



CENTRO DE ESTUDOS SUPERIORES DE ITAITUBA LTDA
FACULDADE DE ITAITUBA – FAI
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

GABRIEL BATISTA DE ALMEIDA OLIVEIRA

**ANÁLISE TÉCNICA LEVANDO EM CONSIDERAÇÃO AS MANIFESTAÇÕES
PATOLOGICAS DE UMA PONTE RODOVIÁRIA EM MADEIRA NO MUNICÍPIO DE
ITAITUBA – PA**

Itaituba – PA

2026

GABRIEL BATISTA DE ALMEIDA OLIVEIRA

**ANÁLISE TÉCNICA LEVANDO EM CONSIDERAÇÃO AS MANIFESTAÇÕES
PATOLOGICAS DE UMA PONTE RODOVIÁRIA EM MADEIRA NO MUNICÍPIO DE
ITAITUBA – PA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Itaituba para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Esp. Wesley Aguiar Pinto

Itaituba – PA

2026

OLIVEIRA, Gabriel Batista de Almeida

Análise técnica levando em consideração as manifestações patológicas de uma ponte rodoviária em madeira no município de Itaituba – pa/ OLIVEIRA, Gabriel Batista de Almeida. Itaituba: FAI, 2026.

60 f.

Orientador: Prof. Esp. Wesley Aguiar Pinto

Trabalho de Conclusão de Curso Graduação em Bacharelado de Engenharia Civil – Faculdade de Itaituba, 2026.

1. Engenharia Civil. 2. Ponte rodoviária. 3. Concreto armado. 4 Estruturas de madeira I. OLIVEIRA, Gabriel Batista de Almeida. II. Faculdade de Itaituba. Itaituba, BR – PA, 2026.

GABRIEL BATISTA DE ALMEIDA OLIVEIRA

**ANÁLISE TÉCNICA LEVANDO EM CONSIDERAÇÃO AS MANIFESTAÇÕES
PATOLOGICAS DE UMA PONTE RODOVIÁRIA EM MADEIRA NO MUNICÍPIO DE
ITAITUBA – PA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Itaituba para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Esp. Wesley Aguiar Pinto

BANCA EXAMINADORA

Orientador: _____ Nota: _____
Prof. Esp. Wesley Aguiar Pinto

Avaliado1r(a): _____ Nota: _____
Prof. _____, _____

Avaliador(a): _____ Nota: _____
Prof. _____, _____

Resultado: _____ Média: _____

Itaituba/PA, ____ de abril de 2026

Dedico este trabalho, primeiramente, ao esforço, à disciplina e à perseverança que me sustentaram ao longo de toda a trajetória acadêmica. De maneira especial, dedico também à minha família, que sempre acreditou em meu potencial e ofereceu apoio incondicional em todos os momentos dessa caminhada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, inicialmente, a todas as pessoas que contribuíram, direta ou indiretamente, para que eu alcançasse a conclusão desta etapa acadêmica. O percurso até aqui exigiu constância, organização e maturidade, e foi profundamente marcado pelo apoio recebido em diferentes momentos, seja por meio de incentivo, escuta, orientação prática ou simplesmente pela presença que fortalece nos períodos mais exigentes.

Agradeço, de modo especial, à minha família, pelo suporte emocional, pela compreensão diante das ausências e pelo incentivo contínuo, mesmo quando o cansaço e a sobrecarga pareciam tornar o caminho mais difícil. O apoio familiar foi essencial para manter o foco, a disciplina e a confiança necessários para seguir adiante.

Registro também meu agradecimento às pessoas que, ao longo do processo, colaboraram com sugestões, diálogos, revisões e esclarecimentos, contribuindo para o aprimoramento do trabalho. Reconheço a importância de cada orientação técnica e metodológica recebida, que auxiliou na construção de uma pesquisa mais organizada, coerente e alinhada aos objetivos propostos.

Agradeço ainda a todos que fizeram parte da minha trajetória de formação, nos ambientes acadêmicos e profissionais, pois cada experiência agregou aprendizados que se refletiram na elaboração deste estudo. Por fim, agradeço a mim mesmo, pela persistência e pelo compromisso em concluir esta produção com responsabilidade, seriedade e dedicação, reafirmando a importância do esforço contínuo na realização de metas acadêmicas e pessoais.

RESUMO

O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado “Análise Técnica Levando Em Consideração As Manifestações Patológicas De Uma Ponte Rodoviária Em Madeira No Município De Itaituba – PA” tem como objetivo geral analisar as condições estruturais de uma ponte rodoviária em madeira localizada no km 7 da Rodovia Transamazônica, no município de Itaituba, Pará, considerando aspectos estruturais, ambientais e normativos associados ao seu estado de degradação. A pesquisa se justifica pela relevância da segurança viária e pela necessidade de avaliação técnica de estruturas de madeira submetidas a solicitações crescentes de tráfego e a condições ambientais adversas, comuns à região amazônica. Trata-se de um estudo de caso, de natureza aplicada, com abordagem qualitativa, caráter exploratório e descritivo, desenvolvido por meio de revisão bibliográfica, inspeções visuais, levantamento fotográfico e análise técnica estrutural. A coleta de dados incluiu registros *in loco* do tabuleiro, da superestrutura, da mesoestrutura, dos acessos e do entorno da travessia, com sistematização das informações por meio de ficha de observação técnica. Os resultados evidenciaram uma estrutura com problemas de degradação estrutural, caracterizado por, fissuração e desgaste das pranchas, com vão entre as pista sem sinalização na faixa de rolamento, escurecimento superficial da madeira, ausência de proteção dos elementos estruturais e processos erosivos no entorno dos apoios e acessos. A análise frente às solicitações atuantes indicou limitação funcional e estrutural da ponte em madeira, com perda de previsibilidade do comportamento estrutural e risco à segurança do tráfego rodoviário. Com base nos resultados obtidos e nos critérios normativos aplicáveis, propôs-se a substituição da estrutura existente por uma ponte rodoviária em concreto armado, concebida com vão único de aproximadamente 31 metros, superestrutura em concreto armado, mesoestrutura posicionada junto às margens e fundações profundas em estacas. A solução proposta visa restabelecer a continuidade do caminho de cargas, aumentar a rigidez global, reduzir a sensibilidade às ações ambientais e garantir desempenho estrutural e segurança compatíveis com as exigências normativas vigentes.

Palavras-chave: Ponte rodoviária. Estruturas de madeira. Avaliação estrutural. Concreto armado. Segurança viária.

ABSTRACT

The Course Completion Paper entitled “Technical Analysis Considering the Pathological Manifestations of a Wooden Road Bridge in the Municipality of Itaituba – PA” has the general objective of analyzing the structural conditions of a wooden highway bridge located at km 7 of the Trans-Amazonian Highway, in the municipality of Itaituba, Pará, considering structural, environmental, and regulatory aspects associated with its state of deterioration. The research is justified by the relevance of road safety and by the need for a technical assessment of timber structures subjected to increasing traffic demands and adverse environmental conditions, which are common in the Amazon region. This is a case study of an applied nature, with a qualitative approach and an exploratory and descriptive character, developed through a literature review, visual inspections, photographic survey, and technical structural analysis. Data collection included on-site records of the deck, superstructure, substructure, approaches, and the surrounding area of the crossing, with information systematized through a technical observation form. The results showed a structure with structural deterioration problems, characterized by cracking and wear of the planks, absence of planks in the traffic lane, surface darkening of the wood, lack of protection of structural elements, and erosive processes around the supports and approaches. The analysis in light of the acting demands indicated functional and structural limitations of the timber bridge, with loss of predictability of structural behavior and risk to road traffic safety. Based on the results obtained and the applicable regulatory criteria, the replacement of the existing structure was proposed with a reinforced concrete highway bridge, designed with a single span of approximately 31 meters, a reinforced concrete superstructure, substructure positioned near the riverbanks, and deep foundations on piles. The proposed solution aims to restore the continuity of the load path, increase overall stiffness, reduce sensitivity to environmental actions, and ensure structural performance and safety compatible with current regulatory requirements.

Keywords: Highway bridge. Timber structures. Structural assessment. Reinforced concrete. Road safety.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ponte sobre o Arroio - Walla em Dartmoor, Inglaterra	13
Figura 2 - Ponte de Alcântara, Alcântara, Espanha	14
Figura 3 – Ironbridge, Shropshire, Grã-Bretanha	15
Figura 4 – Vista geral de uma ponte, mostrando os principais elementos constituintes.	16
Figura 5- Disposição dos principais elementos constituintes de uma ponte.	18
Figura 6– Denominação dos elementos relativos à seção longitudinal	19
Figura 7- Denominação e tamanho dos elementos relativos à seção transversal	21
Figura 8- Pons Suubilicus 621 d.C.	23
Figura 9– Caesar’s Bridge.	24
Figura 10 – Ponte de madeira "Colossus of Fairmount"	26
Figura 11- Madeira lamelada colada (MLC).	27
Figura 12 - Madeira Laminada Cruzada (MLC).	28
Figura 13- Eixos principais da madeira em relação à direção das fibras.	30
Figura 14- Tabuleiros compostos por madeira–betão em vigas em T e em laje	32
Figura 15 – Ataque na madeira por bactérias e fungos	35
Figura 16 – tipo de empenamento e deformações em peças de madeira	36
Figura 17 – manifestação patológica de fissuras na madeira	37
Figura 18 – Estrutura de uma ponte em concreto armado	39
Figura 19- Ponte KM7 município de Itaituba.	42
Figura 20- Proposta de solução estrutural em concreto armado	47
Figura 21- Ponte rodoviária em concreto armado com vão único	48
Figura 22- Mesoestrutura da ponte de madeira	49
Figura 23- Tabuleiro de madeira com descontinuidade	50
Figura 24- Tabuleiro e guarda corpo	50
Figura 25- Ruptura do tabuleiro da ponte do Itapacurá, em Itaituba	51
Figura 26- Proposta de solução estrutural em concreto armado	57
Figura 27- Ponte rodoviária em concreto armado com vão único	57
Figura 28- Vista ponte rodoviária em concreto armado	58

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2.1 PONTES RODOVIÁRIAS: CONCEITOS E TIPOLOGIAS ESTRUTURAIS	12
2.1.1 Evolução histórica da construção de pontes	13
2.1.2 Conceito de ponte rodoviária e elementos estruturais constituintes	15
2.1.3 Classificação das pontes quanto ao sistema estrutural e material empregado ...	20
2.2 PONTES EM MADEIRA: COMPORTAMENTO ESTRUTURAL E FATORES DE DEGRADAÇÃO	22
2.2.1 Evolução histórica da construção de pontes em madeira	23
2.2.2 Características estruturais das pontes em madeira e comportamento mecânico do material	28
2.2.3 Fatores estruturais e ambientais associados à degradação de pontes em madeira	33
2.2.4 Tipos de manifestações patológicas da madeira	35
2.3 PONTE EM CONCRETO ARMADO COMO SOLUÇÃO ESTRUTURAL: CRITÉRIOS NORMATIVOS E DIRETRIZES DE DIMENSIONAMENTO	37
3 METODOLOGIA	41
3.1 TIPO DE ESTUDO	41
3.2 INSTRUMENTO E COLETA DE DADOS	42
3.3 INSPEÇÕES VISUAIS	44
4 RESULTADO E DISCUSSÃO	45
4.1 CONDIÇÕES ESTRUTURAIS E AMBIENTAIS	47
4.2 Solicitações atuantes	53
4.3 Proposição de alternativa em concreto armado	55
5 Conclusão	60
REFERÊNCIAS	62

1 INTRODUÇÃO

O Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) tem como título: “Análise técnica levando em consideração as manifestações patológicas de uma ponte rodoviária em madeira no município de Itaituba – pa”. Este estudo tem como objetivo analisar as condições estruturais de uma ponte rodoviária em madeira localizada no município de Itaituba, considerando seus aspectos construtivos, estruturais e ambientais, bem como propor uma solução estrutural em concreto armado, fundamentada em critérios técnicos e normativos, visando garantir segurança, desempenho e durabilidade da obra.

O objetivo geral desta pesquisa é analisar as condições estruturais de uma ponte rodoviária em madeira localizada no município de Itaituba, PA. Como objetivos específicos, o estudo busca: (1) Identificar as patologias, os fatores estruturais e as ações ambientais associados ao estado de degradação da ponte; (2) Registrar, caracterizar e avaliar as patologias e as condições estruturais da ponte, a partir da análise dos seus elementos estruturais e dos esforços solicitantes; e (3) Propor uma solução estrutural em concreto armado, com base nas patologias identificadas, na análise realizada e nos critérios normativos aplicáveis.

A justificativa para a realização deste estudo fundamenta-se na relevância social, econômica e técnica das pontes rodoviárias para o município de Itaituba, especialmente em áreas vinculadas à Rodovia Transamazônica, que desempenha papel estratégico na integração regional. A existência de uma ponte em madeira com sinais evidentes de degradação estrutural, associada a processos erosivos em seu entorno, representa risco à segurança dos usuários e limita a funcionalidade da via. Nesse contexto, a análise estrutural da ponte existente e a proposição de uma solução em concreto armado configuram-se como alternativas viáveis para ampliar a vida útil da travessia e reduzir os riscos associados à sua utilização.

Diante desse contexto, esta pesquisa buscou responder aos seguintes questionamentos: (1) quais são os principais fatores estruturais e ambientais associados ao estado de degradação da ponte localizada no município de Itaituba, PA? (2) como se apresentam as condições estruturais da ponte de madeira frente às solicitações atuantes? e (3) qual solução estrutural em concreto armado pode ser

adotada para garantir desempenho e segurança adequados, conforme as exigências normativas vigentes?

Este estudo se caracteriza como uma pesquisa de campo, associada à análise técnica e normativa. A metodologia adotada compreende a realização de vistoria in loco, registros fotográficos da estrutura e do entorno, caracterização construtiva e geométrica da ponte existente, bem como a análise dos elementos estruturais e das solicitações atuantes. A partir dos dados levantados, procede-se à proposição de uma solução estrutural em concreto armado, fundamentada nas normas técnicas aplicáveis.

No que se refere ao referencial teórico, a pesquisa se fundamenta em estudos relacionados à análise estrutural de pontes, à degradação de estruturas de madeira expostas a ambientes agressivos e aos critérios normativos para o dimensionamento e a verificação de estruturas em concreto armado, com base em contribuições consolidadas da literatura especializada. De acordo com Carnaúba (2017), Fernandes e Correia (2017), Araújo et al. (2025), Cheung et al. (2017), Milani e Kripka (2012), Pardinho e Moreira (2024) e Stefani et al. (2016), a avaliação técnica das obras de arte especiais constitui etapa essencial para subsidiar decisões relacionadas à manutenção, ao reforço ou à substituição de estruturas, assegurando condições adequadas de segurança, desempenho estrutural e durabilidade ao longo de sua vida útil.

O presente estudo está estruturado em cinco capítulos principais. No capítulo 1, Introdução, são apresentados o contexto do problema, os objetivos, a justificativa e os questionamentos da pesquisa. O capítulo 2, Fundamentação Teórica, aborda conceitos relacionados às pontes rodoviárias, às estruturas em madeira e ao concreto armado. No capítulo 3, Metodologia, são descritos os procedimentos adotados para a coleta e análise dos dados. O capítulo 4, Resultados e Discussão, apresenta os resultados obtidos e a proposta de solução estrutural. Por fim, no capítulo 5, Conclusão, são sintetizadas as principais considerações do estudo e apresentadas as conclusões finais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Pontes rodoviárias: Conceitos e tipologias estruturais

As pontes rodoviárias assumem papel estratégico na organização territorial e no funcionamento dos sistemas de transporte, constituindo elementos essenciais para a integração espacial, a mobilidade segura e o desenvolvimento socioeconômico das regiões onde se inserem. A análise desses sistemas estruturais exige uma abordagem técnica que considere simultaneamente aspectos conceituais, tipológicos e funcionais, permitindo compreender a lógica estrutural que fundamenta sua concepção e desempenho ao longo do tempo.

No campo da engenharia estrutural, a literatura técnica evidencia que a compreensão das pontes rodoviárias passa pela análise integrada de seus conceitos fundamentais e de sua organização estrutural, destacando a importância da divisão em superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura para o entendimento do comportamento global da obra. Nesse sentido, Carnáuba (2017) ressalta que essa organização hierárquica permite interpretar corretamente o caminho das cargas, a interação entre os elementos estruturais e os critérios de segurança e funcionalidade que orientam o projeto dessas estruturas.

Além do conceito estrutural, a classificação das pontes segundo suas tipologias resistentes constitui elemento central para a compreensão de seu comportamento mecânico, uma vez que diferentes sistemas estruturais respondem de forma distinta às ações atuantes. Fernandes e Correia (2017) demonstram que a escolha entre pontes em vigas, arcos, treliças, estaiadas ou suspensas está diretamente associada às condições geométricas do vão, aos materiais empregados e às exigências funcionais da via, influenciando o desempenho estrutural e a viabilidade técnica da solução adotada.

Dessa forma, o estudo dos conceitos e das tipologias estruturais das pontes rodoviárias constitui etapa fundamental para a compreensão das decisões técnicas envolvidas em sua concepção e dimensionamento. A partir dessa base teórica, torna-se possível analisar de maneira consistente os sistemas estruturais, os materiais empregados e os critérios que orientam a escolha das soluções adotadas nas obras de travessia rodoviária.

2.1.1 Evolução histórica da construção de pontes

A construção de pontes constitui uma das manifestações mais antigas da engenharia, associada à necessidade de transpor obstáculos naturais e assegurar a continuidade dos deslocamentos humanos. Ao longo do tempo, essas estruturas evoluíram acompanhando o avanço das técnicas construtivas, a diversificação dos materiais e as crescentes demandas de mobilidade e integração territorial.

Costa (2017) aponta que as primeiras pontes derivaram de soluções naturais, como troncos e materiais acumulados sobre cursos d'água, permitindo a superação de barreiras físicas em contextos primitivos. Com o desenvolvimento das sociedades, essas estruturas passaram a desempenhar papel estratégico nas vias de comunicação, conectando regiões separadas por rios e vales.

A análise histórica demonstra que a evolução das pontes resulta de um processo articulado às necessidades sociais e territoriais de cada período, envolvendo o aperfeiçoamento construtivo e a introdução progressiva de novos materiais. Nesse contexto, Costa (2017) ressalta o caráter empírico das primeiras estruturas, compostas por troncos, pedras e fibras naturais, exemplificadas por pontes rudimentares registradas em regiões como Sri Lanka e Inglaterra, ilustradas na imagem a seguir.



Figura 1 - Ponte sobre o Arroio - Walla em Dartmoor, Inglaterra. Fonte: Khouri e Serapião (2015)

No contexto da evolução das pontes, a Figura 1 representa uma solução rudimentar baseada no uso direto de elementos naturais, como blocos de pedra dispostos sobre cursos d'água, evidenciando o caráter empírico das primeiras estruturas, cuja estabilidade dependia do peso próprio e da adaptação ao terreno.

Essas configurações refletem respostas funcionais às necessidades iniciais de deslocamento, marcadas por simplicidade construtiva e baixa sistematização técnica.

Segundo Costa (2017), as primeiras pontes sistematizadas surgiram por volta de 4000 a.C., na Mesopotâmia, destacando-se estruturas em madeira como a Ponte Sublicius. O domínio do arco estrutural, aproximadamente em 3500 a.C., possibilitou o uso da compressão como princípio construtivo por civilizações como sumérios e etruscos, ampliando o emprego de arcos e abóbadas em pontes e galerias.

Khouri e Serapião (2015) destacam que, na Era Romana, houve significativo aperfeiçoamento das pontes em arco, associado ao uso do cimento e ao avanço das técnicas construtivas. Como exemplo emblemático, cita-se a ponte de Alcântara, construída em 104 d.C. sobre o rio Tejo, na Espanha, com seis arcos e cerca de 194 metros de extensão, ilustrada na Figura 2.



Figura 2 - Ponte de Alcântara, Alcântara, Espanha. Fonte: Khouri e Serapião (2015)

Esses registros históricos demonstram que a evolução das pontes está diretamente vinculada ao domínio progressivo dos princípios estruturais, especialmente da compressão, e à capacidade de incorporar novos materiais aos sistemas construtivos. A passagem de estruturas rudimentares para obras monumentais, como as pontes romanas, evidencia um salto qualitativo no conhecimento técnico, no planejamento construtivo e na durabilidade das obras, aspectos que influenciam diretamente a engenharia de pontes até os dias atuais.

Segundo Costa (2017), a Idade Média foi marcada pela diversificação dos arcos, com destaque para os modelos ogivais e góticos, que possibilitaram estruturas mais eficientes e com menor número de pilares, além do surgimento de pontes cobertas com usos militares, comerciais e residenciais. Na Renascença, o aumento do fluxo de pessoas impulsionou a ampliação dos vãos e a introdução do

ferro fundido, destacando-se a Iron Bridge, construída na Grã-Bretanha, conforme a Figura 3.



Figura 3 – Ironbridge, Shropshire, Grã-Bretanha. Fonte: Khouri e Serapião (2015).

A Figura 3 representa a transição para sistemas estruturais mais avançados, associados ao início da engenharia moderna, sendo o uso do ferro fundido um marco tecnológico que permitiu maior leveza estrutural, redução de apoios e ampliação dos vãos. A configuração em arco metálico evidencia o avanço no domínio dos materiais e dos esforços estruturais, vinculando o desenvolvimento das pontes ao progresso industrial.

De modo geral, a evolução das pontes acompanha os avanços técnicos, a inovação nos materiais e as crescentes demandas de mobilidade, refletindo a adaptação contínua das soluções estruturais às exigências funcionais e territoriais. Nesse sentido, as pontes consolidam-se como elementos essenciais para a integração espacial e a segurança dos sistemas de transporte.

2.1.2 Conceito de ponte rodoviária e elementos estruturais constituintes

As pontes rodoviárias se configuram como estruturas de engenharia projetadas para permitir a continuidade das vias de circulação sobre obstáculos naturais ou artificiais, desempenhando função essencial na ligação entre diferentes trechos do sistema viário e garantindo a mobilidade de veículos e usuários. Essas estruturas apresentam organização estrutural complexa, sendo formadas por componentes interdependentes que atuam de maneira integrada para suportar carregamentos permanentes e variáveis e transmiti-los de forma segura ao terreno de fundação.

Sob a ótica da organização estrutural das pontes, Carnaúba (2017), descreve que as pontes rodoviárias são constituídas por sistemas estruturais organizados em infraestrutura, mesoestrutura e superestrutura, sendo cada um responsável por funções específicas dentro do comportamento global da estrutura. Assim, Carnaúba (2017) destaca que a superestrutura compreende elementos diretamente submetidos às cargas do tráfego, como tabuleiro e vigas, enquanto a mesoestrutura é formada por pilares e encontros responsáveis pela transferência dos esforços e a infraestrutura corresponde às fundações que transmitem as cargas ao solo. De acordo com Vitório (2002):

Especificamente, denomina-se ponte a obra de transposição, quando o obstáculo é constituído por água, cabendo-lhe estabelecer a ligação entre duas margens (Vitório, 2002, p. 9).

A organização estrutural das pontes pode ser compreendida a partir da disposição integrada de seus principais componentes, permitindo visualizar a relação entre superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura no comportamento global da obra, tal como mostra a Figura 4.

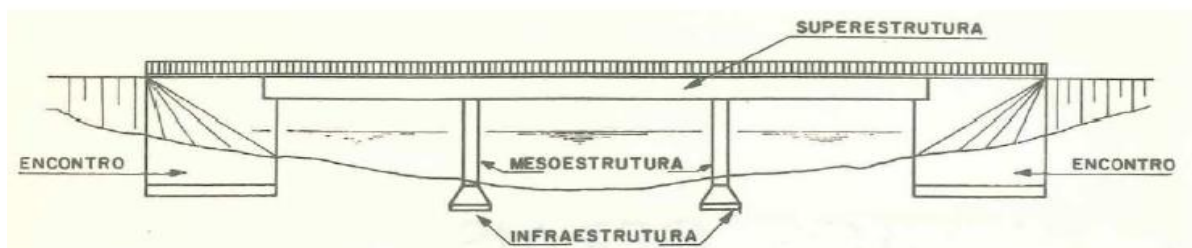


Figura 4 – Vista geral de uma ponte, mostrando os principais elementos constituintes. Fonte: Carnaúba (2017).

A representação apresentada permite compreender a organização hierárquica dos elementos estruturais de uma ponte rodoviária, evidenciando a superestrutura como responsável pela recepção direta das cargas de tráfego, a mesoestrutura como elemento intermediário de transferência dos esforços e a infraestrutura como responsável pela condução final das solicitações ao solo. Essa configuração revela o caráter sistêmico dessas estruturas, nas quais o desempenho global depende da atuação integrada de todos os seus componentes.

Nesse sentido, Milani e Kripka (2012) ressaltam que as pontes rodoviárias devem atender simultaneamente a requisitos de funcionalidade, segurança,

durabilidade, economia e estética, demonstrando que sua concepção estrutural envolve múltiplos critérios técnicos interdependentes. Os autores destacam que o sistema estrutural dessas obras é composto por elementos principais, como lajes, vigas e tabuleiros, articulados a pilares e fundações, responsáveis por assegurar a estabilidade e a resistência estrutural ao longo da vida útil.

A compreensão desse arranjo estrutural está diretamente relacionada ao entendimento do fluxo de cargas ao longo da ponte, desde o ponto de aplicação até o sistema de fundação. Dessa forma, a divisão da estrutura em subsistemas possibilita identificar a função específica de cada elemento e sua contribuição para o comportamento mecânico e a estabilidade global da obra.

Essa lógica estrutural é formalizada pelas diretrizes normativas brasileiras que orientam o dimensionamento e a verificação da segurança das pontes rodoviárias. A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2003), por meio da Norma Brasileira Regulamentadora – NBR 8681, estabelece os princípios gerais para a consideração das ações atuantes nas estruturas, classificando-as em ações permanentes, variáveis e excepcionais, bem como definindo os critérios de combinação necessários para assegurar o desempenho estrutural ao longo da vida útil.

Sob a perspectiva específica das obras de travessia, a ABNT (2021), por meio da NBR 7187, define critérios para o projeto de pontes de concreto armado e protendido, contemplando aspectos relacionados à modelagem estrutural, à análise dos esforços solicitantes e ao dimensionamento dos elementos constituintes. A norma estabelece ainda parâmetros para a verificação da superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura, assegurando comportamento adequado frente às ações do tráfego e às condições ambientais.

Ao tratar do comportamento mecânico dessas estruturas, Costa (2017) afirma que as pontes rodoviárias podem ser compreendidas como sistemas responsáveis pela transferência de esforços por meio de mecanismos resistentes como flexão, compressão e tração, cuja predominância varia conforme o sistema estrutural adotado. Assim, a escolha da tipologia estrutural depende de fatores geométricos, dos materiais empregados, das condições de carregamento e das exigências funcionais da obra.

Em consonância com essa abordagem, Fernandes e Correia (2017) observam que as pontes são classificadas como obras de arte especiais, organizadas a partir da interação entre superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura, sendo esse arranjo essencial para garantir estabilidade e segurança estrutural. Os autores destacam que a superestrutura é composta por vigas longitudinais, transversais e tabuleiro, a mesoestrutura por pilares e apoios intermediários, e a infraestrutura pelas fundações responsáveis pela transferência final das cargas ao solo, consolidando o funcionamento integrado do sistema estrutural da ponte.

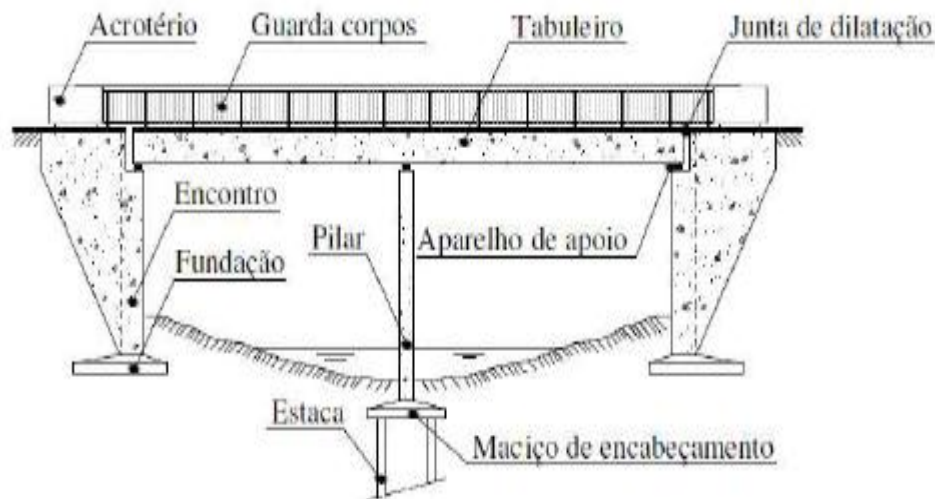


Figura 5- Disposição dos principais elementos constituintes de uma ponte. Fonte: Carnaúba (2017).

A figura 5 evidencia a distribuição dos elementos estruturais ao longo da ponte, permitindo identificar a superestrutura, composta pelo tabuleiro, guarda-corpos e juntas, a mesoestrutura formada por pilares e encontros, e a infraestrutura constituída por fundações profundas e blocos de encabeçamento. Essa representação auxilia na compreensão do funcionamento integrado da estrutura e do caminho de transmissão dos esforços desde o tabuleiro até o solo de fundação.

Considerando a integração entre os sistemas estruturais, a análise dos elementos constituintes das pontes evidencia que o tabuleiro representa o principal componente funcional da estrutura, pois recebe diretamente as cargas provenientes do tráfego e as redistribui para os demais elementos estruturais, garantindo o funcionamento estrutural do sistema. Dessa forma, observa-se que a interação entre vigas, pilares e fundações permite o adequado fluxo de esforços estruturais e

assegura o desempenho mecânico da ponte frente às solicitações impostas pelas cargas móveis e permanentes.

A organização desses elementos pode ser compreendida também a partir da disposição longitudinal da estrutura, que permite identificar os vãos, a altura livre e a configuração geométrica da ponte ao longo de seu eixo principal, como pode ser visto na imagem a seguir.

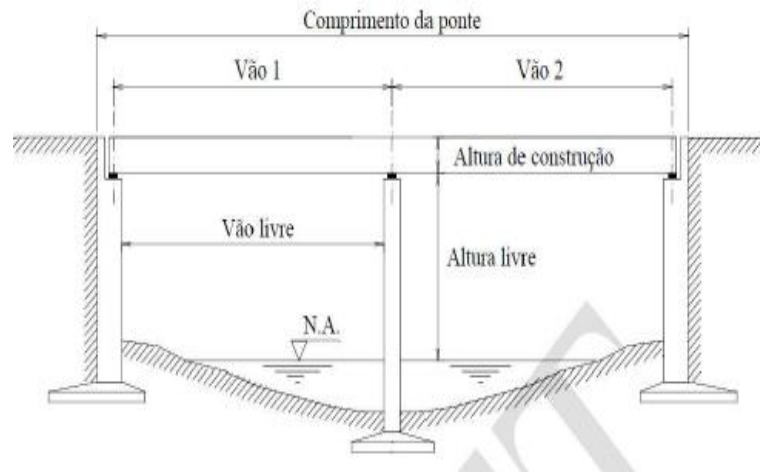


Figura 6– Denominação dos elementos relativos à seção longitudinal. Fonte: Carnaúba (2017).

A representação da seção longitudinal apresentada na Figura 6 permite compreender a configuração geométrica da ponte ao longo de seu comprimento, evidenciando a definição dos vãos, da altura livre e da altura de construção, aspectos diretamente relacionados ao comportamento estrutural e às condições de passagem sob a estrutura. Essa disposição favorece a compreensão da relação entre apoios, tabuleiro e terreno natural, contribuindo para a análise do fluxo de esforços e para a avaliação das condições de implantação da ponte.

A partir dessa organização geométrica, Gonçalves (2023) destaca que as pontes rodoviárias são estruturadas a partir da integração entre superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura, sendo a superestrutura responsável pelo suporte direto das cargas, a mesoestrutura composta por pilares e apoios intermediários, e a infraestrutura formada pelas fundações que asseguram a estabilidade da obra. O autor ressalta ainda que o comportamento estrutural dessas estruturas resulta da interação entre elementos longitudinais e transversais, como tabuleiros, vigas e sistemas de contraventamento.

Essa leitura estrutural é reforçada por Cheung et al. (2017), ao indicarem que o tabuleiro constitui elemento essencial das pontes rodoviárias, atuando como placa responsável pela redistribuição das cargas de tráfego aos demais componentes estruturais. Dessa forma, o desempenho da ponte depende da atuação conjunta dos elementos estruturais principais, como vigas e sistemas de ligação, os quais contribuem para a rigidez estrutural e para a estabilidade global da estrutura.

À luz dessas considerações, as pontes rodoviárias podem ser compreendidas como sistemas estruturais organizados de forma hierárquica, cuja finalidade é assegurar a continuidade das vias de transporte com segurança e funcionalidade. Nesse sentido, o conhecimento dos elementos estruturais constituintes e do comportamento mecânico associado à sua interação configura etapa fundamental para o desenvolvimento de projetos estruturais seguros, duráveis e compatíveis com as condições de carregamento e implantação dessas obras.

2.1.3 Classificação das pontes quanto ao sistema estrutural e material empregado

A classificação das pontes é fundamental para a compreensão de seu comportamento estrutural, pois permite identificar os sistemas resistentes, os materiais empregados e as características mecânicas predominantes. Essa categorização organiza as estruturas segundo critérios técnicos relacionados ao sistema estrutural adotado e às exigências funcionais de cada tipo de travessia.

Nesse sentido, Costa (2017) destaca que as pontes podem ser classificadas conforme o sistema estrutural predominante, sendo mais recorrentes as pontes em vigas, em arcos, em treliças e estaiadas pontes pênsil. Cada tipologia apresenta comportamento mecânico específico, no qual as pontes em vigas são dominadas por esforços de flexão, enquanto as pontes em arco trabalham predominantemente à compressão, evidenciando que a escolha do sistema estrutural depende do vão, do carregamento e das condições do terreno.

Complementando essa classificação, Gonçalves (2023) observa que os sistemas estruturais também se diferenciam pela forma de transmissão dos esforços ao longo da estrutura, ressaltando a eficiência das pontes em arco para grandes vãos. O autor destaca ainda que a posição do tabuleiro em relação ao sistema

resistente, superior, inferior ou intermediária, influencia diretamente o comportamento estrutural e as soluções construtivas adotadas.

Além do sistema resistente, as pontes podem ser caracterizadas pela configuração geométrica de sua seção transversal, que define a organização funcional do tabuleiro e dos dispositivos laterais de segurança, conforme ilustrado na imagem a seguir.

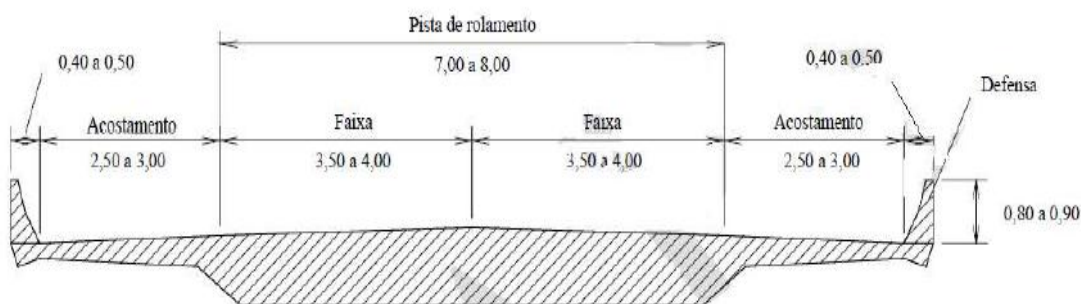


Figura 7- Denominação e tamanho dos elementos relativos à seção transversal. Fonte: Carnaúba (2017).

A seção transversal apresentada na Figura 7 evidencia a organização funcional do tabuleiro rodoviário, contemplando faixas de rolamento, acostamentos e elementos de contenção lateral, os quais influenciam diretamente a segurança viária, o comportamento estrutural do tabuleiro e a distribuição das cargas de tráfego sobre os elementos resistentes da ponte.

A tipologia da ponte se relaciona às condições geométricas, ambientais e funcionais do local de implantação, interferindo diretamente no desempenho estrutural e na viabilidade econômica da obra. Diferentes sistemas estruturais podem atender às mesmas demandas funcionais, cabendo à análise técnica orientar a escolha da solução mais compatível com o comportamento mecânico desejado.

Nesse sentido, Fernandes e Correia (2017) ressaltam que a classificação das pontes pode considerar a forma de distribuição das cargas e a interação entre superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura, aspecto determinante para a adequada transmissão dos esforços aos apoios e fundações. De modo complementar, Carnaúba (2017) observa que essa classificação também pode ser realizada conforme o material estrutural predominante, destacando-se estruturas em madeira, aço, concreto armado e sistemas mistos.

Sob essa perspectiva, Stefani et al. (2016) apontam que as pontes em madeira apresentam vantagens associadas à facilidade construtiva e ao menor

custo inicial, embora possuam limitações relacionadas à umidade, ao ataque biológico e à restrição de vãos, o que demanda tratamentos preservativos e manutenção periódica. Em contraponto, Milani e Kripka (2012) indicam que o concreto armado se consolidou como material amplamente empregado em pontes rodoviárias, em razão de sua elevada resistência, durabilidade e versatilidade construtiva.

Diante dessas abordagens, observa-se que as pontes rodoviárias podem ser compreendidas a partir da associação entre sistema estrutural e material predominante, critérios fundamentais para a análise do comportamento mecânico, da durabilidade e das técnicas construtivas envolvidas. Assim, a classificação das pontes se configura como instrumento essencial para subsidiar decisões técnicas relacionadas à segurança, à eficiência estrutural e à adequação das soluções adotadas às exigências operacionais, econômicas e ambientais das obras de travessia rodoviária.

2.2 Pontes em Madeira: Comportamento Estrutural e Fatores de Degradação

As pontes em madeira representam uma tipologia estrutural historicamente relevante e tecnicamente singular, cuja utilização está associada tanto à disponibilidade do material quanto à necessidade de soluções construtivas compatíveis com contextos econômicos, ambientais e territoriais específicos. A compreensão dessas estruturas exige uma abordagem que considere simultaneamente o comportamento mecânico da madeira e os processos que influenciam sua durabilidade ao longo do tempo, especialmente em ambientes sujeitos a condições severas de exposição.

Do ponto de vista estrutural, a madeira apresenta comportamento mecânico fortemente condicionado por suas propriedades físicas, pela orientação das fibras e pela interação entre os elementos que compõem o sistema resistente da ponte. Silva e Moraes (2025) destacam que o desempenho estrutural das pontes em madeira depende da correta articulação entre tabuleiros, vigas, sistemas de ligação e apoios, bem como da consideração da anisotropia do material e das solicitações impostas pelas cargas móveis e permanentes.

Nesse contexto, a análise do comportamento estrutural e dos fatores de degradação das pontes em madeira assume papel fundamental para a avaliação de sua segurança e funcionalidade ao longo do tempo. A compreensão integrada desses aspectos permite fundamentar decisões técnicas relacionadas ao dimensionamento, à conservação e à escolha de soluções estruturais mais adequadas às condições de uso e exposição dessas obras.

2.2.1 Evolução histórica da construção de pontes em madeira

A construção de pontes em madeira está associada aos primeiros estágios das técnicas construtivas, em razão da facilidade de obtenção e de utilização desse material. Essas estruturas tiveram papel fundamental na transposição de obstáculos naturais, especialmente em contextos de limitações técnicas, contribuindo para a formação das primeiras rotas de circulação.

Segundo Costa (2017), as pontes primitivas em madeira eram formadas por soluções simples, como troncos de árvores e vegetação torcida ou trançada, muitas vezes dispostas em suspensão. Os primeiros registros documentados datam de cerca de 4000 a.C., na Mesopotâmia e no Egito, e posteriormente, por volta de 500 d.C., na Pérsia e na Grécia, com sistemas estruturais compatíveis com os recursos e o conhecimento técnico disponíveis.

Nesse contexto, destaca-se a ponte romana Pons Sublicius (Figura 8), que, de acordo com Costa (2017), foi construída em 621 d.C. sobre o rio Tibre, em Roma, apoiada em estacas cravadas no leito do rio. Obras como a ponte de Trajano sobre o Danúbio, a ponte de César sobre o rio Reno e os vãos da ponte Brenta, na Itália, exemplificam a aplicação desse mesmo princípio construtivo.



Figura 8- Pons Suubilicus 621 d.C. Fonte: Khouri e Serapião (2015).

No contexto da evolução das pontes em madeira, a Figura 8 apresenta a *Pons Sublicius*, construída em 621 d.C., como um dos primeiros exemplos de estrutura sistematizada desse tipo. Apoiada em estacas de madeira cravadas no leito do rio, a ponte expressa uma solução construtiva simples, coerente com os recursos disponíveis e com o nível técnico da época, evidenciando a adaptação das técnicas construtivas ao meio natural.

No avanço desse processo evolutivo, Khouri e Serapião (2015) destacam que determinadas pontes em madeira passaram a incorporar soluções estruturais mais organizadas, sobretudo em contextos militares, nos quais a rapidez de execução e a eficiência estrutural eram determinantes. Nesse cenário, sobressaem-se as pontes romanas provisórias, projetadas para transpor grandes cursos d'água em curto intervalo de tempo, utilizando predominantemente madeira e sistemas de apoio cravados no leito dos rios, conforme ilustrado na Figura 9.

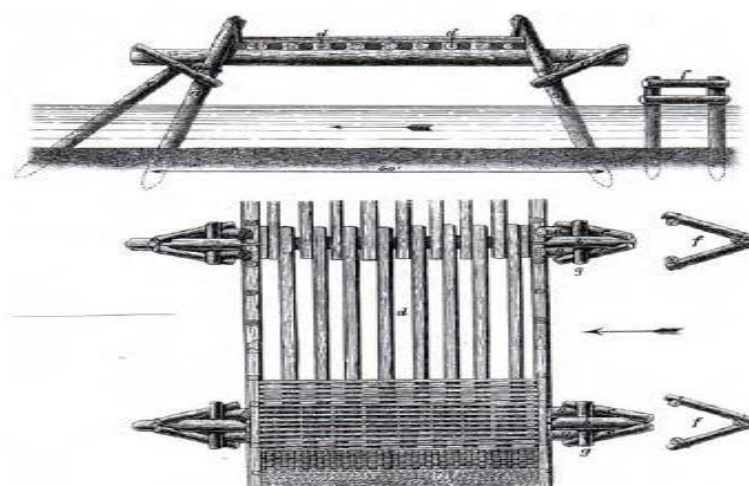


Figura 9– Caesar's Bridge. Fonte: Costa (2017)

A ponte de César constitui um exemplo expressivo da engenharia militar em madeira, baseada no uso de estacas inclinadas e sistemas de travamento longitudinal, capazes de resistir à ação da correnteza e às cargas de tráfego. Essa solução evidencia o domínio prático dos romanos sobre o comportamento estrutural da madeira, antecipando princípios de estabilidade, ancoragem e distribuição dos esforços que influenciaram a evolução das técnicas construtivas em pontes.

Segundo Costa (2017), com o declínio do Império Romano, os sistemas rodoviários entraram em processo de deterioração devido à ausência de manutenção, o que resultou no abandono de técnicas construtivas mais elaboradas

e na perda progressiva de conhecimento técnico. Como consequência, passaram a predominar soluções mais simples, com materiais de fácil execução e menor exigência de mão de obra especializada, embora com desempenho mecânico inferior e menor durabilidade.

Na Idade Média, a funcionalidade e a longevidade das vias tornaram-se centrais no desenvolvimento das pontes em madeira, impulsionando a adoção de novos conceitos construtivos. Para reduzir os efeitos das intempéries, difundiu-se o uso de pontes cobertas, nas quais o telhado passou a proteger os elementos estruturais internos, aumentando sua vida útil, além da consolidação do emprego de pilares de pedra para evitar o contato direto da madeira com o solo e a umidade.

Nesse contexto, Costa (2017) destaca a introdução das vigas de madeira projetada no início do século XIII, atribuídas a Villard de Honnecourt, bem como os avanços do século XVI sistematizados por Palladio em tratados arquitetônicos. Esses conhecimentos permitiram a execução de pontes arqueadas com vãos superiores a 16 metros, atravessando rios como Schaffhausen, Rechanna e Wethington, além da construção, em 1776, de uma das maiores pontes do período na província chinesa de Szechuan, com cerca de 200 metros de extensão, utilizando o bambu como material estrutural.

Mazarim (2011) complementa que, no século XIX, o desenvolvimento das pontes de madeira na América ganhou projeção internacional, despertando o interesse de engenheiros europeus. Destaca-se a *Colossus of Fairmount*, construída em 1812 sobre o rio Schuylkill, na Filadélfia, composta por um arco simples com aproximadamente 340 pés de extensão, considerada à época a maior ponte sólida de madeira já erguida, até sua destruição por incêndio em 1838, conforme ilustrado na Figura 10.

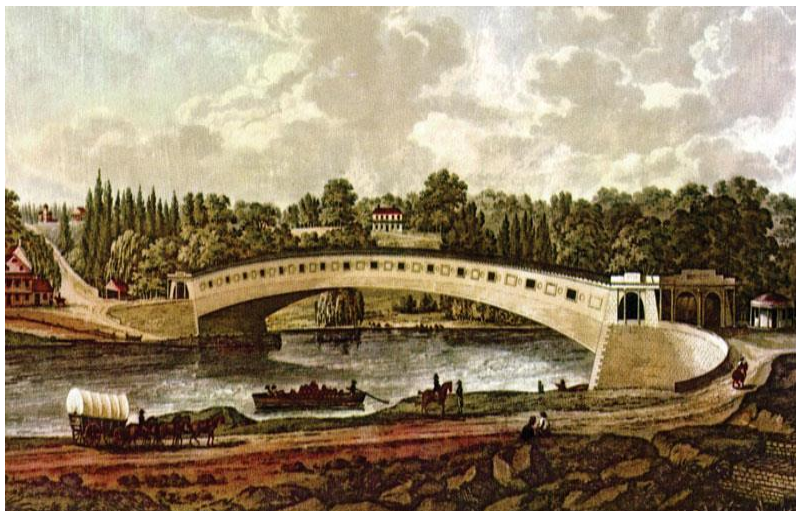


Figura 10 – Ponte de madeira "Colossus of Fairmount". Fonte: Costa (2017).

No contexto da evolução das pontes em madeira, a Figura 10 apresenta a *Colossus of Fairmount* como um exemplo expressivo da engenharia do século XIX, evidenciando o elevado nível construtivo alcançado com esse material. A ponte, com grande arco estrutural, demonstra a capacidade de vencer amplos vãos utilizando a madeira de forma eficiente, reforçando o caráter inovador da obra e a consolidação desse material em estruturas de grande porte antes da difusão do aço e do concreto.

Segundo Costa (2017), a partir do final do século XVIII, as pontes em madeira passaram a perder espaço para as estruturas em ferro, processo impulsionado pela Revolução Industrial, pela redução dos custos de produção e pelos efeitos da desflorestação na Europa, que restringiram a disponibilidade da madeira. Essa substituição progressiva não ocorreu apenas por limitações técnicas, mas também por fatores econômicos, ambientais e produtivos, marcando o encerramento de um ciclo histórico da madeira na engenharia de pontes.

Ademais, Mazarim (2011) destaca que, após a redução do uso das pontes em madeira no início do século XX, observa-se um novo interesse por esse material, impulsionado pelos avanços tecnológicos e pelo desenvolvimento de produtos derivados da madeira, como a madeira lamelada colada (MLC), a madeira lamelada colada cruzada (MLCC) e a madeira microlaminada (LVL), que ampliaram o desempenho estrutural e a durabilidade das estruturas.

Nesse contexto, as Figuras 11 e 12 exemplificam produtos engenheirados de madeira amplamente empregados na engenharia contemporânea de pontes. A madeira lamelada colada e a madeira lamelada cruzada evidenciam a racionalização

do uso do material, permitindo maior controle dimensional, melhor desempenho estrutural e a viabilização de sistemas com maiores vãos e complexidade construtiva.



Figura 11- Madeira lamelada colada (MLC). Fonte: Costa (2017).

Tal como é possível observar na Figura 11, a madeira lamelada colada é constituída por lâminas de madeira previamente selecionadas e unidas por adesivos estruturais, dispostas no mesmo sentido das fibras. Esse processo de fabricação confere ao material maior homogeneidade e regularidade estrutural, reduzindo a influência de defeitos naturais presentes na madeira maciça, como nós, fissuras, empenamentos e variações excessivas de densidade.

Em razão dessa composição, a madeira lamelada colada apresenta melhor aproveitamento das propriedades mecânicas da madeira, com maior previsibilidade de comportamento diante das solicitações de compressão, tração e flexão. Além disso, essa configuração permite a fabricação de peças de maiores dimensões e com geometrias variadas, inclusive elementos curvos, o que amplia suas possibilidades de aplicação em obras de engenharia.

Desse modo, a madeira lamelada colada se destaca como uma solução estrutural tecnicamente eficiente, pois alia resistência, estabilidade dimensional, melhor controle de qualidade e maior aproveitamento do material, apresentando desempenho superior em diversos aspectos quando comparada à madeira maciça tradicional.



Figura 12 - Madeira Laminada Cruzada (MLC). Fonte: Costa (2017).

Conforme destacado na Figura 12, a madeira lamelada colada cruzada apresenta disposição ortogonal das lâminas, conferindo maior rigidez e estabilidade dimensional ao conjunto. Essa característica amplia as possibilidades de aplicação da madeira em sistemas estruturais mais complexos, favorecendo seu uso em pontes contemporâneas.

Diante do exposto, observa-se que a utilização da madeira na construção de pontes, especialmente por meio de produtos engenheirados, representa uma alternativa estrutural compatível com as exigências técnicas contemporâneas. Os avanços nos materiais, nos sistemas construtivos e nos métodos de projeto e conservação ampliaram o desempenho, a durabilidade e a aplicabilidade da madeira, consolidando seu uso não apenas sob a perspectiva funcional, mas também ambiental e arquitetônica no contexto atual da engenharia de pontes.

2.2.2 Características estruturais das pontes em madeira e comportamento mecânico do material

As pontes em madeira constituem sistemas estruturais amplamente utilizados em diferentes contextos geográficos, especialmente em regiões com disponibilidade desse material e necessidade de soluções construtivas economicamente viáveis. Essas estruturas apresentam organização estrutural semelhante às pontes executadas com outros materiais, sendo formadas por elementos interligados

responsáveis pela recepção, distribuição e transmissão das cargas provenientes do tráfego para os apoios e fundações.

No que se refere ao desempenho estrutural do material, Pardinho e Moreira (2024), ressaltam que a madeira apresenta propriedades físicas e mecânicas que possibilitam sua utilização como elemento estrutural, destacando resistência à compressão, tração e flexão, características que influenciam diretamente a capacidade resistente das peças estruturais. A densidade da madeira constitui fator determinante para o comportamento mecânico do material, pois influencia sua rigidez estrutural e resistência às tensões atuantes.

A determinação das propriedades mecânicas da madeira estrutural deve atender aos critérios estabelecidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da NBR 7190 (2022), que define parâmetros técnicos para classificação, caracterização e dimensionamento de peças estruturais em madeira, considerando variáveis como resistência, rigidez e influência das condições ambientais sobre o material. A norma supracitada estabelece que o dimensionamento estrutural deve considerar fatores de modificação relacionados à umidade, duração das cargas e condições de exposição, assegurando que os elementos estruturais apresentem desempenho mecânico compatível com as solicitações previstas em projeto.

Considerando as propriedades estruturais do material, observa-se que o comportamento mecânico da madeira depende da interação entre suas características físicas e as condições ambientais às quais está exposta, influenciando diretamente a estabilidade estrutural das pontes. Nesse sentido, a resistência estrutural do material não pode ser analisada isoladamente, pois fatores como umidade, temperatura e exposição ao ambiente interferem no desempenho mecânico e na durabilidade das peças estruturais.

No que se refere às limitações estruturais do material, Stefani et al. (2016), destacam que a madeira apresenta comportamento anisotrópico, com propriedades mecânicas que variam conforme a direção das fibras, influenciando a capacidade resistente e o comportamento estrutural das peças. A sensibilidade à umidade e ao ataque biológico também interfere na resistência mecânica do material, podendo provocar redução da capacidade estrutural quando não são adotados tratamentos preservativos adequados.

De acordo com Araújo et al. (2025), as madeiras utilizadas na construção podem ser classificadas em madeiras maciças e madeiras industrializadas. A resistência do material é determinada por ensaios em corpos de prova sem defeitos, sendo a máxima resistência à compressão obtida quando a carga atua paralelamente às fibras, condição que influencia diretamente o comportamento mecânico da madeira, conforme ilustrado na Figura 13.

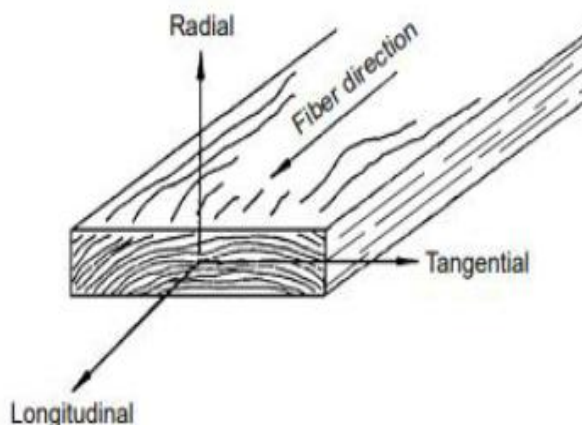


Figura 13- Eixos principais da madeira em relação à direção das fibras. Fonte: Araújo et al. (2025)

Por meio da Figura 13, é possível notar que a orientação longitudinal das fibras está associada às maiores resistências mecânicas da madeira, enquanto as direções radial e tangencial apresentam comportamento distinto, especialmente quanto à deformabilidade e à sensibilidade às variações de umidade. Esse comportamento decorre da anisotropia da madeira, ou seja, do fato de que suas propriedades físicas e mecânicas variam conforme a direção analisada. Na madeira, os eixos principais de referência são o longitudinal, o radial e o tangencial, e as alterações dimensionais não ocorrem de maneira uniforme entre eles. Em geral, a retração e o inchamento são mais acentuados na direção tangencial, menores na radial e pouco significativos na longitudinal, o que interfere diretamente no desempenho estrutural, na estabilidade dimensional e no aparecimento de deformações e fissuras. Dessa forma, a anisotropia constitui uma característica fundamental da madeira e explica a necessidade de considerar a direção das fibras no dimensionamento, na análise resistente e na avaliação do comportamento dos elementos estruturais produzidos com esse material (Araújo, Henrique José Borges de. 2020. P. 32 e p. 37.)

Relacionando o comportamento mecânico da madeira às condições de utilização estrutural, Pompeu e Rosa (2023), ressaltam que a capacidade resistente das pontes em madeira depende diretamente do correto dimensionamento estrutural e da consideração das cargas móveis provenientes do tráfego rodoviário. A ausência de dimensionamento adequado pode provocar deformações estruturais, perda de rigidez e surgimento de falhas estruturais nos elementos constituintes da ponte.

A avaliação das ações atuantes nas pontes em madeira deve considerar os critérios estabelecidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003), por meio da NBR 8681, que define os princípios gerais para determinação e combinação de carregamentos em estruturas, incluindo cargas permanentes, variáveis e acidentais. A aplicação dessas combinações permite avaliar as condições mais desfavoráveis de solicitação estrutural, contribuindo para o dimensionamento seguro dos elementos estruturais e para a garantia da estabilidade e funcionalidade das pontes ao longo de sua vida útil.

Além das propriedades mecânicas intrínsecas do material, observa-se que o desempenho estrutural das pontes em madeira está diretamente relacionado à interação entre os elementos estruturais que compõem a superestrutura, a mesoestrutura e a infraestrutura. Dessa forma, o comportamento estrutural global da ponte depende da capacidade das peças estruturais em transmitir esforços entre si, garantindo estabilidade e segurança estrutural frente às solicitações externas.

A Figura 14 ilustra um tabuleiro composto madeira–betão, em vigas em T e em laje, no qual a atuação conjunta dos materiais permite melhor distribuição das cargas e maior rigidez estrutural. Como se observa na imagem, essa solução explora a resistência à compressão do betão e o bom desempenho estrutural da madeira, ampliando a eficiência e a durabilidade do tabuleiro.

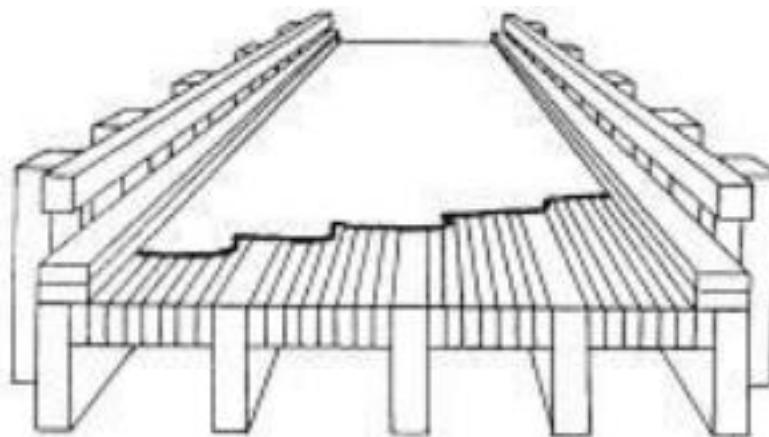


Figura 14- Tabuleiros compostos por madeira–betão em vigas em T e em laje. Fonte: Manual de Projeto e Construção de Pontes de Madeira. Fonte: Costa (2017)

A adoção de tabuleiros compostos madeira–betão representa uma alternativa estrutural eficiente para pontes rodoviárias e pedonais, ao combinar as vantagens mecânicas de ambos os materiais em um único sistema resistente. Essa solução contribui para o aumento da capacidade portante, a redução de deformações e a melhoria do desempenho global da estrutura, além de possibilitar maior racionalização construtiva e durabilidade frente às ações de serviço.

No que se refere às influências ambientais sobre o material, Vogel e Rosas (2024), destacam que a exposição da madeira à umidade, variações térmicas e radiação solar provoca alterações dimensionais, como expansão e retração das fibras, influenciando o comportamento estrutural das peças. Esses fenômenos favorecem o surgimento de fissuras, desgaste superficial e perda gradual da capacidade resistente dos elementos estruturais.

Complementando a análise do comportamento estrutural do material, Araújo et al. (2025), destacam que o funcionamento estrutural das pontes em madeira depende da integração entre os elementos estruturais responsáveis pela transferência das cargas, evidenciando que a eficiência estrutural está associada à distribuição adequada dos esforços ao longo da estrutura. A interação entre tabuleiro, vigas e sistemas de ligação permite garantir estabilidade estrutural e funcionamento adequado da ponte frente às cargas atuantes.

Diante das características estruturais e mecânicas apresentadas, observa-se que as pontes em madeira apresentam comportamento estrutural condicionado às propriedades físicas do material, às condições ambientais e à interação entre os elementos constituintes da estrutura. Assim, o conhecimento do comportamento

mecânico da madeira e das características estruturais dessas pontes constitui etapa fundamental para o desenvolvimento de projetos seguros, para a avaliação do desempenho estrutural e para a definição de intervenções estruturais adequadas às condições de utilização dessas obras.

2.2.3 Fatores estruturais e ambientais associados à degradação de pontes em madeira

A deterioração das pontes em madeira se configura como um processo progressivo, decorrente da interação entre as características próprias do material e as condições de exposição às quais a estrutura é submetida ao longo de sua vida útil. A ação simultânea de variáveis ambientais e solicitações estruturais provoca alterações nas propriedades físicas e mecânicas da madeira, refletindo diretamente no desempenho estrutural e na durabilidade da obra.

Nesse cenário, a atuação de agentes biológicos constitui um dos principais mecanismos de deterioração das estruturas em madeira, sobretudo em ambientes com elevada umidade. Pardinho e Moreira (2024) destacam que fungos xilófagos e insetos degradadores comprometem a estrutura celular da madeira, promovendo perda gradual de resistência mecânica e redução da capacidade portante dos elementos estruturais.

A influência das condições ambientais intensifica esse processo ao favorecer alterações dimensionais e degradação superficial dos elementos expostos. Vogel e Rosas (2024) demonstram que a incidência contínua de umidade, radiação solar e variações térmicas contribui para o surgimento de fissuras, empenamentos e desgaste progressivo do material, aumentando sua vulnerabilidade à ação biológica.

A partir dessas relações, observa-se que a degradação das pontes em madeira não ocorre de forma isolada, mas resulta da associação entre fatores ambientais e mecânicos que atuam simultaneamente sobre a estrutura. A interação entre biodeterioração, exposição climática e solicitações estruturais acelera o desgaste dos elementos resistentes, evidenciando a necessidade de monitoramento e manutenção compatíveis com as condições de exposição.

Além disso, a natureza higroscópica da madeira contribui para a instabilidade dimensional dos elementos estruturais ao longo do tempo. Stefani et al. (2016)

ressaltam que as variações no teor de umidade provocam ciclos sucessivos de retração e dilatação, favorecendo o surgimento de fissuras internas e superficiais, especialmente quando há contato direto com o solo ou com a água.

A preservação da durabilidade das estruturas em madeira deve atender aos critérios estabelecidos pela ABNT NBR 7190 (1997), que define requisitos para proteção, tratamento preservativo e condições de utilização da madeira estrutural conforme a classe de agressividade ambiental. A norma orienta que a escolha do material e as estratégias de proteção e manutenção sejam compatíveis com o grau de exposição da estrutura.

Paralelamente, aspectos relacionados ao projeto e à execução construtiva também influenciam o processo de deterioração das pontes em madeira. Pompeu e Rosa (2023) evidenciam que falhas de dimensionamento, seleção inadequada da madeira e ausência de programas sistemáticos de manutenção favorecem o surgimento de manifestações patológicas, enquanto o aumento do tráfego e a incidência de sobrecargas ampliam o desgaste mecânico.

Esses fatores demonstram que a degradação estrutural está associada não apenas às propriedades naturais do material, mas também às decisões técnicas adotadas ao longo do ciclo de vida da estrutura. A ausência de planejamento adequado e de inspeções periódicas contribui para a evolução silenciosa de danos, comprometendo progressivamente a segurança e a funcionalidade da ponte.

Somam-se a esse processo as condições geotécnicas e hidrológicas do local de implantação. Silva e Morais (2025) destacam que processos erosivos, instabilidade de taludes e alterações no regime hídrico podem comprometer a estabilidade dos apoios estruturais, provocando redistribuição de esforços e deformações excessivas nos elementos portantes.

Associada a essas condições, a eficiência na transmissão dos esforços entre os componentes estruturais exerce papel fundamental na estabilidade global da ponte. Araújo et al. (2025) demonstram que falhas nas ligações estruturais e irregularidades na distribuição das cargas podem gerar concentrações localizadas de tensões, acelerando a deterioração e reduzindo a capacidade resistente do sistema.

Diante desse conjunto de fatores, torna-se evidente que a degradação das pontes em madeira resulta da atuação integrada de variáveis ambientais, estruturais

e operacionais. A compreensão articulada desses mecanismos constitui base essencial para o planejamento de estratégias de inspeção, manutenção e reabilitação estrutural, contribuindo para a ampliação da vida útil e para a preservação da segurança das estruturas de travessia.

2.2.4 Tipos de manifestações patológicas da madeira

As manifestações patológicas em estruturas de madeira representam um dos principais fatores limitantes para a durabilidade e o desempenho de pontes construídas com esse material. A exposição contínua às condições ambientais, aliada a fatores construtivos e operacionais, favorece o surgimento de deteriorações progressivas que comprometem tanto a integridade estrutural quanto a segurança funcional dessas obras.

Pardinho e Moreira (2024) destacam que as patologias mais recorrentes em pontes de madeira estão associadas à ação biológica, especialmente ao ataque de fungos e insetos xilófagos, que promovem a degradação das propriedades físicas e mecânicas do material. Milani e Kripka (2012) ressaltam que a ausência de manutenção preventiva e o uso inadequado de técnicas construtivas contribuem significativamente para o avanço do apodrecimento e para a perda gradual da capacidade resistente das peças estruturais. Na figura 15 é possível evidenciar esse tipo de patologia.



Figura 15 - Ataque na madeira por bactérias e fungos. Fonte: Milani e Kripka (2012)

A figura 15 é uma fotografia de um elemento de madeira de uma Ponte (uma viga/peça estrutural), mostrando biodegradação evidente, observa-se uma grande área da superfície coberta por placas e manchas esbranquiçadas com aspecto de colônia fúngica, contrastando com regiões de madeira escurecida (marrom-escuro/preto) e com aparência de umidade e deterioração superficial.

Assim, Stefani et al. (2016) ressaltam que as manifestações patológicas podem estar relacionadas a fatores ambientais e operacionais que aceleram a deterioração do material. Pardinho e Moreira (2024) destacam que a umidade excessiva e a falta de manutenção favorecem o surgimento de danos progressivos, manifestados por deformações, deterioração superficial e comprometimento estrutural em pontes de madeira submetidas a condições adversas. Assim conforme a figura 16 podemos observar um tipo de deformação frequente na madeira.

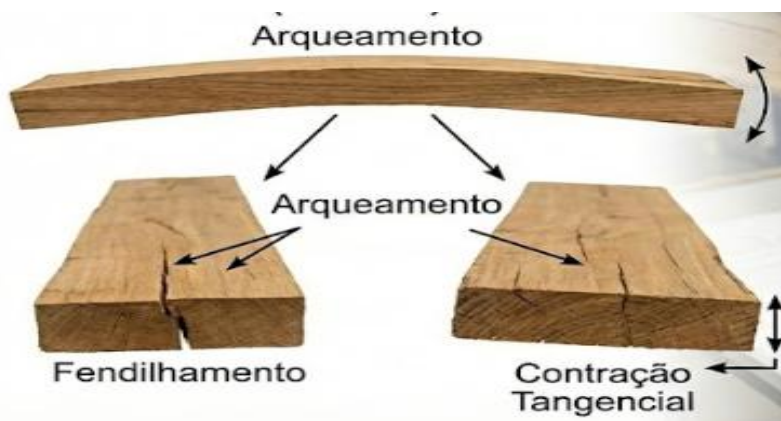


Figura 16 tipo de empenamento e deformações em peças de madeira. Fonte: Almeida, (2026)

a Figura 16 ilustra um tipo de deformação comum na madeira, o arqueamento, caracterizado pela curvatura da peça e perda de alinhamento. O esquema também evidencia o fendilhamento e contração tangencial, mecanismo frequentemente associado a variações de umidade (ciclos de molhagem e secagem), que geram retrações diferenciais, tensões internas e abertura de fissuras.

Outras investigações demonstram que a degradação da madeira também está associada a processos físicos decorrentes da exposição prolongada às intempéries. Vogel e Rosas (2024) evidenciam que variações de temperatura e umidade promovem expansão e retração do material, favorecendo o aparecimento de fissuras longitudinais, desgaste superficial e perda de desempenho estrutural ao longo do tempo. Diante disso a figura 17 é observado como as fissuras se manifesta.



Figura 17 - manifestação patológica de fissuras na madeira Fonte: Almeida, (2026)

A Figura 17 mostra pranchas de madeira com degradação avançada, evidenciada por fissuras longitudinais contínuas, algumas bem abertas ao longo da prancha, além de desgaste superficial. Nota-se também perda de coesão e início de fragmentação nas bordas das rachaduras, indicando um processo progressivo de deterioração.

Diante dessas evidências, compreende-se que as manifestações patológicas da madeira resultam da interação entre fatores ambientais, construtivos e operacionais, exigindo abordagens preventivas e estratégias de manutenção adequadas. A análise integrada da literatura demonstra que o diagnóstico precoce e o monitoramento contínuo são fundamentais para preservar o desempenho estrutural das pontes de madeira e ampliar sua vida útil em contextos reais de utilização.

2.3 Ponte em concreto armado como solução estrutural: critérios normativos e diretrizes de dimensionamento

A segurança estrutural das pontes em concreto armado está diretamente associada ao correto dimensionamento dos elementos estruturais e à adequada avaliação das ações atuantes ao longo da vida útil da estrutura. O desenvolvimento de projetos estruturais para esse tipo de obra exige a aplicação de critérios técnicos capazes de assegurar resistência estrutural, funcionalidade e durabilidade frente às condições de uso e de exposição ambiental.

Nesse contexto, a verificação da segurança estrutural fundamenta-se na análise dos estados limites, que representam situações críticas relacionadas ao comportamento estrutural das obras de travessia. Carnaúba (2017) descreve que o Estado Limite Último refere-se à avaliação da capacidade resistente da estrutura sob condições extremas de carregamento, com o objetivo de impedir a ocorrência de colapso ou instabilidade global.

A análise do Estado Limite Último envolve a consideração das combinações mais desfavoráveis de ações que podem atuar simultaneamente sobre a estrutura. Cheung et al. (2017) demonstram que a verificação dessas combinações permite avaliar a resistência dos elementos estruturais frente às solicitações reais de serviço, assegurando níveis adequados de segurança estrutural.

A definição das ações atuantes e das combinações de carregamento aplicáveis às pontes em concreto armado deve atender aos critérios estabelecidos pela ABNT (2003), por meio da NBR 8681, que estabelece os princípios gerais de segurança estrutural e os procedimentos para combinação de ações permanentes, variáveis e excepcionais. Essa norma fornece a base técnica para a verificação da segurança estrutural ao longo da vida útil da estrutura.

Paralelamente, o dimensionamento estrutural exige a verificação do Estado Limite de Serviço, associado ao controle das deformações e ao desempenho funcional da ponte durante sua operação. Campos et al. (2021) ressaltam que o atendimento aos critérios de serviço garante níveis aceitáveis de deformação e vibração, preservando a integridade estrutural e as condições adequadas de utilização.

Dessa forma, a análise conjunta dos estados limites constitui instrumento essencial para orientar o dimensionamento estrutural das pontes em concreto armado, permitindo equilibrar segurança estrutural e desempenho funcional. A aplicação sistemática desses critérios possibilita prever o comportamento da estrutura sob diferentes condições de carregamento, contribuindo para o desenvolvimento de obras mais seguras e duráveis.

Sob outra perspectiva, o dimensionamento estrutural deve obedecer às diretrizes normativas que estabelecem parâmetros técnicos para o cálculo e a verificação da segurança estrutural. Fernandes e Correia (2017) destacam que a padronização dos procedimentos de projeto contribui para a confiabilidade estrutural

das pontes, assegurando desempenho compatível com as exigências operacionais e normativas.

A compreensão do comportamento estrutural das pontes em concreto armado também requer a visualização da organização física de seus elementos constituintes, permitindo identificar a disposição da superestrutura, da mesoestrutura e da infraestrutura, bem como o caminho de transmissão dos esforços ao longo da estrutura, conforme ilustrado na figura 18.

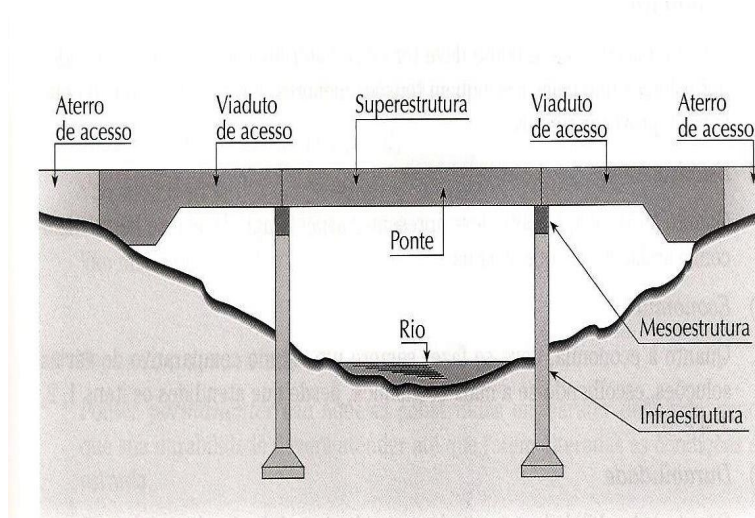


Figura 18 – Estrutura de uma ponte em concreto armado. Fonte: Fernandes e Correia (2017).

A representação evidencia a configuração típica das pontes em concreto armado, nas quais o tabuleiro atua como elemento principal de recepção das cargas, os pilares e encontros compõem a mesoestrutura responsável pela redistribuição dos esforços, e as fundações integram a infraestrutura, garantindo a transferência das solicitações ao solo com segurança e estabilidade estrutural.

No caso das pontes rodoviárias, a ABNT (2021), por meio da NBR 7187, estabelece diretrizes para o projeto estrutural de pontes de concreto, contemplando critérios de dimensionamento, verificação dos estados limites último e de serviço e consideração das ações provenientes do tráfego. Essas diretrizes orientam a aplicação dos princípios de segurança estrutural e desempenho funcional, assegurando que os elementos estruturais atendam às exigências normativas ao longo da vida útil da obra.

Além disso, a norma define critérios para a adequada distribuição das cargas entre os elementos estruturais, permitindo a transmissão eficiente dos esforços entre lajes, vigas e apoios. Nesse sentido, Araújo et al. (2025) demonstram que a correta

transferência dos esforços reduz concentrações localizadas de tensões e contribui para o comportamento estrutural global da ponte.

Outro aspecto relevante no desenvolvimento do projeto estrutural refere-se às condições geotécnicas e hidrológicas do local de implantação, as quais exercem influência direta sobre a estabilidade dos apoios estruturais. Silva e Morais (2025) ressaltam que a análise das características do solo e do regime hidráulico permite identificar interferências potenciais nas fundações e na distribuição dos esforços ao longo da estrutura.

Dessa forma, compreende-se que as diretrizes normativas de projeto não se restringem ao dimensionamento dos elementos estruturais, mas abrangem também aspectos relacionados à implantação da obra e às condições ambientais de exposição. A consideração integrada desses fatores favorece o desenvolvimento de projetos estruturalmente mais confiáveis e compatíveis com as condições reais de funcionamento das pontes.

Adicionalmente, a durabilidade estrutural constitui requisito fundamental no dimensionamento de pontes em concreto armado, exigindo que o projeto considere a exposição ambiental e o desempenho dos materiais empregados. Costa (2017) destaca que a observância dos critérios normativos contribui para a redução de manifestações patológicas e para a ampliação da vida útil das estruturas, minimizando a necessidade de intervenções corretivas.

Nesse contexto, a aplicação integrada dos critérios de estados limites e das diretrizes normativas de projeto permite o desenvolvimento de estruturas com elevados níveis de confiabilidade estrutural e desempenho funcional. Gonçalves (2023) evidencia que a adoção desses princípios assegura segurança, durabilidade e eficiência operacional, consolidando o concreto armado como solução estrutural adequada para pontes rodoviárias.

Por fim, observa-se que o emprego do concreto armado em obras de travessia representa uma solução tecnicamente consistente, capaz de atender simultaneamente aos requisitos de segurança, funcionalidade e durabilidade. A articulação entre critérios normativos, verificação dos estados limites e dimensionamento adequado contribui para o desenvolvimento de estruturas.

3 METODOLOGIA

3.1 TIPO DE ESTUDO

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa de natureza aplicada, desenvolvida por meio de observação direta, levantamento em campo e análise técnica estrutural, tendo como objeto de estudo uma travessia localizada no município de Itaituba, no estado do Pará. A investigação assume o formato de estudo de caso, uma vez que analisa de forma aprofundada uma situação específica e real, permitindo a compreensão detalhada das condições estruturais existentes e das soluções propostas para a substituição de uma ponte de madeira por uma estrutura em concreto armado.

A abordagem metodológica adotada é predominantemente qualitativa foi avaliado as manifestações patológicas foram avaliadas visualmente quanto a sua gravidade, o que está em consonância com Minayo (2001), para quem a pesquisa qualitativa não se fundamenta no critério numérico, mas na compreensão aprofundada do fenômeno investigado. O caráter exploratório da pesquisa possibilita a identificação das condições físicas da travessia e das limitações estruturais da ponte existente, visto que, conforme Gil (2002), as pesquisas exploratórias têm como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, tornando-o mais explícito e favorecendo o aprimoramento de ideias.

A pesquisa também se fundamenta no registro técnico das características estruturais e ambientais observadas em campo, bem como na aplicação de normas técnicas brasileiras pertinentes ao dimensionamento e à verificação da estrutura proposta. Ademais, para a elaboração das imagens ilustrativas da proposta de ponte em concreto armado, correspondentes às Figuras 26, 27 e 28, foi utilizado o software Lumion View 2025, empregado na produção das representações visuais do modelo proposto, com a finalidade de facilitar a compreensão espacial e estética da solução estrutural apresentada.

O local da pesquisa corresponde a uma travessia situada na rodovia Transamazônica, no município de Itaituba, especificamente no KM 7 (Figura 15), após a Escola Técnica EETEPa, nas coordenadas geográficas 4°15'13.56"S e 56°01'58.25"W. A ponte existente no local é uma estrutura de madeira danificada,

implantada em trecho não pavimentado, cuja condição estrutural motivou a proposição de uma nova solução em concreto armado.

A estrutura existente no local (Figura 19) consiste em uma ponte de madeira implantada sobre a rodovia Transamazônica, no município de Itaituba, apresentando comprimento total aproximado de 31 metros com altura de 4 metros em relação ao nível da água no dia da observação. A travessia possui duas mãos de direção, cada uma com largura de 4 metros, configurando uma plataforma estreita em relação às demandas atuais de tráfego e segurança viária, especialmente considerando as condições operacionais e o estado de conservação da estrutura.



Figura 19 - Ponte KM7 município de Itaituba. Fonte: Almeida, (2025)

Na figura 19, observa-se a superestrutura em madeira, composta pelo tabuleiro e guarda-corpo lateral, bem como parte da infraestrutura e da mesoestrutura da ponte. Também são visíveis as margens do terreno com vegetação adjacente, o leito d'água sob a travessia e o entorno não pavimentado.

3.2 INSTRUMENTO E COLETA DE DADOS

A coleta de dados foi realizada em etapas distintas, iniciando-se por uma revisão de literatura direcionada à temática de pontes rodoviárias, avaliação estrutural, pontes em madeira, processos de degradação e critérios normativos aplicáveis ao dimensionamento de pontes em concreto armado. A pesquisa bibliográfica, conforme Gil (2002), é desenvolvida com base em material já elaborado, constituído principalmente por livros e artigos científicos, sendo

fundamental para o conhecimento e a análise das principais contribuições teóricas sobre determinado tema. Essa etapa teve como finalidade fundamentar teoricamente a análise da travessia existente, bem como subsidiar a definição da solução estrutural proposta, com base em normas técnicas e referências consolidadas da engenharia estrutural. O desenvolvimento da pesquisa também se apoia na estratégia de estudo de caso, entendida por Yin (2015) como uma investigação empírica de um fenômeno contemporâneo em seu contexto real, apoiada em múltiplas fontes de evidência.

Na segunda etapa, foi realizado levantamento fotográfico no local da travessia situada na rodovia Transamazônica, no município de Itaituba, km 7, após a Escola Técnica EETEPA, documentando as condições do tabuleiro, da estrutura inferior visível, dos guarda-corpos e do entorno imediato da ponte. Os registros fotográficos permitiram identificar manifestações de degradação, intervenções pontuais no tabuleiro, exposição de elementos estruturais e condições das margens, servindo como base para a análise técnica da situação estrutural existente.

Tal procedimento está em consonância com a Norma DNIT 010/2024, a qual estabelece que as observações de campo devem ser registradas em relatório técnico, com inspeção visual completa dos elementos estruturais, do entorno e com amplo registro fotográfico capaz de possibilitar o reconhecimento da estrutura em consultas posteriores.

A sistematização das informações obtidas durante a inspeção visual e o levantamento fotográfico foi realizada por meio da análise individual dos registros fotográficos produzidos em campo. Dessa forma, cada imagem foi descrita separadamente, considerando os elementos estruturais visíveis da ponte, como tabuleiro, guarda-corpos, longarinas aparentes, apoios, margens e a interação da estrutura com o curso d'água.

Esse procedimento permitiu identificar, de forma detalhada, as condições físicas da travessia, os indícios visíveis de degradação, as intervenções localizadas e os aspectos do entorno que influenciam o comportamento e a segurança da estrutura. A descrição individual das imagens contribuiu para a organização da análise técnica, possibilitando relacionar cada registro fotográfico aos elementos observados e às respectivas manifestações verificadas na ponte.

A terceira fase consistiu na inspeção visual da ponte de madeira e de suas margens, com observação do eixo da travessia, dos níveis d'água no momento da vistoria e de referências associadas às cheias do curso d'água. Essa inspeção possibilitou avaliar aspectos estruturais, ambientais e geométricos relevantes, fornecendo subsídios para a caracterização do problema estrutural e para a definição dos parâmetros da ponte de concreto armado proposta.

3.3 Inspeções visuais

As inspeções visuais foram realizadas no período de 25 de maio de 2025 a 28 de fevereiro de 2026, na ponte de madeira localizada no km 7 da rodovia Transamazônica, no município de Itaituba, estado do Pará. As observações abrangeram o tabuleiro, a estrutura de apoio visível e as áreas de aproximação da travessia, com o objetivo de identificar as condições gerais de conservação e os indícios de comprometimento estrutural da ponte existente.

Durante as visitas técnicas, foram analisadas as condições de conservação da estrutura, com atenção especial à presença de pranchas removidas ou danificadas no tabuleiro, aos sinais de desgaste dos elementos estruturais e às intervenções operacionais realizadas ao longo do tempo. Também foram observados os elementos laterais de proteção, a parte inferior visível da ponte e as condições gerais de uso da travessia, considerando sua função no tráfego local.

Além disso, foram examinadas as condições das margens e dos taludes de aterro na região de acesso à ponte, onde se verificou a presença de solo exposto e indícios de processos erosivos. Tais aspectos são relevantes, pois interferem diretamente na estabilidade do entorno da estrutura e nas condições de segurança da travessia, especialmente em períodos de maior ação das águas e de solicitação do tráfego.

Os registros obtidos durante as inspeções foram organizados e analisados de forma sistemática, possibilitando a compreensão do estado estrutural da ponte de madeira e subsidiando a proposta de substituição por uma ponte em concreto armado, concebida com base nas condições reais do local e nos critérios normativos aplicáveis.

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

Nesta seção, serão apresentados os levantamentos realizados por meio de registros fotográficos e observações *in loco* em uma ponte rodoviária em madeira, localizada no km 7 da Rodovia Transamazônica, no município de Itaituba-PA.

A análise dos resultados foi desenvolvida com base na integração das informações obtidas por meio da revisão bibliográfica, dos registros fotográficos e das inspeções visuais realizadas no local da travessia. Esse procedimento é compatível com a lógica do estudo de caso, uma vez que, conforme Yin (2015), esse tipo de investigação busca compreender fenômenos contemporâneos inseridos em seu contexto real, a partir da utilização de múltiplas fontes de evidência. Nesse sentido, os dados não foram examinados de forma isolada, mas interpretados de maneira articulada, considerando a relação entre as condições observadas em campo, o referencial teórico consultado e os critérios técnicos aplicáveis à análise de estruturas de travessia rodoviária.

Além disso, a interpretação dos dados assumiu caráter predominantemente qualitativo, o que se mostra coerente com a natureza descritiva e aplicada da pesquisa. Gil (2002) destaca que, em estudos dessa natureza, a análise deve preservar a totalidade do objeto investigado, evitando interpretações fragmentadas e permitindo a compreensão global do fenômeno estudado.

Assim, buscou-se avaliar a ponte de madeira não apenas a partir de ocorrências pontuais, mas a partir do conjunto de condições observadas, incluindo o estado do tabuleiro, a exposição dos elementos estruturais, as condições dos guarda-corpos, a situação das margens e os indícios de processos erosivos no entorno da travessia. Essa abordagem possibilitou compreender a estrutura em sua realidade física, funcional e ambiental, o que confere maior consistência à discussão dos resultados.

A análise também considerou a importância da convergência entre diferentes procedimentos de coleta de dados, visto que, segundo Gil (2002), a utilização de múltiplas fontes em estudos de caso contribui para ampliar a validade das interpretações e reduzir a subjetividade do pesquisador. Dessa forma, as evidências extraídas das imagens, das observações de campo e da bibliografia técnica foram comparadas entre si, permitindo identificar padrões de degradação, limitações

estruturais e condicionantes ambientais associados ao estado atual da ponte. Essa articulação entre diferentes evidências foi fundamental para sustentar, com maior segurança metodológica, as conclusões adotadas ao longo da pesquisa.

No que se refere especificamente à avaliação da travessia, foram considerados aspectos como o estado de conservação do tabuleiro, a presença de desgastes e descontinuidades nos elementos de madeira, a visibilidade de partes da estrutura inferior, a estabilidade das margens, as condições hidrológicas observadas e a interação da ponte com o curso d'água.

Tais elementos foram relacionados às exigências de segurança, funcionalidade e observação técnica aplicáveis às obras de arte especiais, em consonância com os procedimentos de inspeção estabelecidos pelo DNIT (2024), que prevê o planejamento, a execução e a apresentação sistemática dos resultados das inspeções em pontes rodoviárias. A partir dessa leitura integrada, tornou-se possível identificar não apenas a existência de manifestações de degradação, mas também a associação entre fatores construtivos, operacionais e ambientais que contribuem para o comprometimento progressivo da estrutura existente.

Por fim, a etapa de análise dos resultados constituiu a base para a formulação da proposta de substituição da ponte de madeira por uma estrutura em concreto armado. A interpretação técnica dos dados permitiu concluir que as limitações observadas na travessia atual não se restringem a danos localizados, mas refletem um quadro mais amplo de insuficiência estrutural e inadequação funcional diante das demandas contemporâneas de tráfego e segurança. Assim, os resultados obtidos ao longo dessa etapa metodológica fundamentam a proposição da nova solução estrutural, cujos critérios de dimensionamento, verificação resistente e adequação normativa serão apresentados e discutidos de forma mais detalhada neste capítulo.

Os resultados obtidos permitiram identificar manifestações estruturais e condições ambientais associadas ao estado de degradação da ponte de madeira analisada, evidenciando limitações no desempenho estrutural frente às solicitações atuantes. Dessa forma, no tópico seguinte, são discutidas as principais ocorrências observadas na ponte rodoviária localizada no município de Itaituba, PA, relacionando os achados de campo com os fatores estruturais, ambientais e normativos que fundamentam a necessidade de adoção de uma solução estrutural em concreto armado.

4.1 Condições estruturais e ambientais

As evidências observadas a partir da análise das imagens sugerem que a ponte rodoviária em madeira localizada no município de Itaituba encontra-se submetida a um processo de degradação estrutural associado à atuação combinada de fatores construtivos, ambientais e geotécnicos. A leitura integrada dos registros indica que as manifestações não ocorrem de forma isolada, mas podem estar relacionadas a um encadeamento de mecanismos interdependentes, nos quais descontinuidades do tabuleiro, exposição da madeira ao ambiente e instabilidades no entorno dos apoios contribuem para a redução progressiva do desempenho estrutural.

No conjunto analisado, as Figuras 20 e 24 concentram evidências relacionadas ao comprometimento funcional do tabuleiro, especialmente pela presença de descontinuidades e perda de alinhamento entre pranchas. Na Figura 20 observa-se a ausência de elementos centrais na faixa de rolamento, enquanto na Figura 24 identifica-se desnível entre peças e material solto, condições que podem indicar perda de continuidade estrutural e maior suscetibilidade a concentrações de esforços induzidas pelo tráfego.



Figura 20 – Tabuleiro de madeira com ausência de pranchas centrais fonte: Almeida,2026

A figura evidencia o tabuleiro de madeira com ausência de pranchas centrais, formando uma abertura longitudinal contínua ao longo da faixa de rolamento. Essa descontinuidade compromete diretamente a integridade funcional da superfície de

tráfego, reduzindo as condições de segurança para os usuários da via. Tal situação representa risco significativo de acidentes, especialmente para motocicletas, bicicletas e veículos leves, uma vez que a abertura expõe parte da estrutura inferior da ponte e dificulta a passagem segura dos veículos. O problema se agrava pelo fato de a via não possuir sinalização adequada nem iluminação, aumentando a probabilidade de ocorrências, sobretudo em períodos noturnos ou de baixa visibilidade.

Na figura 21 podemos observar vista lateral e inferior de uma ponte com tabuleiro e guarda-corpo em madeira, apoiada em pilares de madeira sobre o curso d'água.



Figura 21 – Vista lateral e inferior da ponte de madeira Fonte: Almeida, (2025)

Nota-se, ainda, a presença de encurvamento lateral em um elemento comprimido, comportamento visualmente compatível com flambagem, o que sugere instabilidade do membro estrutural. Tal condição pode estar associada a fatores como elevada esbeltez da peça, folgas nas ligações, deficiência nos apoios, enfraquecimento da seção por deterioração ou até mesmo aumento das solicitações atuantes ao longo do tempo.

Do ponto de vista estrutural, essa condição indica possível perda de estabilidade e, conseqüentemente, redução da capacidade resistente da peça, comprometendo o desempenho da estrutura. Embora a observação visual permita identificar indícios relevantes de anomalia, torna-se necessária uma avaliação mais aprofundada, a fim de verificar com maior precisão o nível de comprometimento do elemento e os riscos efetivos à segurança da ponte.

Na figura 22 evidenciamos a mesoestrutura em madeira da ponte, composta por pilar central, vigas longitudinais e transversinas, responsáveis pela transferência dos esforços da superestrutura para os apoios



Figura 22 – Mesoestrutura da ponte de madeira, Fonte: Almeida, (2025)

Observa-se, no entorno do pilar, perda de confinamento do solo, evidenciada por escavação e processos erosivos visíveis, o que reduz a área efetiva de contato entre o apoio e o terreno de fundação.

Além disso, as vigas apresentam alterações superficiais, como manchas e escurecimento, possivelmente associadas à exposição prolongada às condições ambientais e à umidade. Do ponto de vista estrutural, a perda de suporte do solo pode resultar em redução da capacidade resistente do apoio, aumentando o risco de recalques diferenciais, rotação dos elementos e redistribuição de esforços na estrutura. Essas condições podem provocar o aumento de deformações nas vigas e nas ligações, comprometendo o desempenho global da ponte e sua estabilidade estrutural, além de representar risco potencial à segurança da travessia.

Na figura 23 foi observado tabuleiro de madeira com descontinuidade localizada, perda de alinhamento entre pranchas e presença de material solto na faixa de rolamento.



Figura 23 - Tabuleiro de madeira com descontinuidade Fonte: Almeida, (2025)

Observa-se falha na continuidade do tabuleiro, com desnível entre peças e deslocamento de pranchas, indicando perda de fixação e degradação localizada da ligação entre elementos. Comprometimento da distribuição uniforme das cargas, favorecendo concentrações de esforços e impactos dinâmicos, com risco de agravamento das deformações e redução da segurança operacional.

Na figura 24 Observa-se, no trecho do tabuleiro e no elemento lateral de proteção guarda-corpo, degradação acentuada da madeira, com escurecimento, longitudinal, perda de material e presença de materiais soltos, visualmente é perceptível a condição de umidade persistente e deterioração superficial



Figura 24 - Tabuleiro e guarda corpo Fonte: Almeida,2026

Pela avaliação visual e registro fotográfico, as evidências são compatíveis com biodeterioração por fungos (podridão) associada à exposição prolongada à

umidade, possível falha de proteção superficial pintura e envelhecimento do material. Essas manifestações podem resultar em redução de seção resistente e rigidez da peça afetada, e maior vulnerabilidade a rupturas locais sob ações dinâmicas e impactos do tráfego.

Na figura 25 é a ponte de Itapacurá, em Itaituba, no sudoeste do Pará, estrada da Transpimental, que dá acesso a várias comunidades. à ponte do Itapacurá, uma das maiores pontes de madeira do município.



Figura 25 - Ruptura do tabuleiro da ponte do Itapacurá, em Itaituba Fonte: Folha do Progresso (2026)

Registros da Prefeitura de Itaituba também indicam que a ponte do rio Itapacurá atende à mobilidade de várias comunidades rurais, reforçando sua relevância social e funcional para a trafegabilidade local.

Do ponto de vista visual, observa-se grave descontinuidade do tabuleiro, com rompimento e deslocamento das pranchas de madeira na faixa de rolamento, além de deformação acentuada da superestrutura na região central da travessia. Esse quadro é compatível com colapso localizado, pois evidencia perda de continuidade estrutural e interrupção da condição segura de tráfego.

Em uma análise mais ampla, porém, a configuração observada também sugere potencial evolução para colapso total, uma vez que o comprometimento de elementos essenciais do tabuleiro tende a afetar a redistribuição de esforços, a estabilidade global e a capacidade resistente da ponte como um todo.

Essa interpretação é coerente com a literatura técnica sobre pontes de madeira. Milani e Kripka (2012), ao analisarem pontes de madeira em serviço, identificaram como manifestações patológicas recorrentes os defeitos nas peças do

tabuleiro, o apodrecimento avançado de vigas, a erosão no solo das fundações e os danos decorrentes de sobrecarga de veículos

Destacando que esse conjunto de problemas pode acarretar ruína estrutural e, em situações críticas, caracterizar colapso iminente. Assim, no caso da ponte do Itapacurá, o rompimento observado na imagem pode ser compreendido como o resultado visível de um processo progressivo de degradação, no qual múltiplas patologias atuam de forma associada até comprometer a segurança, a funcionalidade e a estabilidade da estrutura.

Essa interpretação encontra respaldo em estudos que analisam o comportamento de sistemas estruturais em madeira, nos quais irregularidades geométricas e falhas de ligação podem alterar os mecanismos de transferência de cargas e favorecer distribuições não homogêneas de esforços. De acordo com Araújo et al. (2025), variações locais de rigidez em elementos estruturais podem aumentar a sensibilidade do sistema a carregamentos móveis, sugerindo que descontinuidades observadas no tabuleiro tendem a influenciar o comportamento estrutural global.

Outro conjunto relevante de manifestações está associado às condições ambientais e à durabilidade dos elementos estruturais, conforme evidenciado nas no estudo da ponte, nas quais se observam manchas escuras, escorrimientos verticais e desgaste superficial da madeira. Tais características podem estar relacionadas à exposição prolongada à umidade e à ausência de proteção superficial, fatores que favorecem processos de envelhecimento do material e possíveis alterações graduais de desempenho ao longo do tempo.

A literatura que trata da patologia em estruturas de madeira indica que a exposição contínua a agentes ambientais pode contribuir para processos de degradação física e biológica, especialmente em regiões sujeitas à umidade persistente. Milani e Kripka (2012) destacam que a ação prolongada da água e a ausência de manutenção adequada podem acelerar a deterioração da madeira, sugerindo maior vulnerabilidade em elementos estruturais inferiores e regiões mais expostas.

Além das manifestações diretamente associadas ao material, observam-se indícios de influência de fatores geotécnicos no processo de degradação da estrutura, especialmente em razão de deformações em elementos inferiores e da

perda de confinamento do solo nas proximidades dos apoios. Tais condições sugerem alterações na interação solo-estrutura, capazes de interferir na distribuição dos esforços e na estabilidade global do sistema.

Estudos voltados à avaliação estrutural de pontes indicam que instabilidades no entorno dos apoios podem favorecer a ocorrência de recalques diferenciais, rotações e redistribuições indesejadas de esforços. Conforme discute Carnáuba (2017), modificações no suporte geotécnico podem afetar o comportamento estrutural global da obra, o que demonstra que a degradação observada não se limita apenas aos elementos de madeira, mas também envolve a interface entre a estrutura e o meio em que está implantada.

De forma integrada, o conjunto de evidências analisadas permite inferir que a degradação da ponte está associada à atuação simultânea de descontinuidades estruturais, envelhecimento superficial da madeira e possíveis instabilidades nas regiões de apoio. Essa interpretação reforça a necessidade de uma abordagem técnica que considere, de maneira conjunta, aspectos estruturais, ambientais e geotécnicos na avaliação do desempenho, da segurança e da durabilidade de pontes em madeira.

4.2 Solicitações atuantes

As evidências analisadas sugerem que a ponte opera sob um regime de solicitações potencialmente agravado por descontinuidades no tabuleiro e por irregularidades no caminho de transmissão das cargas. As manifestações observadas não se apresentam de forma isolada, mas parecem estar associadas a uma resposta estrutural não homogênea diante das ações permanentes e variáveis atuantes sobre a travessia.

No conjunto avaliado, verificam-se sinais de comprometimento funcional do tabuleiro, especialmente em razão da ausência de elementos e da perda de alinhamento entre pranchas. Nessas condições, a descontinuidade da superfície de rolamento pode alterar a forma de introdução das cargas móveis na estrutura, favorecendo impactos localizados e uma distribuição não uniforme de esforços ao longo do sistema resistente.

Essa interpretação encontra respaldo em estudos que analisam o comportamento estrutural de sistemas em madeira, nos quais irregularidades geométricas podem influenciar a transferência de cargas e o desempenho global da estrutura. Conforme discutido por Araújo et al. (2025), variações locais de rigidez tendem a modificar o mecanismo resistente, sugerindo maior sensibilidade estrutural em regiões com descontinuidades.

Na ponte em análise, também se observam situações em que a ausência de pranchas e a exposição direta das longarinas podem interromper o caminho regular das cargas, comprometendo a continuidade funcional do tabuleiro. Nesse sentido, Cheung et al. (2017) destacam que a integridade do tabuleiro contribui para a redistribuição eficiente das solicitações, de modo que perdas de continuidade podem reduzir a previsibilidade do comportamento estrutural sob cargas móveis.

A análise também indica que a resposta estrutural da ponte pode estar relacionada à estabilidade dos apoios e à interação da estrutura com o solo. Deformações em elementos inferiores e perda de confinamento do solo no entorno dos pilares sugerem possíveis alterações nas condições de suporte, capazes de influenciar a redistribuição de esforços ao longo da travessia.

Estudos voltados à patologia de estruturas em madeira apontam que instabilidades no suporte podem induzir recalques diferenciais e redistribuições indesejadas de esforços. Milani e Kripka (2012) destacam que alterações na interface solo-estrutura tendem a impactar diretamente o desempenho sob carregamentos permanentes e variáveis, indicando maior vulnerabilidade estrutural nessas condições.

De maneira complementar, observam-se sinais de envelhecimento superficial e desgaste em elementos estruturais localizados em regiões inferiores, especialmente em pilares e vigas submetidos à compressão e à flexão. Esse quadro pode estar associado à redução gradual das propriedades mecânicas ao longo do tempo, sobretudo quando combinado a irregularidades geométricas e a condições ambientais desfavoráveis.

De forma integrada, a avaliação frente às solicitações atuantes sugere que o comportamento estrutural da ponte está condicionado pela interação entre descontinuidades do tabuleiro, possíveis instabilidades nos apoios e desgaste progressivo dos elementos resistentes. Esse conjunto de fatores pode reduzir a

previsibilidade do comportamento estrutural e favorecer concentrações localizadas de esforços, evidenciando limitações funcionais diante das cargas móveis de tráfego.

4.3 Proposição de alternativa em concreto armado

A avaliação estrutural de pontes constitui procedimento essencial para assegurar a segurança, a funcionalidade e a durabilidade dessas estruturas ao longo de sua vida útil, uma vez que permite examinar de forma sistemática as condições dos elementos resistentes, as ações atuantes e a integridade global do sistema estrutural. Esse processo possibilita identificar patologias, falhas construtivas e limitações de desempenho que, quando não tratadas, comprometem a previsibilidade do comportamento estrutural e a segurança dos usuários.

A partir dos resultados obtidos, a proposição de uma solução em concreto armado mostra-se tecnicamente adequada ao contexto local, diante das limitações de desempenho, durabilidade e segurança da estrutura existente. As manifestações observadas no tabuleiro, vigas, pilares e acessos indicam que a ponte em madeira não responde satisfatoriamente às solicitações permanentes e variáveis do tráfego nem às ações ambientais predominantes, como elevada umidade, contato direto com a água e processos erosivos no entorno dos apoios, comprometendo a estabilidade global da travessia.

Essa leitura encontra respaldo nos critérios normativos que orientam a verificação das ações atuantes e das combinações de carregamento mais desfavoráveis, fundamentais para a análise da segurança estrutural. Nesse sentido, a ABNT (2003), por meio da NBR 8681, estabelece que a concepção e a avaliação de estruturas devem considerar as combinações críticas de ações permanentes e variáveis, evidenciando que sistemas com perda de rigidez e descontinuidade no caminho de cargas, como observado na ponte em madeira, apresentam maior vulnerabilidade sob solicitações reais de serviço.

Sob essa perspectiva, a solução em concreto armado se justifica por dois eixos principais: a perda de continuidade do tabuleiro em madeira, associada à deficiência das ligações e à descontinuidade do caminho de cargas, e as instabilidades no entorno dos apoios e acessos, marcadas por erosão e perda de suporte do solo. A alternativa proposta busca restabelecer um caminho de cargas

contínuo, reduzir a sensibilidade às ações ambientais e conferir rigidez global compatível com as solicitações móveis, minimizando concentrações de esforços e deformações localizadas.

A importância da correta transmissão de esforços entre os elementos estruturais reforça essa escolha, uma vez que a eficiência das ligações e a adequada distribuição das ações são determinantes para a estabilidade global das pontes. Estudos desenvolvidos por Araújo et al. (2025) demonstram que sistemas estruturais com ligações eficientes e caminhos de cargas bem definidos apresentam comportamento mais previsível e seguro, ao passo que descontinuidades estruturais favorecem sobrecargas localizadas e comprometem o desempenho funcional, situação observada na estrutura existente em madeira.

A correta transmissão de esforços entre os elementos estruturais constitui fator essencial para o desempenho e a estabilidade global das pontes, pois a eficiência das ligações influencia diretamente a forma como as cargas são distribuídas ao longo do sistema resistente. Nesse sentido, Araújo et al. (2025) demonstram que estruturas com caminhos de cargas contínuos e ligações bem definidas tendem a apresentar comportamento mais previsível e seguro, enquanto descontinuidades estruturais podem favorecer concentrações localizadas de esforços e redução do desempenho funcional, condição compatível com o cenário observado na ponte em madeira analisada.

Com base nessas premissas, propõe-se a implantação de uma ponte rodoviária em concreto armado, concebida com vão único de 31 metros de comprimento, compatível com a travessia atual, e largura total de 9 metros, destinada ao tráfego em mão dupla, organizada em duas faixas de rolamento de 4 metros cada, além das faixas de segurança laterais. A Figura 26 ilustra a proposta de solução estrutural em concreto armado, evidenciando a configuração geral da travessia projetada.



Figura 26- Proposta de solução estrutural em concreto armado. Fonte: Almeida,2026

A adoção de um vão único, conforme representado na Figura 27 (elaborada no software Lumion View 2025), permite a eliminação de apoios intermediários no leito do curso d'água, reduzindo significativamente os riscos associados à erosão. Esse aspecto é particularmente relevante no contexto analisado, uma vez que a instabilidade do solo e os processos erosivos foram identificados como fatores críticos no desempenho da solução em madeira.



Figura 27- Ponte rodoviária em concreto armado com vão único. Fonte: Almeida,2026

Do ponto de vista da resposta estrutural às solicitações atuantes, a superestrutura proposta compreende tabuleiro em concreto armado apoiado em vigas longitudinais, dimensionadas para suportar cargas móveis rodoviárias, ações permanentes e efeitos dinâmicos. A Figura 22 apresenta a concepção da ponte

rodoviária em concreto armado, evidenciando a organização estrutural adotada para garantir adequada distribuição de esforços e maior rigidez global do sistema.



Figura 28- Vista ponte rodoviária em concreto armado. Fonte: Almeida, 2026

A confiabilidade estrutural ao longo do tempo constitui outro fator decisivo nessa escolha, uma vez que estruturas submetidas a ações ambientais agressivas demandam soluções com maior robustez e menor sensibilidade à degradação. Nesse contexto, Campos et al. (2021) ressaltam que a análise do comportamento estrutural e da eficiência dos sistemas resistentes permite avaliar a robustez da estrutura e subsidiar estratégias de monitoramento e manutenção preventiva, aspecto em que o concreto armado apresenta desempenho superior quando comparado à madeira exposta.

A mesoestrutura da proposta é composta por pilares em concreto armado posicionados junto às margens, associados a encontros robustos capazes de absorver os esforços verticais e horizontais transmitidos pela superestrutura, além de promover melhor integração com os aterros de acesso. A infraestrutura contempla fundações profundas em estacas, solução adequada às condições geotécnicas locais, assegurando estabilidade global, controle de recalques e desempenho satisfatório ao longo da vida útil da ponte, especialmente frente às variações hidrológicas e às solicitações do tráfego.

A relevância dos fatores geotécnicos e hidrológicos para o comportamento estrutural das pontes reforça essa opção técnica, uma vez que alterações no solo e no regime hidráulico podem induzir redistribuições de esforços e deformações significativas. Silva e Moraes (2025) destacam que instabilidades no terreno e

processos erosivos no entorno dos apoios comprometem diretamente a estabilidade das estruturas, tornando imprescindível a adoção de soluções que garantam maior segurança e previsibilidade estrutural.

Assim, a solução em concreto armado oferece vantagens técnicas expressivas em relação à estrutura existente, destacando-se o aumento da capacidade resistente, a maior durabilidade frente às ações ambientais, a redução das necessidades de manutenção corretiva frequente e o atendimento mais eficiente às exigências normativas vigentes. Nesse sentido, a ABNT (2021), por meio da NBR 7187, estabelece diretrizes específicas para o projeto e a avaliação de pontes de concreto, definindo critérios para análise estrutural, verificação dos estados limites e dimensionamento dos elementos, o que consolida a alternativa proposta como coerente com os resultados da análise realizada e com as demandas funcionais e de segurança da travessia estudada.

5 CONCLUSÃO

A presente pesquisa teve como objetivo analisar as condições estruturais de uma ponte rodoviária em madeira localizada no município de Itaituba, PA, por meio da identificação das manifestações patológicas, da avaliação do possível efeito das patologias na ponte e da proposição de uma solução estrutural tecnicamente adequada. A partir de inspeções *in loco*, registros fotográficos e análise técnica, os resultados sugerem que a ponte apresenta um quadro avançado de degradação estrutural, possivelmente associado à atuação combinada de fatores construtivos, ambientais e geotécnicos, com potenciais impactos sobre sua funcionalidade, segurança e durabilidade ao longo do tempo.

No que se refere ao primeiro objetivo específico, relacionado à identificação dos fatores estruturais e ambientais associados à degradação, observou-se que as principais manifestações estão associadas à descontinuidade do tabuleiro em madeira, à deficiência das ligações entre elementos, ao envelhecimento superficial do material e à exposição contínua às ações ambientais, especialmente umidade elevada. Além disso, evidências de perda de confinamento do solo no entorno dos apoios e deformações em elementos de contenção sugerem influência geotécnica relevante, indicando que a degradação observada não se restringe ao material madeira, mas envolve também a interação estrutura-solo.

Em relação ao segundo objetivo específico, que consistiu na avaliação das condições estruturais frente às solicitações atuantes, a análise indica que a estrutura pode estar operando sob um regime de carregamento influenciado pela perda de continuidade do caminho de cargas e pela irregularidade da superfície de rolamento. As manifestações observadas no tabuleiro, como ausência localizada de elementos, desalinhamentos e descontinuidades, sugerem redução da rigidez local e possível concentração de esforços sob tráfego, o que pode contribuir para a perda de previsibilidade do comportamento estrutural.

O terceiro objetivo específico consistiu na proposição de uma solução estrutural em concreto armado, fundamentada nos achados obtidos e nos critérios normativos aplicáveis. Nesse contexto, a substituição da ponte em madeira por uma estrutura em concreto armado se apresenta como alternativa tecnicamente justificável, considerando a necessidade de restabelecer um caminho de cargas

contínuo, ampliar a rigidez global e reduzir a sensibilidade da estrutura às ações ambientais e geotécnicas. A solução proposta, composta por superestrutura em concreto armado e fundações profundas, tende a oferecer ganhos em termos de durabilidade, capacidade resistente e redução de demandas de manutenção ao longo da vida útil.

Quanto aos questionamentos de pesquisa, os resultados indicam que os principais fatores associados à degradação da ponte envolvem a descontinuidade do tabuleiro, o envelhecimento superficial da madeira, a exposição contínua à umidade e possíveis instabilidades no entorno dos apoios. A avaliação estrutural sugere um sistema com transferência de cargas potencialmente irregular e maior suscetibilidade a concentrações localizadas de esforços. Por sua vez, a solução estrutural proposta se apresenta como alternativa tecnicamente viável para restabelecer níveis adequados de desempenho e segurança compatíveis com as exigências normativas.

Apesar dos resultados obtidos, algumas limitações devem ser consideradas, especialmente a ausência de ensaios laboratoriais para caracterização mecânica da madeira e de investigações geotécnicas detalhadas, que poderiam fornecer maior precisão quantitativa às interpretações apresentadas. Ainda assim, a abordagem adotada permitiu uma avaliação consistente das condições estruturais observadas e fundamentou a proposição de uma alternativa estrutural compatível com o contexto analisado.

Recomenda-se que estudos futuros incorporem modelagens estruturais mais detalhadas e investigações geotécnicas específicas, visando aprofundar a compreensão do comportamento estrutural de pontes em madeira em condições similares. Espera-se que esta pesquisa contribua para o planejamento de intervenções em pontes rodoviárias na região amazônica, subsidiando decisões que priorizem a segurança estrutural, a durabilidade das obras e a eficiência das soluções adotadas.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, Ryan Victor Silva de; DIAS, Felipe Siqueira; SOUSA, Paulo Fernando Silva. Otimização em vigas de madeira de acordo com a NBR 7190:2022. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 25, e142356, jan./dez. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7187:2021**: Projeto de pontes, viadutos e passarelas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7190-1**: Projeto de estruturas de madeira - Parte 1: Critérios de dimensionamento. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681**: Ações e segurança nas estruturas - Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

CAMPOS, Clarice da Silva Machado; CARVALHO, Eduarda Muniz Bucker de; OLIVEIRA, Maria Letícia Gaudard Jardim de; OLIVEIRA, Muriel Batista de; SOUZA, Rômulo Rodrigues Coelho Delfino. Estudo sobre patologias em pontes. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 12, p. 120720-120734, dez. 2021.

CARNÚBA, Karla Soares. **Manifestações patológicas em pontes sobre a rodovia AL-220, no trecho entre Delmiro Gouveia e Olho d'Água do Casado-AL**. 2017. 88 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Campus do Sertão, Delmiro Gouveia, 2017.

CHEUNG, Andrés Batista; SCALIANTE, Ricardo de Mello; LINDQUIST, Malton; CHRISTOFORO, André Luis. Confiabilidade estrutural de uma ponte protendida de madeira considerando o tráfego real. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 2, p. 221–232, abr./jun. 2017.

COSTA, Maria João Mendes da. **Pontes rodoviárias em madeira: estudo comparativo de tabuleiros comuns**. 2017. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Braga, 2017.

FERNANDES, Antônio Vitor Barbosa; CORREIA, Vinicius Costa. Uma introdução ao estudo das pontes em viga. **Ciências Exatas e Tecnológicas**, Aracaju, v. 4, n. 1, p. 115–138, mar. 2017.

GONÇALVES, Lukas Gama. **Projeto estrutural de ponte em madeira em arco com tabuleiro inferior**. 2023. 169 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Politécnico, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Macaé, 2023.

KHOURI, Gustavo Elias; SERAPIÃO, Mariana Silva. **Evolução histórica das pontes**. Prezi, 2015. Disponível em: https://prezi.com/pe8hi_q4g5z6/evolucao-historica-das-pontes/. Acesso em: 5 fev. 2026.

MAZARIM, Diego Montagnini. **História das pontes estaiadas e sua aplicação no Brasil**. 2011. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

MILANI, Cleovir José; KRIPKA, Moacir. A identificação de patologias em pontes de madeira: diagnóstico realizado no sistema viário do município de Pato Branco – Paraná. **REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, Goiânia, v. 1, n. 4, p. 23–33, 2012.

PARDINHO, A. F.; MOREIRA, L. M. Análise de patologias em ponte de madeira do município de Aquidauana/MS. **RIPE – Revista Interdisciplinar de Pesquisa e Extensão**, v. 10, n. 1, p. 41–51, 2024.

POMPEU, Lorena Rodrigues; ROSA, Carolina Coelho da. Identificação de patologias em pontes de madeira: estudo de caso na cidade de Breu Branco – Pará. In: **Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas**, 14., 2023, Brasil. Anais... 2023.

SILVA, Luanna dos Reis; MORAIS, Wesley Wilker Corrêa. Avaliação de pontes de madeira na vicinal 19, município de Rorainópolis, Roraima, Brasil. **Revista Eletrônica Casa de Makunaima**, v. 7, n. 1, jan./jun. 2025.

SILVA, Vinícius Moura. **Verificação de uma ponte de madeira com estrutura treliçada de acordo com a NBR 7190:2022**. 2014. 25 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2024.

STEFANI, Alessandro; GOBI, Bruna; HEMERICH, Kelly; PRAUCHNER, Marcio Baldissera. Pontes de madeira: degradação e soluções tecnológicas híbridas. **Revista de Arquitetura IMED**, v. 5, n. 1, p. 102-108, jan./jun. 2016.

VOGEL, Bianca Seide; ROSAS, Letícia Reis Batista. Análise técnica de pontes em madeira na região Norte de Mato Grosso. **Revista de Arquitetura & Engenharia de Mato Grosso**, v. 1, jun. 2024.

VITÓRIO, José Afonso Pereira. **Pontes Rodoviárias: Fundamentos, Conservação E Gestão**. Recife: CREA-PE, 2002.

ARAUJO, Henrique José Borges de. Caracterização do material madeira. In: SEMANA DO MEIO AMBIENTE DA UFRA/CAPANEMA, 2020.

GIL, Antonio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. São Paulo: Atlas, 2002.

YIN, Robert K. Estudo de caso: planejamento e métodos. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

Departamento Nacional De Infraestrutura De Transportes (Dnit). DNIT 010/2024-PRO: inspeções em pontes e viadutos rodoviários e passarelas de pedestres – procedimento. Brasília: DNIT, 2024.

CAÇAMBA cai em rio após ponte ceder em Itaituba. Folha do Progresso, 17 jan. 2026. Disponível em: Folha do Progresso. Acesso em: 17 mar. 2026

GIL, Antonio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

MINAYO, Maria Cecília de Souza (org.). Pesquisa social: teoria, método e criatividade. 18. ed. Petrópolis: Vozes, 2001.