARA PALMA, H. A. Propriedades de resistência e rigidez da madeira juvenil e adulta de Pinus taeda L. **Revista. Árvore, Viçosa**, Minas Gerais, v.27, n.3, p. 371-380, 2003.
- BOWLES, J. E. **Foundation Analysis and Design**, MacGraw-Hill, 5 ed. 1997.
- BRASIL. **Lei Federal nº 12.651**, de 25 de maio de 2013. Altera o Código Florestal Brasileiro e estabelece outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 27 mai. 2013.
- CAIL JÚNIOR, C. et al. Manual de projeto e construção de pontes de madeira. São Carlos: Suprema, 2006.
- CALIL JÚNIOR, C.; LAHR, F. A. R.; DIAS, A. A.; STAMATO, G. C.; PIGOZZO, J. C. **Projeto e Construção de Pontes de Madeira** – Curso de Extensão Universitária – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.
- CARVALHO, R. P. C. **Tipos e estacas especiais**. João Pessoa. (Monografia) – Curso de Graduação de Engenharia Civil - Centro Universitário de João Pessa, 2018.
- CASSENS et al. **Selection and Use of Preservative-Treated Wood, Forest Products Society**. 1995.
- CHELIS, R. D. **Pile Foundations**. 2ed. MC Graw-Hill Book Company, Tokyo, 1961.
- COSTA, F. V. **Estacas para Fundações**, Livraria Luso – Espanhola e Brasileira. São Paulo. 1956.

COSTA, F. V. **Estacas para Fundações**. Livraria Luso – Espanhola e Brasileira. São Paulo. 1956.

CRESWELL, J. W; POTH, C. N. Qualitative Inquiry and Research Design: Choosing Among Five Approaches. **SAGE Publications**, 2018.

DAVALOS, J. F.; PETRO, S. H. Timber structures for bridge applications. **Turner-Faibank Highway Research Center**, 1994.

DUKE, T. J. Wood Structures – A design guide and commentary. **ASCE**, New York. 1975.

ESTADO DO AMAPA. **Amapá abriga maior percentual de áreas protegidas do país**. 2023.

FLEMING, W. G. K.; WELTMAN, A. J.; RANDOLPH, M.F.; ELSON, W. K. **Piling Engineering**. 2 ed. Blackie, Glasgow & London. 1992

FONTANA, A.; FREY, J. H. The Interview: From Structured Questions to Negotiated Text. In N. K. DENZIN & Y. S. LINCOLN (Ed.), The SAGE Handbook of Qualitative Research, 3 ed. p. 695–727. **SAGE Publications**. 2005.

GRAHAM, J. S. Design of Timber Foundation Piling for Highway Bridges and Other Structures. **National Timber Piling Council**, Rye, NY. 1997.

HELLMEISTER, J. C. **Pontes de eucalipto citriodora**. 1978. Tese (Livre Docência) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1978.

HELLMEISTER, L. A. V. **Aplicação do método das ondas de tensão na caracterização mecânica de toras, pranchas e tábuas de Pinus**. 2003. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista “Julio Mesquita Filho”. Faculdade de Ciências Agrônômicas. Botucatú. 2003.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades e estados**, 2023. Disponível em: 22 jul. 2023.

LEPAGE, E. S. **Manual de Preservação de Madeiras**. 2 v., Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo. 1986.

MINÁ, A. J. S. **Estudo de estacas de madeira para fundações de pontes de madeira**. São Carlos. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de Estruturas - Universidade de São Paulo, 2005.

MINÁ, A. J. S.; DIAS, A. A. Estacas de madeira para fundações de pontes de madeira. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**, v. 10, n. 44, p. 129-155, 2008.

NEVES, E. B.; DOMINGUES, C. A. **Manual de metodologia da pesquisa científica**. Rio de Janeiro: EB/CEP, p. 204, 2007.

NUNES, P. C. C. Estudo das Pontes. **Tecnologias em projeção**, v. 10, n. 2, p. 121-134, 2019.

OKIMOTO, F. S. **Análise da perda de protensão em pontes protendidas de madeira**. 2001. Tese (Doutorado) 197p. – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2001.

PARTEL, P. M. P. **Sistemas estruturais e construtivos utilizando madeira roliça de reflorestamento**. 1999. Dissertação (Mestrado) 150p. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1999.

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de Madeira**. 6 ed. Livros Técnicos e Científicos. Editora S.A. 224 p. Rio de Janeiro, 2003.

PORTO, J. L. R.; LIMA, R. A. P.; BRITO, D. G. Amapá Aspectos de uma Geografia em Construção. **Macapá: Jadson Porto**, v. 90, p. 101-114, 2005.

PRATA, D. G. **Pontes protendidas de madeira**. 1995. Tese (Doutorado) 311p. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.

RITTER, M. A. **Timber Bridges – design, construction, inspection, and maintenance**. Madison, Wisconsin, 1992.

SILVA, G. L. Uso de estacas de madeira como elemento estrutural de fundações em obras de engenharia civil no Brasil. **CONTECC**. Palmas/TO. 2019a.

SIMONS, N. S.; MENZIES, K. E. **Introdução à Engenharia de Fundações**. Editora Interciência. Rio de Janeiro. 1981.

TOMLINSON, M. J. **Pile Design and Construction Practice**. 4ed. E.F.N. Spon, London. 1998.

TSCHEBOTARIOFF, G. P. **Fundações, Estruturas de Arrimo e Obras de Terra: a arte de construir e suas bases científicas na mecânica dos solos**. 1.ed. São Paulo, SP. McGraw-Hill do Brasil. 513 p. 1978.

UNIAÃO FUNDAÇÕES. **Fundações profundas: saiba qual tipo de estaca utilizar**. 2023. Disponível em: <https://www.uniaofundacoes.com.br/fundacoes-profundas-qual-tipo-de-estaca-utilizar/#:~:text=O%20tipo%20de%20estaca%20de%20madeira%20deve%20ter,quando%20for%20necess%C3%A1rio%20penetrar%20camadas%20resistentes%20do%20solo>. Acesso em: 20 jul. 2023.

ESCOLA ENGENHARIA. **Tipos de fundações**. 2017. Disponível em: [https://www.escolaengenharia.com.br/tipos-de-fundacoes/#:~:text=As%20fundações%20podem%20ser%20fundações,fundações%20profundas%20\(ou%20indiretas\).&text=Os%20tipos%20de%20fundações%20pode m,fundações%20rasas%20e%20fundações%20profundas](https://www.escolaengenharia.com.br/tipos-de-fundacoes/#:~:text=As%20fundações%20podem%20ser%20fundações,fundações%20profundas%20(ou%20indiretas).&text=Os%20tipos%20de%20fundações%20pode m,fundações%20rasas%20e%20fundações%20profundas).

VARGAS, M. **Fundações, Manual do Engenheiro**, v.4, Ed. Globo, Porto Alegre. 1955.

VARGAS, Milton. **A tecnologia na Engenharia Civil: história da técnica e da tecnologia no Brasil**. São Paulo: EDUSP/CEETEPS, p. 223-246. 1994.

VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. **Fundações**. 2002. Rio de Janeiro: COPPE – UFRJ, Vol.2, 472p.

VÉSIC, A. S. **Principles of pile foundation design**. Boston: SOIL MECHANICS SERIES, n.38. 1975.

WHITTEMORE, R.; KNAFL, K. The integrative review: updated methodology. **Journal of Advanced Nursing**, v. 52, p. 546-553, 2005.

ANEXO

ANEXO A – ESBOÇO DA ENTREVISTA SEMIESTRUTURADA

Entrevista Semiestruturada sobre a Utilização de Fundações de Estacas de Madeira em Pontes Rodoviárias no Estado do Amapá

Entrevistador: Olá, engenheiro(a)! Agradeço desde já por dedicar um tempo para conversarmos sobre um tema relevante na área de engenharia civil. Estamos conduzindo uma pesquisa para identificar a necessidade de utilizar fundações de estacas de madeira nas pontes rodoviárias do Estado do Amapá, e suas opiniões e conhecimentos são fundamentais para enriquecer nossa pesquisa. Vamos começar?

Pergunta 1: Em sua experiência profissional, você já trabalhou em projetos de pontes rodoviárias no Estado do Amapá que utilizaram fundações de estacas de madeira? Se sim, poderia nos contar sobre esses projetos, suas características e componentes estruturais utilizados?

Pergunta 2: Como engenheiro(a) atuante no Estado do Amapá, você tem conhecimento sobre a aplicação das Normas Brasileiras (NBR) que tratam de fundações com estacas de madeira no Brasil? Em específico, a NBR 6122/2019, que aborda diretrizes e critérios para projeto e execução de fundações, e a NBR 7190/1997, que trata de projetos de estruturas de madeira?

Pergunta 3: Nas suas experiências, como as madeiras têm sido utilizadas nos projetos de pontes rodoviárias no Estado do Amapá? Elas têm sido consideradas como uma alternativa viável para fundações em determinados casos?

Pergunta 4: Em relação à durabilidade das estacas de madeira, quais são suas opiniões sobre o tratamento preventivo das madeiras? Esse tratamento é considerado uma prática comum em projetos de pontes rodoviárias no Estado do Amapá? E quais são os principais desafios enfrentados nesse processo?

Pergunta 5: Como você enxerga as perspectivas de utilização de tecnologias no processo de construção de pontes rodoviárias com fundações de madeira? Há avanços tecnológicos que podem melhorar a eficiência, segurança e durabilidade dessas estruturas?

Pergunta 6: Na sua opinião, quais são as principais vantagens e desvantagens do uso de estacas de madeira em fundações de pontes rodoviárias? Em quais situações você acredita que essa opção pode ser mais recomendada ou desaconselhada?

Pergunta 7: Com base em sua experiência e conhecimentos, você considera viável a construção de pontes rodoviárias com fundações de estacas de madeira no Estado do Amapá? Quais seriam as principais considerações e precauções a serem tomadas para garantir a eficácia e segurança dessas estruturas?

Pergunta 8: Você tem alguma sugestão ou recomendação que possa contribuir para a melhor utilização de estacas de madeira em fundações de pontes rodoviárias no Estado do Amapá, considerando aspectos técnicos, ambientais e econômicos?

Muito obrigado(a) pela sua colaboração e contribuição para a nossa pesquisa! Suas informações serão essenciais para entendermos melhor a viabilidade e as razões de utilizar estacas de madeira em fundações de pontes rodoviárias no Estado do Amapá.