

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

MARCELO REIGUEL

**AVALIAÇÃO DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO DE PONTES RURAIS NO
MUNICÍPIO DE NOVA TEBAS-PR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO
2015

MARCELO REIGUEL

**AVALIAÇÃO DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO DE PONTES RURAIS NO
MUNICÍPIO DE NOVA TEBAS-PR**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado à Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior em Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, para obtenção do título de bacharel em engenharia civil.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Luís Nunes de Góes

CAMPO MOURÃO
2015



Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Campo Mourão
DACOC – Departamento Acadêmico de Construção Civil
Coordenação de Engenharia Civil

TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso

AVALIAÇÃO DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO DE PONTES RURAIS NO MUNICÍPIO DE NOVA TEBAS-PR

por

Marcelo Reiguel

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 10h20min do dia 27 de novembro de 2015 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Me. Nery Knöner

(UTFPR)

Prof^a. Dra. Fabiana Goia Rosa de Oliveira

(UTFPR)

Prof. Dr. Jorge Luís Nunes de Góes

(UTFPR)

Orientador

Responsável pelo TCC: **Prof. Me. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia Civil:

Prof. Dr. Marcelo Guelbert

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela saúde e a capacidade de alcançar meus objetivos de vida.

A minha família, pelo apoio incondicional, pela motivação e encorajamento.

Em especial ao meu orientador Professor Dr. Jorge Luís Nunes de Góes, pela bondade, pelo apoio, pela permanente disponibilidade e incentivo, fornecendo todo o auxílio necessário para a realização deste trabalho.

Aos professores do Curso de Engenharia Civil pela dedicação e por sempre nos guiar pelo melhor caminho.

Aos meus amigos, pelo companheirismo e pela convivência ao longo desses anos.

Aos demais professores da UTFPR que fizeram parte da minha graduação.

E por fim, a todos que não foram citados diretamente, mas que contribuíram de forma direta ou indireta para a minha formação acadêmica.

RESUMO

REIGUEL, Marcelo. **Avaliação do estado de conservação de pontes rurais no Município de Nova Tebas-PR**. 2015. 105 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2015.

Este trabalho apresenta um estudo sobre os agentes que afetam a durabilidade de pontes de madeira, as características para elaboração de projeto com foco em evitar a instalação de agentes deterioradores, os defeitos em peças de madeira, os principais agentes deterioradores, os tipos de produtos preservativos e métodos de tratamento de acordo com as classes de risco, os procedimentos para a realização de inspeções e métodos de manutenção preventiva e corretiva. Foram avaliadas cinco pontes no sistema de vigas bi apoiadas de madeira roliça no Município de Nova Tebas-PR, com a intenção de verificar o estado de conservação e os aspectos que interferem na sua durabilidade, contou-se com a colaboração de funcionários da prefeitura do município para a obtenção de dados. Foram utilizadas técnicas semi-destrutivas e não-destrutivas, com o devido registro fotográfico para as avaliações. A partir das avaliações, concluiu-se que devido à sistemas construtivos inadequados pela falta de conhecimento técnico, e às poucas manutenções periódicas, as pontes localizadas na área rural do município estão em mau estado de conservação.

Palavras-chave: Pontes. Madeira. Conservação.

ABSTRACT

REIGUEL, Marcelo. **Conservation status evaluation in country bridges in Nova Tebas City, in Paraná State**. 2015. 105 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2015.

This work presents a study about agents that affect the durability of wooden structures, characteristics for elaborations of design with focus in avoid the installation of spoilage agents, defects in wooden parts, main biotic agents and abiotic, kinds of preservative products and methods of treatment according the risk classes, the procedures to conducting inspections and methods of maintenance preventive and maintenance corrective. Five bridges in the system of beams of plump wood bi supported were inspected in Nova Tebas City, in Paraná State, with intention to check the conservation state and aspects that interfere in their durability. We had the collaboration of city government officials to obtain data. Technical semi-destructive and non-destructive were used, with due photographic record for evaluations. From de evaluations, it is concluded that due to inadequate construction systems by the lack of the technical knowledge, a few periodic maintenance, the bridges in the rural area of the municipality are in bad state of conservation.

Palavras-chave: Bridges. Wood. Conservation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Presença de medula (a); Faixas de parênquima (b); Nó íntegro (c); nó oco (d).....	21
Figura 2 – Mancha azul (a); Podridão branca (b); Podridão parda (c)	22
Figura 3 – Perfurações pequenas (a); Perfurações grandes (b)	22
Figura 4 – Encanoamento (a); Arqueamento (b); Encurvamento (c); Torcimento (d)	23
Figura 5 – Escamas (a); Rachadura (b)	24
Figura 6 – Arestas quebradas (a); Variação da seção transversal (b); Quina morta (c)	24
Figura 7 – Diagrama de principais organismos xilófagos	25
Figura 8 – Inseto coleóptero.....	26
Figura 9 – Cupim de madeira seca e cupim de terra.....	27
Figura 10 – Formiga carpinteira	27
Figura 11 – Diagrama da estrutura do fungo.....	28
Figura 12 – Ciclo de vida dos fungos	28
Figura 13 – Fungos manchadores.....	30
Figura 14 – Fungos emboloradores	31
Figura 15 – Aspecto de madeira atacada por fungos de podridão branca.....	32
Figura 16 – Aspecto de madeira atacada por fungos de podridão parda.....	32
Figura 17 – Aspecto de madeira atacada por fungos de podridão mole	33
Figura 18 – Peça de madeira danificada por abrasão mecânica.....	34
Figura 19 – Superfície queimada pelo sol (esquerda), superfície aplainada (direita)	34
Figura 20 – Resistência ao fogo.....	35
Figura 21 – Aspecto de prego sofrendo corrosão	35
Figura 22 – Processo de decisão para escolha da espécie de madeira e do tratamento	37
Figura 23 – Tratamento por pulverização (a); Tratamento por pincelamento (b)	42
Figura 24 – Imersão simples (a); Imersão automática (recém serrada) (b); Banho quente-frio (c).....	43
Figura 25 – Método de substituição de seiva	44
Figura 26 – Planta de usina de tratamento de madeiras em autoclave.....	45
Figura 27 – Execução do Processo Gewecke.....	46
Figura 28 – Esquema de funcionamento do Processo Bethell.....	47

Figura 29 – Inspeção visual (a); Teste sonoro (b); Teste de sondagem (c); Medição do teor de umidade (d); Microperfuração (e).....	53
Figura 30 – Ligação tipo bisel (a); Reforço por peças de madeira parafusadas (b); Reforço por chapas metálicas parafusadas (c); Encamisamento em concreto (d)....	56
Figura 31 – Tipos de vigas laminadas coladas utilizando fibras reforçadas com polímeros.....	56
Figura 32 – Município de Nova Tebas-PR.....	57
Figura 33 – Mapa da localização geográfica das pontes	59
Figura 34 – Vista superior da estrutura	61
Figura 35 – Planta das seções da estrutura.....	62

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 – Ponte sobre o Rio Putinga	60
Fotografia 2 – Vista lateral da estrutura	60
Fotografia 3 – Abrasão mecânica em prancha do rodeiro.....	63
Fotografia 4 – Acúmulo de solo entre as pranchas do rodeiro	63
Fotografia 5 – Rachaduras nas pranchas do rodeiro	64
Fotografia 6 – Desgaste por corrosão e afrouxamento dos pregos de aço.....	64
Fotografia 7 – Presença de hifas de fungos causadores deterioração.....	65
Fotografia 8 – Pranchas com extremidades rachadas e degradação	65
Fotografia 9 – Acúmulo de solo e crescimento de vegetação no tabuleiro	66
Fotografia 10 – Afrouxamento dos pregos de aço do tabuleiro.....	66
Fotografia 11 – Presença de manchas, hifas de fungos e musgo na viga A.....	67
Fotografia 12 – Presença de cogumelos na viga A.....	67
Fotografia 13 – Presença de hifas de fungos e caminho de cupins de solo.....	68
Fotografia 14 – Desprendimento de partes apodrecidas da viga B.....	68
Fotografia 15 – Execução de entalhe na viga D e extremidade em contato com o solo.....	69
Fotografia 16 – Rachadura estrutural séria, ruptura por fendilhamento (Viga C - Lado sul)	69
Fotografia 17 – Rachadura estrutural séria, ruptura por fendilhamento (Viga C - Lado norte).....	70
Fotografia 18 – Detalhe do cabo de aço	70
Fotografia 19 – Trincas no muro por sobrecargas e desprendimento de argamassa (Lado Sul).....	71
Fotografia 20 – Trincas, desprendimento de argamassa e crescimento de planta (Lado Norte)	72
Fotografia 21 – Presença de cupins na viga D da Ponte 2.	73
Fotografia 22 – Pranchas do tabuleiro com arestas quebradas	73
Fotografia 23 – Mancha escura decorrente da deterioração do prego de aço	74
Fotografia 24 – Apodrecimento de prancha do rodeiro após danos por abrasão.....	74
Fotografia 25 – Pequenas perfurações de insetos na Viga D (Ponte 3).....	75
Fotografia 26 – Pranchas quebradas (extremidades em balanço).....	75

Fotografia 27 – Cabeceira em pedra argamassada destruída, vigas apoiadas sobre o solo.....	76
Fotografia 28 – Vigas apoiadas diretamente sobre o solo	76
Fotografia 29 – Pranchas rachadas nas extremidades devido a secagem in loco	77
Fotografia 30 – Manutenção corretiva, substituição de pranchas do tabuleiro.....	77
Fotografia 31 – Guarda-rodas ineficiente	78
Fotografia 32 – Encanoamento em prancha do tabuleiro devido à secagem in loco	78
Fotografia 33 – Remoção de madeira das vigas (entalhes)	79

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classes de risco para o uso da madeira como material de construção..	38
Quadro 2 – Madeira serrada	39
Quadro 3 – Madeira roliça	39
Quadro 4 – Classe de Risco 4.....	48
Quadro 5 – Classe de Risco 5.....	49
Quadro 6 – Classe de Risco 6.....	49
Quadro 7 – Técnicas para avaliação não destrutiva aplicadas a estruturas de madeira	52
Quadro 8 – Localização geográfica das pontes	58

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Defeitos nas peças do rodeiro e tabuleiro	81
Gráfico 2 - Ação de agentes abióticos.....	81
Gráfico 3 – Presença de agentes bióticos.....	82
Gráfico 4 – Estágio de deterioração das vigas.....	82

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CCA	Cromo-Cobre-Arsênio
CCB	Cromo-Cobre-Boro
CR	Classe de Risco
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
NBR	Norma Brasileira
NDT	Non Destructive Technique
pH	Potencial Hidrogeniônico
PR	Paraná
SA	Sociedade Anônima

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 JUSTIFICATIVA	17
3 OBJETIVOS	18
3.1 OBJETIVO GERAL	18
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
4.1 DURABILIDADE DA MADEIRA.....	19
4.2 DEFEITOS DA MADEIRA	20
4.2.1 Defeitos de Origem Anatômica.....	20
4.2.2 Defeitos por Ataques Biológicos.....	21
4.2.3 Defeitos Decorrentes da Secagem da Madeira.....	23
4.2.4 Defeitos de Processamento da Madeira.....	24
4.3 DETERIORAÇÃO DA MADEIRA	25
4.3.1 Agentes Bióticos.....	25
4.3.1.1 Insetos.....	26
4.3.1.2 Fungos	27
4.3.2 Agentes Abióticos.....	33
4.4 PRESERVAÇÃO DE MADEIRAS	36
4.4.1 Sistema de Classe de Risco.....	38
4.4.2 Seleção da Espécie da Madeira.....	39
4.4.2.1 Durabilidade Natural.....	40
4.4.2.2 Tratabilidade.....	40
4.4.3 Produtos Preservativos	40
4.4.4 Métodos de Tratamento	41
4.4.5 Retenção e Penetração do Produto Preservativo	48
4.5 INSPEÇÃO, MANUTENÇÃO E REPAROS.....	50
4.5.1 Procedimentos nas Inspeções	50
4.5.2 Tipos de Inspeção	51
4.5.3 Técnicas de Inspeção.....	52
4.5.4 Manutenção Preventiva.....	54
4.5.5 Manutenção Corretiva	54

4.5.5.1 Manutenção corretiva devido à presença de deterioração inicial	54
4.5.5.2 Manutenção corretiva e tardia devido à presença de deterioração severa ...	55
5 METODOLOGIA	57
5.1 VISITA TÉCNICA E COLETA DE DADOS	57
5.2 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DAS PONTES	58
5.3 AVALIAÇÃO DAS PONTES DE MADEIRA.....	59
5.3.1 Ponte 1	59
5.3.2 Descrição da Estrutura.....	60
5.3.3 Rodeiro.....	63
5.3.4 Tabuleiro	65
5.3.5 Vigas	67
5.3.6 Região dos Apoios	71
5.3.7 Considerações Sobre a Ponte 1.....	72
5.3.8 Principais Patologias Identificadas nas Pontes	73
5.3.9 Ações de Manutenção Adotadas nas Pontes.....	79
6 RESULTADOS.....	80
6.1 Indicação de Possíveis Ações de Manutenção Preventivas e Corretivas	83
7 CONCLUSÃO	84
REFERÊNCIAS.....	86
ANEXOS	88

1 INTRODUÇÃO

O uso da madeira como material de construção remete a tempos longínquos da história humana, onde frequentemente era combinada com pedras para realizar grandes obras de engenharia na antiguidade. Mas somente com o recente avanço tecnológico, foi possível estudar as características do material, o desenvolvimento de modernas técnicas construtivas, e de métodos de cálculo precisos que tornaram possível projetar e executar os mais diversos tipos de sistemas estruturais.

A madeira é um material de construção de fácil obtenção, encontrada em abundância na natureza e possibilita diversas formas de utilização, tal fato possibilitou a evolução da civilização para a forma que a conhecemos.

Devido ao fato da madeira ser um produto de origem orgânica, tem uma tendência natural à deterioração, nela atuam agentes físicos, químicos, biológicos e ambientais, e o papel dos engenheiros e construtores é identificar os possíveis agentes deterioradores, de acordo com o local e as condições em que a estrutura será executada, para que assim se tomem os devidos cuidados, específicos para cada caso, visando garantir a durabilidade da estrutura.

As pontes de madeira construídas em áreas rurais são de grande importância, pois possibilitam além do trânsito dos moradores dessas regiões, também a entrada de insumos e o escoamento da produção agrícola, que representa uma grande parcela da contribuição para a economia nacional.

O projeto e a construção da maioria das pontes de madeira no Brasil são feitos por pessoas que não dispõem de conhecimento técnico em estruturas de madeira, reduzindo assim sua durabilidade, tornando-as mais caras e inseguras. Incluindo neste contexto a má conservação das estradas rurais, por parte da Administração Pública, a consequência do emprego desses processos incorretos é a recorrente manutenção corretiva.

2 JUSTIFICATIVA

Apesar da persistente idéia errônea de que a madeira tem uma curta vida útil, Calil e Brito (2010, p. 2) afirmam que a sua utilização tem inúmeras vantagens que a elegem como um excelente material de construção, a madeira roliça por exemplo, é um material com grande disponibilidade, possui baixa densidade, exige um baixo consumo energético para a sua produção e processamento, de fácil manuseio, não exige mão de obra muito especializada, possibilita a execução de construções mais ágeis e com um custo inferior se comparada ao aço e o concreto.

De acordo com Calil *et al.* (2006, p. 1), apesar da madeira estar sujeita ao ataque de agentes deterioradores, quando tratada adequadamente com produtos preservativos demanda pouca manutenção e pintura, desta forma a madeira pode durar por um período de 50 anos ou mais.

Tendo em vista que o país possui uma extensa rede hidrográfica, é evidente a necessidade de pontes, que nas vias rurais, na sua maioria são necessárias pontes de pequenos vãos. A utilização de espécies de madeira de reflorestamento se mostra importante em construções correntes, por ser um material renovável e de grande disponibilidade, o que satisfazem as exigências ambientais e econômicas (OKIMOTO; CALIL, 2002, p. 27).

A fim de garantir a segurança da estrutura, assegurar a durabilidade e o prolongamento da vida útil das pontes, Brito e Calil (2013) afirmam que é de suma importância a realização de inspeções periódicas com o intuito de identificar a ocorrência de patologias, e se necessário, indicar as possíveis soluções de manutenções preventivas e/ou corretivas. Atualmente se constata a falta de políticas públicas de gestão em manutenções preventivas e de controle de pontes no Brasil, o que tem levado a predisposição do desenvolvimento de deterioração dos elementos estruturais, implicando na necessidade de reforços, recuperações, ou em caso extremo, a condenação da estrutura.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

O trabalho tem como objetivo realizar um levantamento de pontes de madeira construídas na área rural do município de Nova Tebas-PR, com a finalidade de avaliar seu estado de conservação, identificando as patologias existentes que comprometem o bom funcionamento, trazem insegurança aos usuários e reduzem a sua durabilidade.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar estudo bibliográfico sobre os agentes que afetam a durabilidade de estruturas de madeira.
- Realizar o mapeamento geográfico das pontes de madeira a serem avaliadas.
- Caracterizar as pontes, de forma a descrever a estrutura, como o sistema estrutural adotado, a disposição dos elementos estruturais e as suas dimensões.
- Verificar a ocorrência de defeitos nos elementos estruturais.
- Avaliar o estado de conservação através de inspeção, visando identificar os tipos de agentes causadores da deterioração (bióticos e abióticos).
- Identificar os processos de manutenção adotados.
- Avaliar a necessidade de ações preventivas e/ou corretivas.
- Adaptar a Ficha de Inspeção da Norma Técnica 010/2004-PRO do DNIT para uso em pontes de madeira.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 DURABILIDADE DA MADEIRA

Com base na NBR 7190 (ABNT, 1997), ao desenvolver um projeto de uma estrutura de madeira, deve-se garantir a durabilidade do material, que seja compatível com o seu uso e com o valor do investimento. Por ser um material orgânico, a madeira está sujeita à biodeterioração, tendo em vista que os elementos das estruturas podem estar expostos a ambientes que favorecem os ataques de agentes biodeterioradores. É importante a escolha de espécies com boa resistência natural aos ataques ou que possuam características que viabilizem o tratamento com produtos preservativos.

Considerando a avaliação de viabilidade técnica e econômica de um projeto, a durabilidade é um dos fatores decisivos. A durabilidade das pontes deve ser imposta pelo projetista desde o momento de sua concepção, tomando as devidas precauções, como o detalhamento de projetos, controle de qualidade dos materiais, captação e drenagem de águas, tratamento adequado com preservativos e as prescrições de inspeção e manutenção da estrutura (OKIMOTO; CALIL, 2002).

Calil *et al* (2006, p. 58) ressaltam que o projetista, visando garantir a durabilidade, deve usar a seguinte combinação de fatores:

- Melhor detalhamento de projeto: Com a finalidade de se obter um projeto mais eficiente, considerando a proteção da estrutura contra a incidência de chuva e raios solares, adotando sistemas de drenagem rápida de água e a secagem de áreas úmidas.

- Tratamento Preservativo: Com o objetivo de preservar a madeira contra agentes biodeterioradores, utilizando produtos químicos sob pressão, e o tratamento superficial.

- Inspeção, manutenção e reparos: A inspeção é realizada com vistorias periódicas e sistemáticas, tendo como objetivo a busca por sinais de deterioração. A manutenção tem como objetivo realizar a limpeza da estrutura para que se evite o

acúmulo de umidade, e também a limpeza de calhas e canais de drenagem de água. Os reparos são serviços destinados a consertos, como adicionar proteções caso necessário e refazer os acabamentos superficiais no tempo apropriado.

4.2 DEFEITOS DA MADEIRA

É fundamental conhecer os defeitos que podem ocorrer na madeira para que se possa realizar uma classificação preliminar dos elementos que serão utilizados, de acordo com parâmetros fixados, a fim de garantir a eficiência determinada em projeto.

De acordo com Calil, Okimoto e Pfister (2005, p. 4), os defeitos podem afetar as propriedades físicas e mecânicas da madeira, o que limita a sua utilização, e são caracterizados por irregularidades e imperfeições.

Os defeitos podem ter origem na constituição do tronco ou no momento do processamento das peças, que prejudicam o aspecto visual, a resistência ou a durabilidade (PFEIL; PFEIL, 2003, p. 6).

4.2.1 Defeitos de Origem Anatômica

Segundo Calil, Okimoto e Pfister (2005), esse tipo de defeito varia de acordo com a espécie escolhida. Se forem conhecidas as características naturais de cada espécie, esses defeitos podem ser evitados. Os defeitos de origem anatômica (Figura 1), são:

- Presença de medula: Favorece o ataque biológico, reduz a resistência mecânica e facilita o surgimento de rachaduras no cerne na etapa de processamento;
- Faixas de Parênquima: São faixas que apresentam baixa densidade, e se submetidos à compressão pode haver a separação dos anéis devido à baixa resistência mecânica;

- Inclinação da Fibras: Ficam aparentes no momento da serragem e são caracterizadas pelo desvio da orientação em relação ao ângulo da borda da peça ou próximo dos nós;

- Nós: São resultantes da presença de galhos, cujas propriedades são diferentes do restante do material, podendo ser íntegros ou ocos.

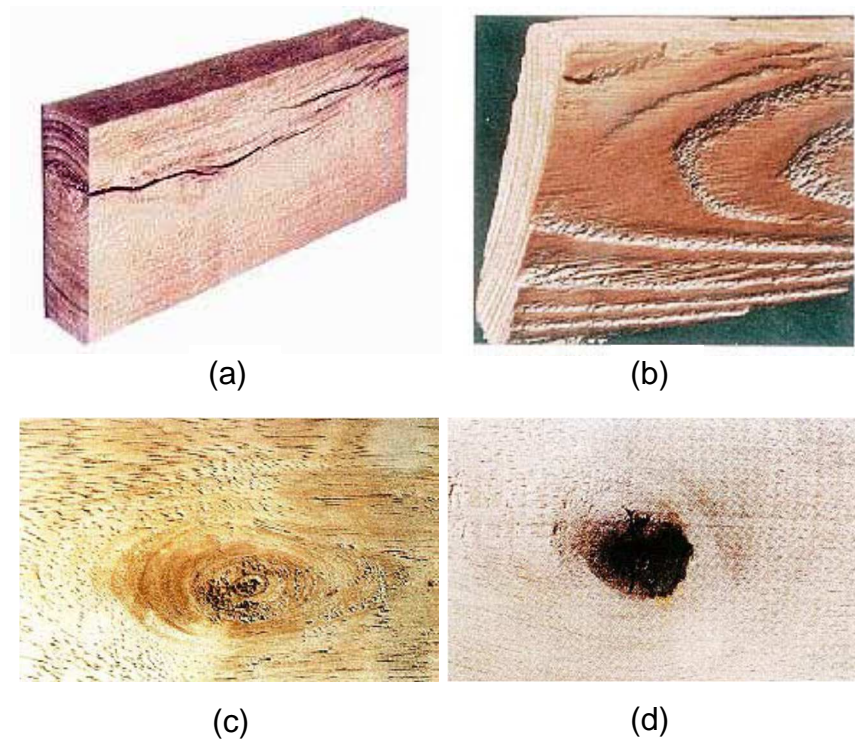


Figura 1 – Presença de medula (a); Faixas de parênquima (b); Nó íntegro (c); nó oco (d)
Fonte: Adaptado de Calil, Okimoto e Pfister (2005).

4.2.2 Defeitos por Ataques Biológicos

São defeitos que ocorrem devido ao ataque de fungos e insetos. Os fungos são causadores das manchas azuladas e escuras e também de podridões que são caracterizados pelas cores branca ou parda (Figura 2).

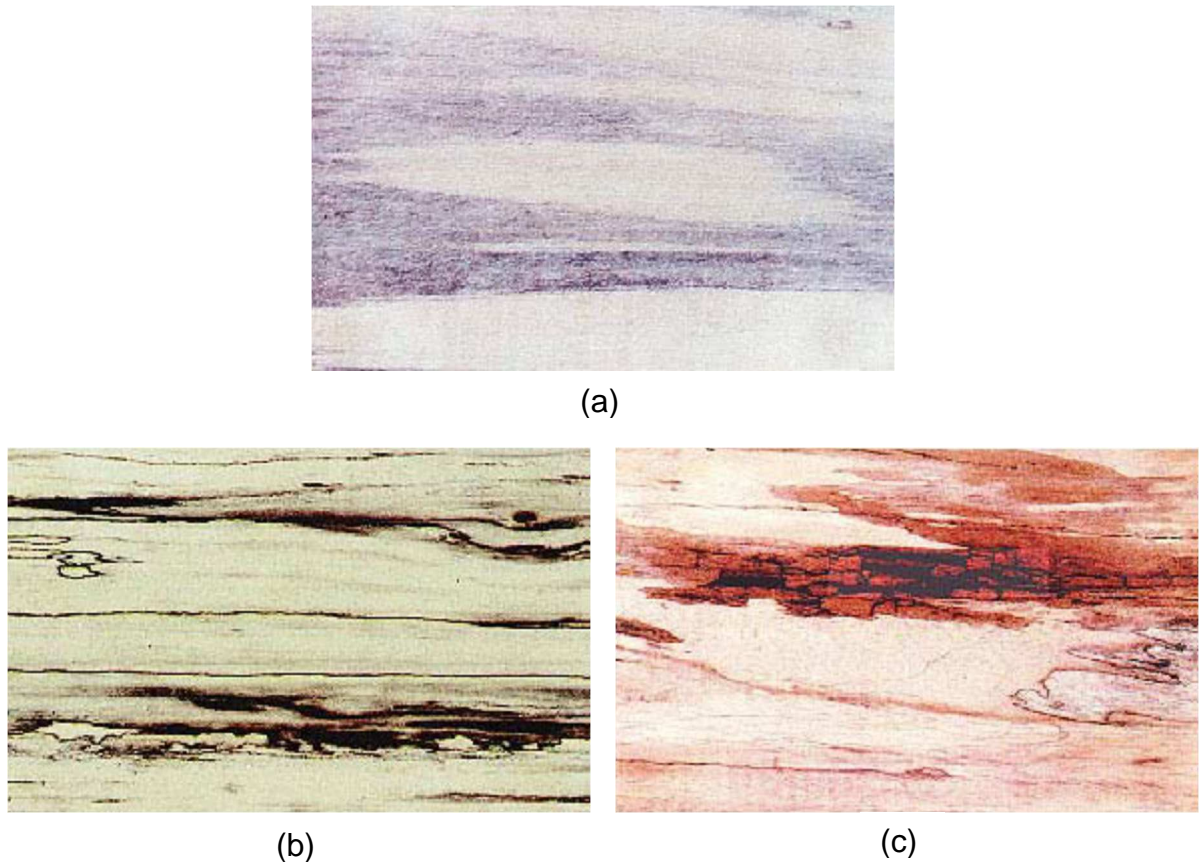


Figura 2 – Mancha azul (a); Podridão branca (b); Podridão parda (c)
Fonte: Adaptado de Calil, Okimoto e Pfister (2005).

Já os insetos causam perfurações na madeira, que variam de tamanho podendo ser pequenas ou grandes (Figura 3) (CALIL; LAHR; DIAS, 2003, p. 45).



Figura 3 – Perfurações pequenas (a); Perfurações grandes (b)
Fonte: Adaptado de Calil, Okimoto e Pfister (2005).

4.2.3 Defeitos Decorrentes da Secagem da Madeira

De acordo com Calil, Okimoto e Pfister (2005), os defeitos decorrentes da secagem ocorrem pela forma incorreta de armazenamento do material, bem como por sistemas de secagem deficientes. Os defeitos decorrentes da secagem (Figuras 4 e 5), são:

- Encanoamento: Caracterizado pela presença de curvatura na largura de uma peça de madeira;
- Arqueamento: Curvatura na direção do comprimento de uma peça de madeira, com relação a um plano paralelo a face;
- Encurvamento: Curvatura na direção do comprimento de uma peça de madeira, com relação a um plano perpendicular a face;
- Torcimento: É o empenamento em formato de espiral no sentido do eixo da peça de madeira;
- Escamas: Surgem devido ao corte coincidir com a separação dos anéis de crescimento;
- Rachaduras: São aberturas nas extremidades das peças, separando os elementos constituintes da madeira, ocorrendo alterações nas dimensões da peça.

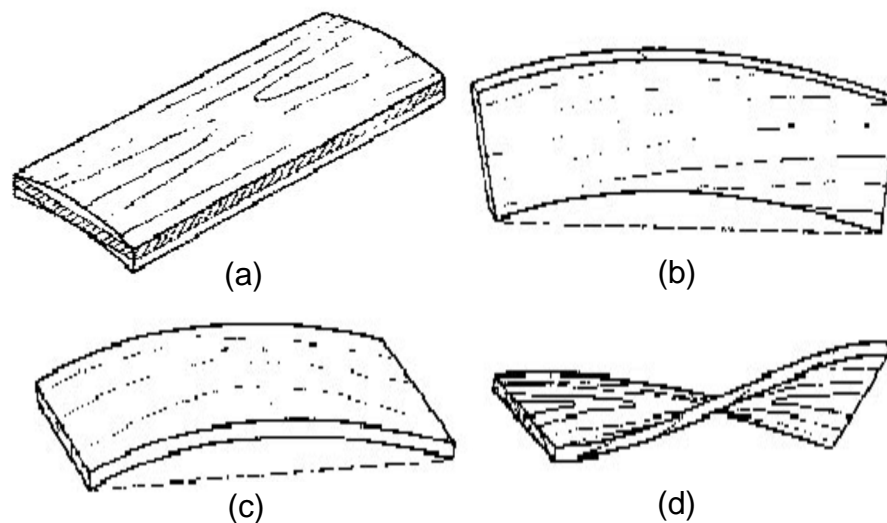


Figura 4 – Encanoamento (a); Arqueamento (b); Encurvamento (c); Torcimento (d)
Fonte: Adaptado de Calil, Okimoto e Pfister (2005).

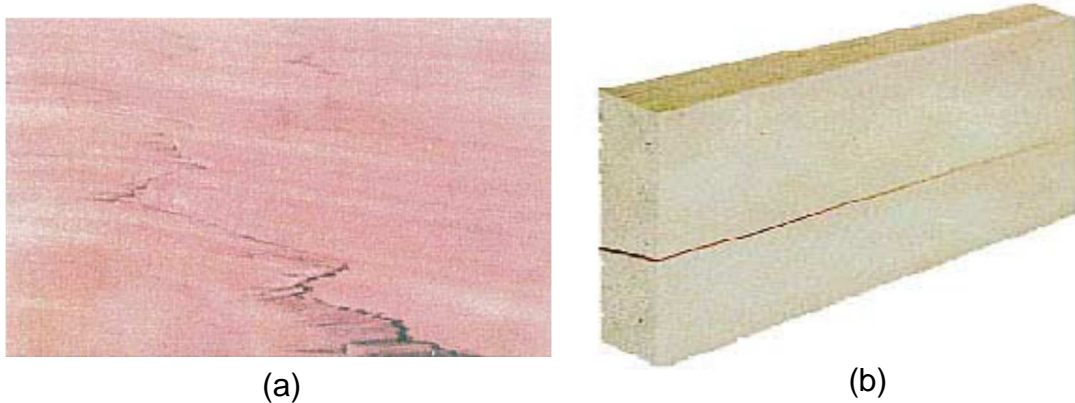


Figura 5 – Escamas (a); Rachadura (b)
Fonte: Adaptado de Calil, Okimoto e Pfister (2005).

4.2.4 Defeitos de Processamento da Madeira

Para Calil, Okimoto e Pfister (2005, p.13), são defeitos decorrentes da serragem, manejo, transporte e armazenamento da madeira. Calil, Dias e Lahr (2003, p.46), destacam dois defeitos do processamento da madeira, as arestas quebradas e a variação da seção transversal (Figura 6).

Acrescentando a esses defeitos mencionados, Pfeil e Pfeil (2012, p. 6), descreve como um defeito de processamento a quina morta ou esmoado, caracterizado por apresentar cantos arredondados, devido à curvatura natural do tronco. Essa região tem elevada proporção de madeira branca, também chamada de albarno (Figura 6).

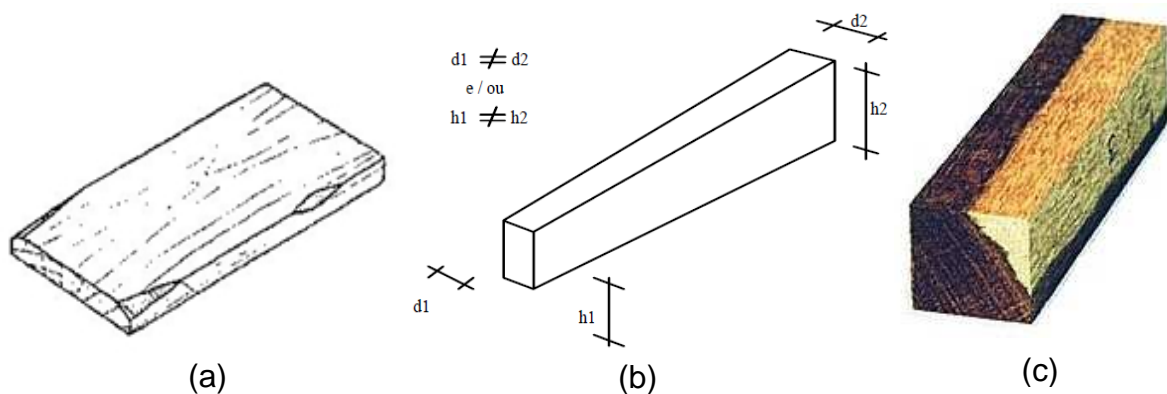


Figura 6 – Arestas quebradas (a); Variação da seção transversal (b); Quina morta (c)
Fonte: Adaptado de Calil, Okimoto e Pfister (2005).

4.3 DETERIORAÇÃO DA MADEIRA

A deterioração da madeira é o processo pelo qual ocorrem alterações desfavoráveis em suas propriedades. Podem ocorrer de diferentes maneiras, mas se pode atribuí-las, simplificadamente a duas causas principais: os agentes bióticos, os vivos, e os agentes abióticos, os não vivos (CALIL; DIAS; LAHR, 2003, p. 142).

4.3.1 Agentes Bióticos

Os organismos xilófagos são os responsáveis pela degradação biológica da madeira, eles a utilizam para a alimentação, abrigo e reprodução. São compreendidos por: bactérias, fungos (manchadores, emboloradores e apodrecedores), insetos (cupins, brocas, carunchos, besouros, vespas, abelhas, formigas, moscas, mosquitos, borboletas e mariposas), moluscos e crustáceos. Os grupos mais importantes e responsáveis pelas maiores perdas no material são os fungos e os insetos (Figura 7).

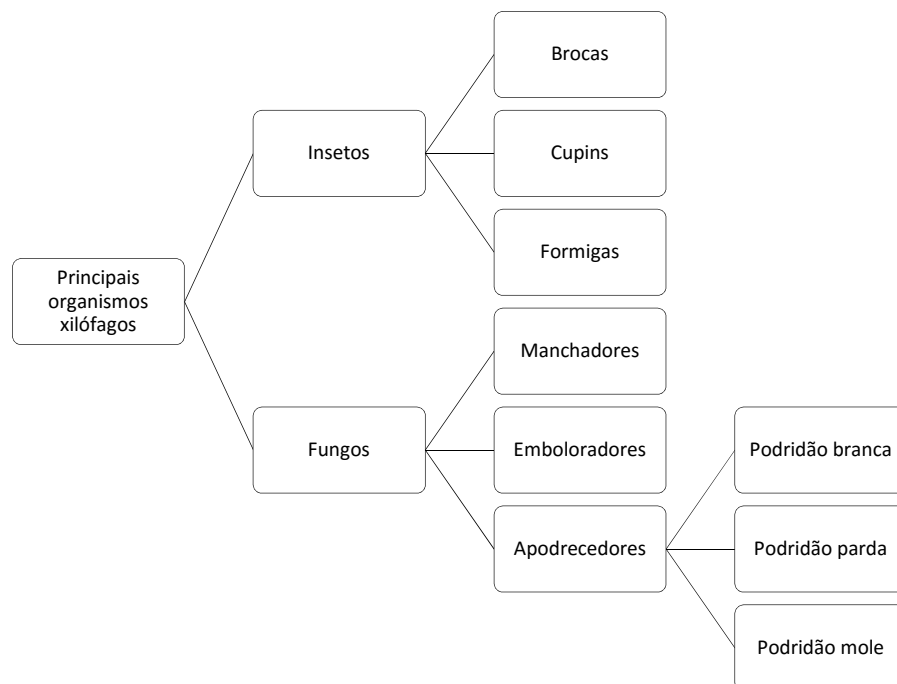


Figura 7 – Diagrama de principais organismos xilófagos
 Fonte: Adaptado de Mendes e Alves (1988).

Os fungos e as bactérias, degradam a madeira através da quebra da estrutura molecular, através da liberação de enzimas, já os insetos, moluscos e crustáceos à degradam através de perfurações e túneis, a procura de alimento e abrigo (MENDES; ALVES, 1988).

4.3.1.1 Insetos

De acordo com Sgai (2000), os principais insetos que consomem a madeira podem ser divididos em três classes: Insetos coleópteros (besouros, carunchos e brocas), cupins e formigas carpinteiras.

Os insetos coleópteros (Figura 8), são furadores e atacam a madeira cortada, tanto duras como brandas. Eles depositam seus ovos nos poros da madeira, e ao passo que as larvas estiverem desenvolvidas, começam a furar túneis no interior da madeira, causando danos de grandeza considerável.



Figura 8 – Inseto coleóptero

Fonte: Adaptado de Montana Química S.A. (2014).

Os cupins (Figura 9), podem ser de madeira seca ou de terra, os cupins de madeira seca, também conhecidos como formiga branca são responsáveis por destruírem um grande número de madeiras para construção, como: postes, estacas, madeiramento de pontes e em edifícios diversos. Os cupins de terra vivem no solo, e precisam de lugares com umidade constante, utilizam a madeira como fonte de alimentação, os alvos são madeiras em locais com pouca ventilação, muita umidade ou próximas do solo, mas também podem construir túneis de terra sob outros materiais para poderem chegar até a madeira.



Figura 9 – Cupim de madeira seca e cupim de terra
Fonte: Moreschi (2013).

As formigas carpinteiras (Figura 10), utilizam a madeira somente como habitação, porém podem ocasionar graves danos. Se aproveitam de falhas na madeira para construir seus ninhos e de preferência atacam madeiras moles.



Figura 10 – Formiga carpinteira
Fonte: Moreschi (2013).

4.3.1.2 Fungos

Em geral, o ataque por fungos ocorre quando a umidade da madeira é superior a 20%, são responsáveis pela perda de resistência da madeira. A deterioração pode ocorrer de diferentes formas, como o aparecimento de manchas ou a decomposição total da madeira (MENDES; ALVES, 1988, p. 8).

Os fungos, como forma de obterem seu alimento liberam enzimas que reagem com as células da madeira, à degradando para posteriormente serem absorvidas. O mecanismo responsável pela absorção dos nutrientes, sustentação e reprodução é denominada micélio, que é formado por um conjunto de hifas, que por sua vez é formado por um conjunto de filamentos que são tubos microscópicos (Figura 11).

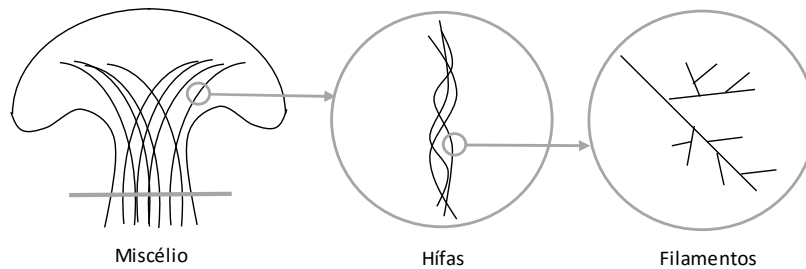


Figura 11 – Diagrama da estrutura do fungo
Fonte: Adaptado de Montana Química S.A. (2015).

Os fungos necessitam de ambientes providos de oxigênio por serem organismos aeróbios, e podem se desenvolver e se reproduzir enquanto houverem fontes de alimento disponíveis.

O ciclo pelo qual se dá a instalação e o crescimento dos fungos (Figura 12), se dá da seguinte forma: Ocorre a produção de estruturas especiais (cogumelos) ao se atingir a fase de reprodução, tais estruturas são responsáveis por gerar e armazenar os esporos, que são liberados por ações externas (vento, contato e impacto), onde são depositados sobre um corpo de madeira sã, então o esporo produzirá hifas que irão penetrar na madeira (se a madeira lhe oferecer condições para o seu desenvolvimento), fechando assim o ciclo (MONTANA QUÍMICA S.A., 2015).

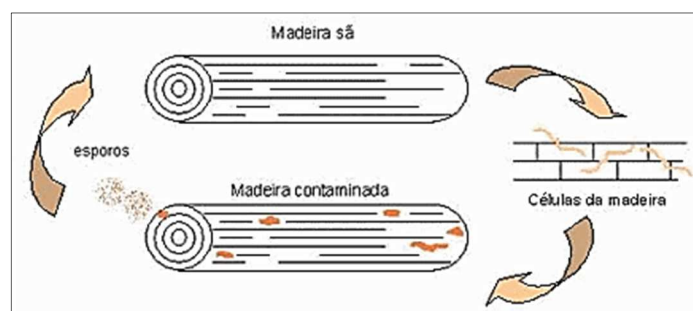


Figura 12 – Ciclo de vida dos fungos
Fonte: Montana Química S.A. (2015).

Ainda de acordo com Montana Química S.A. (2015), para que ocorra o ataque de fungos à madeira, é necessário um conjunto de condições favoráveis atuando juntos, pois a ausência de um dos fatores acarreta a não proliferação desses organismos. O ambiente deve apresentar condições favoráveis de aeração, pH, umidade, temperatura e ausência de substâncias tóxicas, sendo a última a mais fácil de ser controlada, pois ao impregnar a madeira com substâncias tóxicas aos fungos, os impossibilita de acessar sua fonte de alimentação. As condições necessárias ao surgimento e proliferação de fungos são descritas a seguir:

- Umidade: O teor de umidade favorável ao ataque de fungos é de 30%, quando ocorre o ponto de saturação das fibras, com o inchamento das paredes celulares, o que favorece a ação das enzimas liberadas pelos fungos, ocorrendo a quebra das moléculas da madeira, e fazendo o caminho de volta para que eles absorvam o produto resultante de tal degradação. Porém, se o teor de umidade da madeira estiver acima de 60%, não haverá o ataque de fungos, isso se deve ao oxigênio ser pouco solúvel em água, logo madeiras submersas são menos suscetíveis a esse tipo de ataque.

- Temperatura: A temperatura representa um importante aspecto a ser observado. Para os fungos, as temperaturas extremas são de 0°C e 60°C, em que a primeira impõe o cessamento da sua reprodução, onde entram em estado latente, ou de repouso, e a segunda temperatura causa a morte dos fungos se expostos a um tempo prolongado, tornando interessante a secagem em estufa. Algumas espécies de fungos se adaptaram a temperaturas mais baixas, como 10°C, e outras mais altas, como 40°C, mas a maioria encontra-se na faixa de 22°C a 30°C.

- Aeração: A baixa concentração ou ausência de oxigênio, representa um fator crucial para a existência dos fungos e conseqüentemente o ataque a madeira, por se tratarem de organismos aeróbios.

- pH: A escala do potencial hidrogeniônico, que viabiliza a existência de fungos está entre 2,0 e 7,0, entretanto, valores ideais se situam ente 4,5 e 5,5, e por coincidência, estes valores de pH estão presentes na maioria das espécies de madeira.

- Ausência de substâncias tóxicas: A madeira pode conter naturalmente substâncias tóxicas na forma de extrativos, ou produzidas por microorganismos presentes na madeira, ou ainda a impregnação de substâncias tóxicas por ação do homem. Desta forma, os fungos são impedidos de se instalar.

Para Mendes e Alves (1988), os fungos são divididos em manchadores, emboloradores e apodrecedores. Os fungos que causam manchas e bolor se alimentam apenas de resíduos das cavidades celulares da madeira, e não das paredes das células, eles não alteram as características referentes à resistência do material. Já os fungos apodrecedores, os que degradam a madeira, são os responsáveis pela perda da resistência.

Os fungos xilófagos, divididos de acordo com o tipo do ataque à madeira, são descritos a seguir:

- Fungos Manchadores: Os principais fungos causadores das manchas (Figura 13), são da espécie Ascomicetos, se desenvolvem quando os esporos em contato com a madeira germinam e ocorre a penetração das hifas nas cavidades celulares da madeira. A maneira pela qual se dá a passagem das hifas de uma célula para outra é através de pequenas perfurações nas paredes celulares, como somente o alburno está suscetível ao ataque, os danos não são tão significativos se tratando de resistência, a mudança de coloração pode apenas reduzir a valorização comercial, dependendo da finalidade do seu uso (MORESCHI, 2013, p. 13).



Figura 13 – Fungos manchadores
Fonte: Adaptado de IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas (2015).

- Fungos Emboloradores: Os principais fungos causadores do bolor, são da espécie Ascomicetos e Schizomicetos, são fungos superficiais, porém, suas hifas penetram em toda a extensão do alburno. Utilizam como alimento materiais nutritivos encontrados nas cavidades celulares, tem como característica a perfuração radial, tornando a madeira mais higroscópica (MORESCHI, 2013, p. 21).

Para Sgai (2000, p. 25), torna-se fácil a identificação da presença de mofo em uma peça de madeira, pois o fungo se estende pela superfície, tendo uma aparência algodoadada, e são caracterizados pela coloração que varia do branco ou preto (figura 14).



Figura 14 – Fungos emboloradores
Fonte: Adaptado de IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas (2015).

- Fungos de podridão branca: A podridão branca é causada principalmente por fungos da espécie Basidiomicetos. Ocorre o aparecimento de linhas escuras, ficando evidente a delimitação da área que sofreu ataque dos fungos (MORESCHI, 2013, p. 11).

De acordo com Mendes e Alves (1988, p. 11), os fungos de podridão branca (Figura 15), decompõem a celulose e a hemicelulose (constituintes das células da madeira), e também a lignina (mantém as células da madeira unidas). Devido à ação das enzimas sobre as paredes das células, ocorre a formação de fendas, que tem como resultado a erosão total das paredes quando tais fendas se juntam. O ataque

destes fungos resulta em uma perda de resistência mecânica e perda de peso, e fica evidente uma coloração esbranquiçada, devido à degradação da holocelulose presente na madeira.



Figura 15 – Aspecto de madeira atacada por fungos de podridão branca
Fonte: Moreschi (2013).

- Fungos de podridão parda: A podridão parda (Figura 16), é causada principalmente por fungos da espécie Basidiomicetos, deterioram a celulose e a hemicelulose, poupando a lignina, dando a aparência de uma peça de madeira intacta quando úmida, porém, quando seca, a lignina entra em colapso facilmente, é quando aparecem a coloração parda, e a peça se fissa em blocos. Ocorrem diminuição de resistência mecânica e perda de peso, resultado do consumo da celulose e da hemicelulose por parte dos fungos (MORESCHI, 2013).



Figura 16 – Aspecto de madeira atacada por fungos de podridão parda
Fonte: Moreschi (2013).

- Fungos de podridão mole: A podridão mole (Figura 17), é causada principalmente por fungos da espécie Ascomicetos e Schizomicetos, que como os fungos de podridão branca e parda, também utilizam a madeira como fonte de obtenção de energia, reduzindo a resistência mecânica e resultando numa perda de peso. Sua ação é superficial, a penetração é de curto alcance, ficando em torno de 2 cm de profundidade, a parte deteriorada pode ser facilmente removida, deixando a parte sã exposta à novos ataques. A superfície da madeira atacada por estes fungos, encontra-se mole enquanto úmida, e quando seca, ocorrem fissuras no sentido das fibras e fica com aspecto escurecido.



Figura 17 – Aspecto de madeira atacada por fungos de podridão mole
Fonte: Moreschi (2013).

4.3.2 Agentes Abióticos

Para Calil *et al.* (2006), os agentes abióticos são os condicionantes físicos, químicos, mecânicos e climáticos, que são destrutivos e também danificam o tratamento preservativo, e a madeira quando não tratada fica exposta ao ataque de agentes bióticos. Os agentes abióticos são os seguintes:

- Abrasão mecânica: O mais comum é a abrasão que produz gastos na superfície do tabuleiro de pontes causado pelos veículos, reduzindo a seção efetiva da madeira e a degradando (Figura 18).



Figura 18 – Peça de madeira danificada por abrasão mecânica
Fonte: O autor (2015).

- Degradação química: Podem ocorrer pela ação da radiação ultravioleta do sol, causando degradação química na lignina principalmente, escurecendo madeiras claras e clareando as madeiras escuras (Figura 19). O contato de produtos químicos com a madeira também pode causar degradação como a perda de peso, de resistência e o esbranquecimento das peças, em pontes esse contato pode ocorrer acidentalmente.

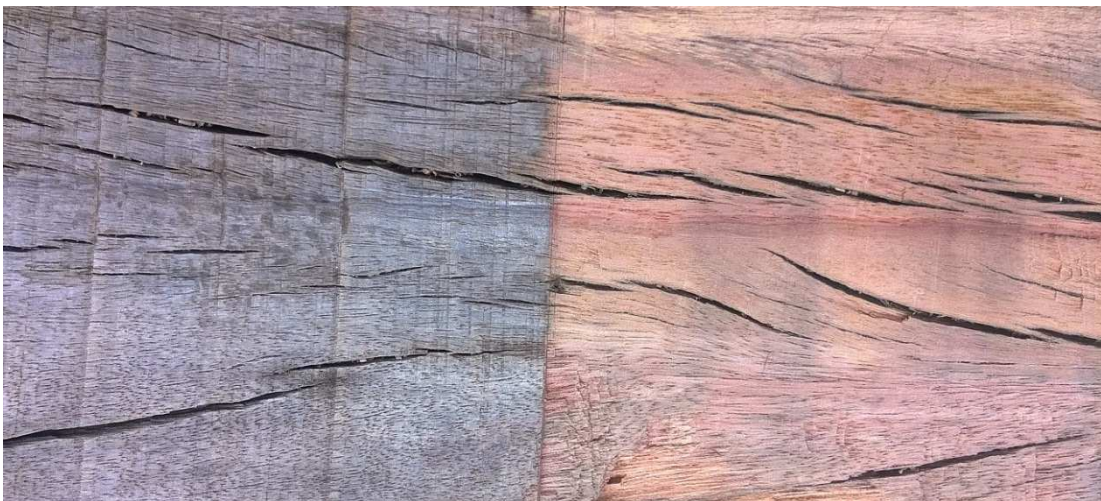


Figura 19 – Superfície queimada pelo sol (esquerda), superfície aplainada (direita)
Fonte: O autor (2015).

- Danos devido ao fogo: Ocorrem quando a madeira é exposta ao fogo ou a altas temperaturas, a parte externa da peça carbonizada isola e protege a parte interna, desta forma podendo manter parte significativa de sua resistência (Figura 20).

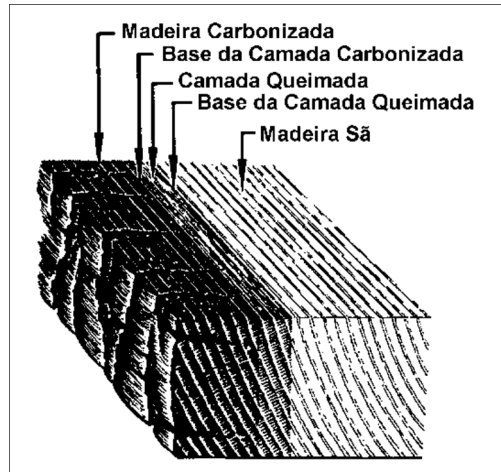


Figura 20 – Resistência ao fogo
 Fonte: Ritter (1990) *Apud* Calil *et al.* (1998).

- Danos devido à erros de execução e de uso: Podem ser causados por: Remoção de madeira, movimento de nós e distorções, instabilidade, deslocamentos, fissuras e fraturas iniciais por sobrecargas.

- Corrosão: Frequentemente é negligenciada a degradação da madeira devida à corrosão metálica (Figura 21), como causa de deterioração em pontes. A corrosão ocorre quando a umidade da madeira entra em contato com o ferro dos conectores, causando uma reação química, resultando na deterioração do conector e da madeira no entorno do conector. A deterioração por corrosão aliada a locais com alta umidade podem amplificar o dano, pois favorecem o ataque de fungos apodrecedores.



Figura 21 – Aspecto de prego sofrendo corrosão
 Fonte: O autor (2015).

De acordo com a norma europeia EUROCODE 5 (2004, p. 30), as ligações metálicas e outras conexões estruturais devem ter resistência própria à corrosão ou serem protegidas contra a corrosão quando necessário.

4.4 PRESERVAÇÃO DE MADEIRAS

De acordo com Brazolin *et al.* (2004), preservação de madeiras é a adoção de um conjunto de medidas preventivas e curativas em peças de madeira, de acordo com o ambiente construído, visando o controle de agentes que afetam as propriedades da madeira (físicos, químicos e biológicos).

O desenvolvimento do Sistema de Classes de Risco, tem como objetivo oferecer uma ferramenta para a tomada de decisões, direcionando para o uso racional da madeira de forma sistêmica, para que se garanta a durabilidade das construções.

Neste sistema, foram estabelecidos 6 classes de risco baseadas nas condições de uso da madeira (ou exposição), expectativa de desempenho da peça (projeto) e nos prováveis agentes biodeterioradores. Considera-se obrigatório atender as seguintes etapas:

- Elaboração do projeto visando a redução da instalação e desenvolvimento de organismos xilófagos.
- Definição da expectativa de desempenho, como a vida útil e responsabilidade estrutural.
- Avaliação dos possíveis riscos biológicos que possam agir na madeira durante a sua vida útil.
- Determinação de tratamento preservativo, se necessário, levando em consideração a durabilidade natural e tratabilidade do cerne e alburno.

Para se definir o tratamento preservativo, deve-se levar em consideração as seguintes escolhas:

- Tratabilidade (espécie botânica que ofereça possibilidade de tratamento).
- Umidade da madeira ao ser tratada.
- Método de tratamento.
- Critérios de qualidade exigidos: retenção e penetração do produto preservativo.
- Produto preservativo compatível com a classe de risco correspondente.

A representação do esquema do processo de decisão está ilustrado na Figura 22.

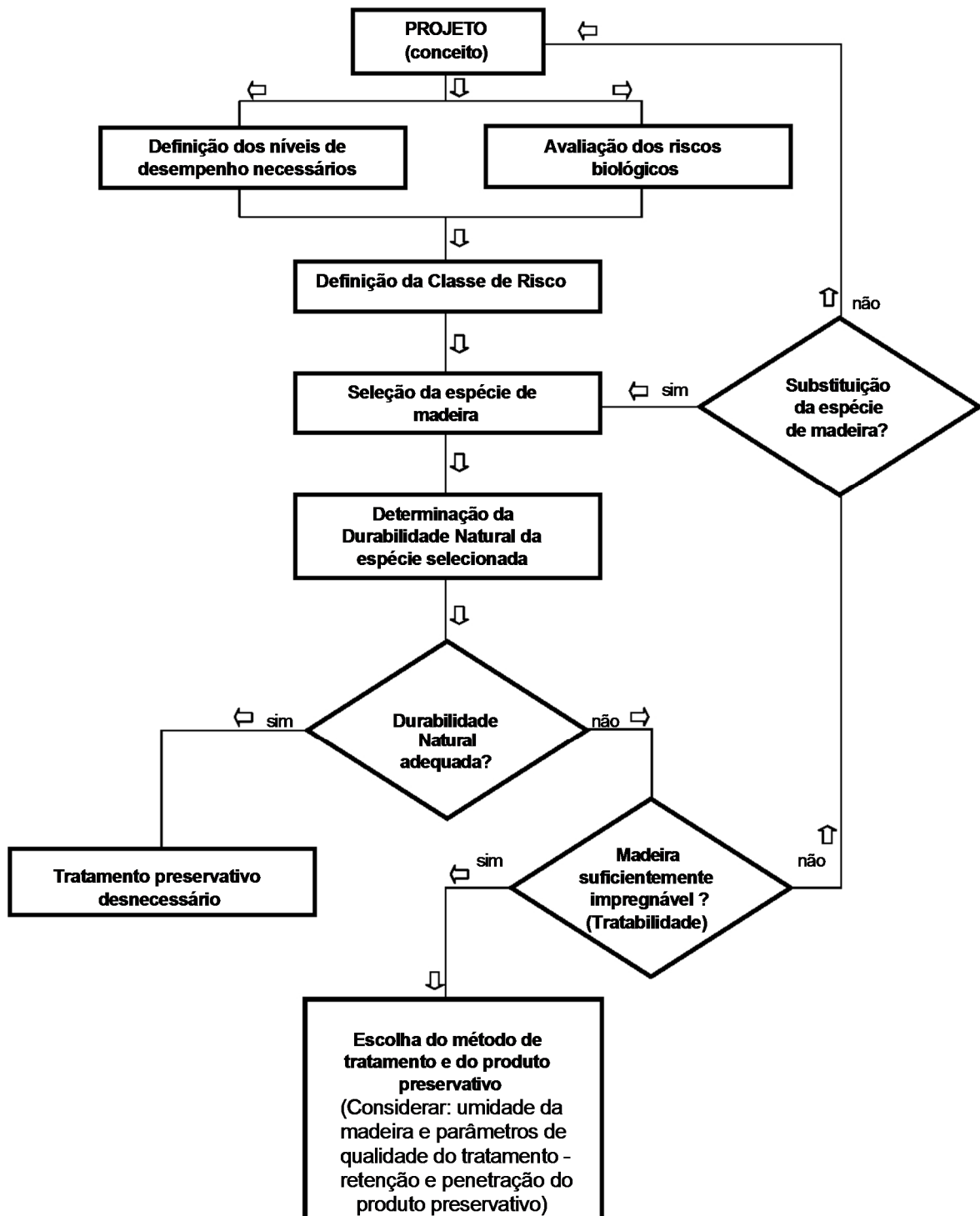


Figura 22 – Processo de decisão para escolha da espécie de madeira e do tratamento
Fonte: Brazolin *et al.* (2004).

4.4.1 Sistema de classe de risco

No projeto, deve-se definir os detalhes da obra de modo que a permanência da umidade nas peças seja sempre a menor possível, a fim de restringir os riscos de biodeterioração. Para tal, deve-se conhecer o emprego (local da sua instalação) de cada elemento de madeira, podendo desta forma determinar a classe de riscos biológicos à que os elementos estarão expostos.

As seis classes de riscos biológicos (Quadro 1) definidos por este sistema levam em consideração as condições de exposição brasileiras, sendo representadas a seguir:

CLASSE DE RISCO (CR)	CONDIÇÃO DE USO	ORGANISMO XILÓFAGO
1	Interior de construções, fora de contato com o solo, fundações ou alvenaria, protegidos das intempéries, das fontes internas de umidade. Locais livres do acesso de cupins-subterrâneos ou arborícolas.	Cupins-de-madeira-seca Brocas-de-madeira
2	Interior de construções, em contato com a alvenaria, sem contato com o solo ou fundações, protegidos das intempéries e das fontes internas de umidade.	Cupins-de-madeira-seca Brocas-de-madeira Cupins-subterrâneos Cupins-arborícolas
3	Interior de construções, fora de contato com o solo e continuamente protegidos das intempéries, que podem, ocasionalmente, ser expostos a fontes de umidade.	Cupins-de-madeira-seca Brocas-de-madeira Cupins-subterrâneos Cupins-arborícolas Fungos emboloradores/manchadores Fungos apodrecedores
4	Uso exterior, fora de contato com o solo e sujeitos a intempéries.	Cupins-de-madeira-seca Brocas-de-madeira Cupins-subterrâneos Cupins-arborícolas Fungos emboloradores/manchadores Fungos apodrecedores
5	Contato com o solo, água doce e outras situações favoráveis à deterioração, como engaste em concreto e alvenaria.	Cupins-de-madeira-seca Brocas-de-madeira Cupins-subterrâneos Cupins-arborícolas Fungos emboloradores/manchadores Fungos apodrecedores
6	Exposição à água salgada ou salobra.	Perfuradores marinhos Fungos emboloradores/manchadores Fungos apodrecedores

Quadro 1 – Classes de risco para o uso da madeira como material de construção
Fonte: Brazolin *et al.* (2004).

Os quadros 2 e 3, tem como objetivo relacionar as possíveis aplicações da madeira como material de construção com as classes de risco. Neste caso dando

enfoque para a madeira serrada e roliça, pois são os que se enquadram como os materiais utilizados na maioria das construções de pontes de madeira. Nota-se, que para a construção de pontes de madeira, os elementos estão sujeitos a exposição correspondente às classes de risco 4, 5 e 6.

Para madeira serrada:

APLICAÇÃO	CLASSE DE RISCO
Defensa	5 e 6
Dormente	5
Estacas	5
Fundação	5 e 6
Guarda-roda, guarda-trilho	4 e 5
Ponte/passarela (*)	4, 5 e 6

Quadro 2 – Madeira serrada

Fonte: Adaptado de Brazolin *et al.* (2004).

Para madeira roliça:

APLICAÇÃO	CLASSE DE RISCO
Defensa	5 e 6
Dormente	5
Fundação	5 e 6
Guarda-roda, guarda-trilho	4 e 5
Moirões/Lasca	5
Ponte/passarela (*)	4, 5 e 6
Tabuleiro	4

Quadro 3 – Madeira roliça

Fonte: Adaptado de Brazolin *et al.* (2004).

Nota dos quadros 2 e 3:

(*) tabuleiro, fundação, peças estruturais, guarda corpo e/ou corrimão.

4.4.2 Seleção da Espécie da Madeira

De acordo com Calil *et al.* (2006), uma das etapas mais importantes ao se planejar uma construção que utilize a madeira como material, é a escolha da espécie. Ao se projetar, deve-se definir os requisitos de qualidade do material, visando o bom desempenho, de acordo com as condições de uso (propriedades físicas e mecânicas, durabilidade natural, tratabilidade, retenção, etc.)

4.4.2.1 Durabilidade Natural

A durabilidade natural, refere-se a resistência própria que uma espécie possui com relação ao ataque de organismos xilófagos, e normalmente está relacionada ao cerne da madeira. Se faz necessário o tratamento com produtos preservativos se a espécie escolhida não possuir durabilidade natural, e se a espécie da madeira escolhida tiver alburno, pelo fato desta camada ser menos durável frente aos ataques biológicos.

4.4.2.2 Tratabilidade

Após a escolha da espécie de madeira à ser utilizada, e havendo a necessidade de tratamento com produtos preservativos, é necessário avaliar o nível de impregnabilidade destes produtos, ou seja, a sua tratabilidade.

No caso de incertezas quanto a eficiência da tratabilidade da espécie escolhida, se torna viável a escolha de outra espécie, que se adeque melhor aos tratamentos preservativos.

4.4.3 Produtos Preservativos

De acordo com Mendes e Alves (1988, p. 32), são denominados preservativos de madeira toda substância capaz de tornar a madeira tóxica aos organismos xilófagos, e para que sejam eficientes devem apresentar as seguintes características: Apresentar boa toxidez, ter alta permanência na madeira, não ser corrosível, não ser inflamável, não provocar alterações nas propriedades da madeira (físicas e mecânicas), ser econômico e disponível comercialmente, e não ser tóxico ao homem e aos animais.

Os produtos preservativos são classificados em oleossolúveis e hidrossolúveis, que se diferenciam pelo fato de um ser solúvel em óleo e o outro em água.

De acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997, p. 89), a maior parte de toda a madeira tratada no mundo (em torno de 80%) é feita através do uso dos seguintes produtos preservativos de ação prolongada:

- Creosoto;
- Pentaclorofenol;
- CCA (Cromo – Cobre – Arsênio);
- CCB (Cromo – Cobre – Boro).

O creosoto, é obtido através da destilação do alcatrão da hulha, tem alta eficácia por ser tóxico aos organismos xilófagos, é repelente à água, não corrosivo à metais, e possui resistência a lixiviação, porém, por ser oleoso não aceita pintura após o tratamento da madeira.

O pentaclorofenol, é obtido através da cloração direta do fenol, muito eficaz por ser tóxico aos organismos xilófagos, é repelente à água, não corrosivo à metais, e possui resistência a lixiviação. Pode ser utilizado em conjunto com outros produtos preservativos para que se aumente a eficiência (MENDES; ALVES, 1988, p. 34).

O CCA é o preservativo mais utilizado no mundo, quando aplicado, os componentes aderem totalmente às paredes das células, sendo o cromo responsável por esta fixação, o arsênio age como inseticida e o cobre como fungicida. É eficiente na proteção contra insetos, fungos apodrecedores e perfuradores marinhos.

O CCB possui uma formulação similar ao CCA, porém, o arsênio é substituído pelo boro. É menos eficiente que o CCA pelo fato do boro ser facilmente lixiviado da madeira, assim o tratamento pode perder a função inseticida e fungicida (SGAI, 2000, p. 45).

4.4.4 Métodos de Tratamento

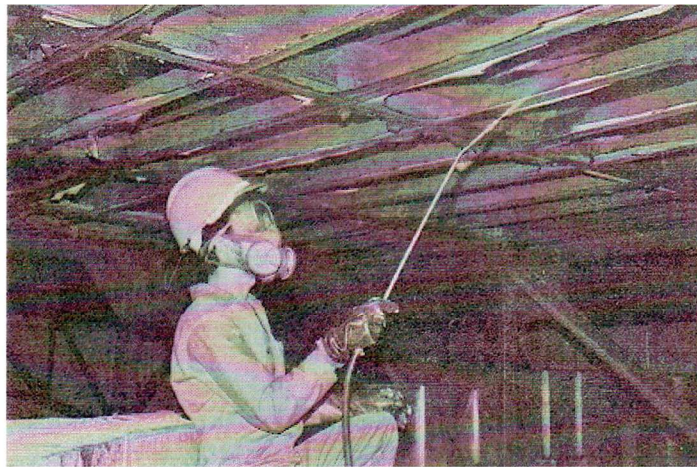
A escolha do método de aplicação do produto preservativo, dependerá da classe de risco que estará sujeito o elemento de madeira, podendo ocorrer através de duas formas de aplicação: Sem pressão e com pressão.

Métodos sem pressão: Estes métodos, são caracterizados por não se utilizarem de pressão externa para fazer com que o produto preservativo penetre na madeira, desta forma, o produto fica apenas na superfície do material, tornando-o mais suscetível à ação de organismos xilófagos. Recomenda-se utilizar este método em componentes que estarão sujeitos a menores riscos de biodeterioração, como os que se enquadram nas CR 1, 2 e 3.

A umidade da madeira irá influenciar na escolha da natureza do produto a ser aplicado, sendo que para madeiras secas, em que o teor de umidade esteja abaixo

de 30%, são utilizados preservativos oleosos, oleossolúveis e emulsionáveis (CALIL *et al.*, 2006), e podem ser aplicados pelos seguintes métodos:

- Aspersão (Pulverização) e Pincelamento: Estes métodos, são caracterizados pela aplicação de preservativos na superfície da madeira com o uso de pulverizador ou pincel (Figura 23), a penetração do produto se dá através de ação capilar. Deve-se dar preferência aos preservativos óleosolúveis, devido à maior fixação e menores perdas por lixiviação (MENDES; ALVES, 1988).



(a)



(b)

Figura 23 – Tratamento por pulverização (a); Tratamento por pincelamento (b)
Fonte: Adaptado de Moreschi (2013).

- Imersão: Este processo consiste em imergir a madeira em solução preservativa (Figura 24), podendo durar alguns segundos ou até dias, dependendo do método. O resultado é um melhor tratamento se comparado à pulverização e ao pincelamento, porém os custos são maiores. Os métodos de imersão são os seguintes: Imersão simples, imersão de tempo longo e banho quente-frio (MENDES; ALVES, 1988).

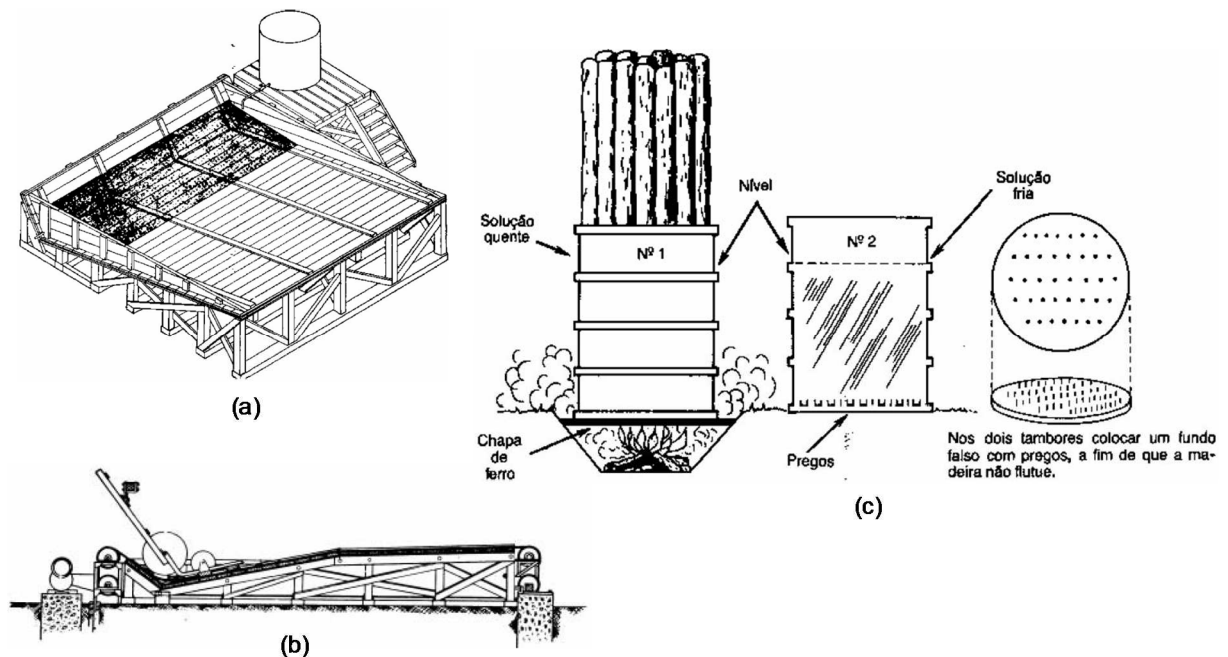


Figura 24 – Imersão simples (a); Imersão automática (recém serrada) (b); Banho quente-frio (c)
 Fonte: Adaptado de Mendes e Alves (1988).

Nas madeiras úmidas, em que o teor de umidade esteja acima de 30%, são utilizados preservativos hidrossolúveis (CALIL *et al.*, 2006, p. 69), e podem ser aplicados pelos seguintes métodos:

- Difusão (simples): Neste processo os componentes de madeira são totalmente imersos em soluções preservativas, e a penetração da solução se dá através do equilíbrio das concentrações internas e externas na madeira, pela migração de íons. Para que ocorra a fixação do preservativo na madeira, após a aplicação, a madeira deve secar à sombra por um período de 4 meses.

- Difusão dupla: Se diferencia do processo anterior pelo fato da madeira ser submersa inicialmente em um tipo de solução preservativa, e posteriormente em outra, cuja reação entre as duas forma uma terceira, e esta é tóxica aos organismos biodeterioradores, e é insolúvel. O processo de secagem é igual ao anterior. Este processo não é muito usual.

- Substituição de seiva: Neste método, as toras são colocadas em posição vertical dentro de um recipiente, em que apenas uma parte fica imersa na solução, deve-se abastecer o recipiente quando o nível da solução diminuir, até que a solução transpasse toda a tora e expulse a seiva. As pontas das toras devem ser apontadas em formato de bisel (Figura 25).

- Processo de Boucherie: Semelhante ao processo anterior, este se utiliza da gravidade para efetuar a retirada da seiva do interior das toras, a superfície deve ser inclinada, e são instalados mecanismos de injeção do preservativo na face da extremidade superior da tora (maior diâmetro), estes mecanismos são ligados por mangueiras ao reservatório que contém a solução, que está instalado em um nível superior. Enquanto a solução desce por gravidade e penetra na tora, ele expulsa a seiva, e o tratamento só é finalizado quando a solução transpassar toda a peça (MENDES; ALVES, 1988).

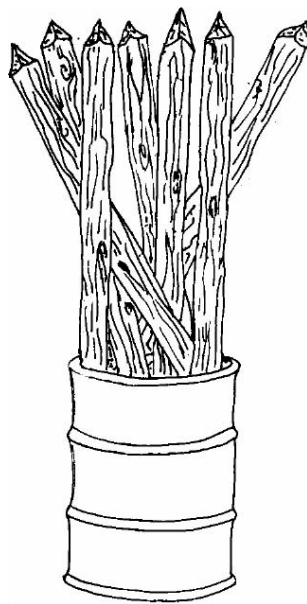


Figura 25 – Método de substituição de seiva
Fonte: Mendes e Alves (1988).

Métodos com pressão: Os tratamentos sob pressão, são realizados em usinas de preservação de madeiras (Figura 26), e se utilizam de pressão externa para induzir a penetração do produto preservativo na camada permeável da madeira.

No caso dos componentes de pontes de madeira, que se enquadram nas CR 4, 5 e 6, estes métodos são os mais indicados, pois garantem uma eficaz proteção à altos riscos de biodeterioração.

Para que se garanta a qualidade da aplicação, o teor de umidade da madeira deve estar abaixo de 30% (CALIL et al. 2006, p. 69).

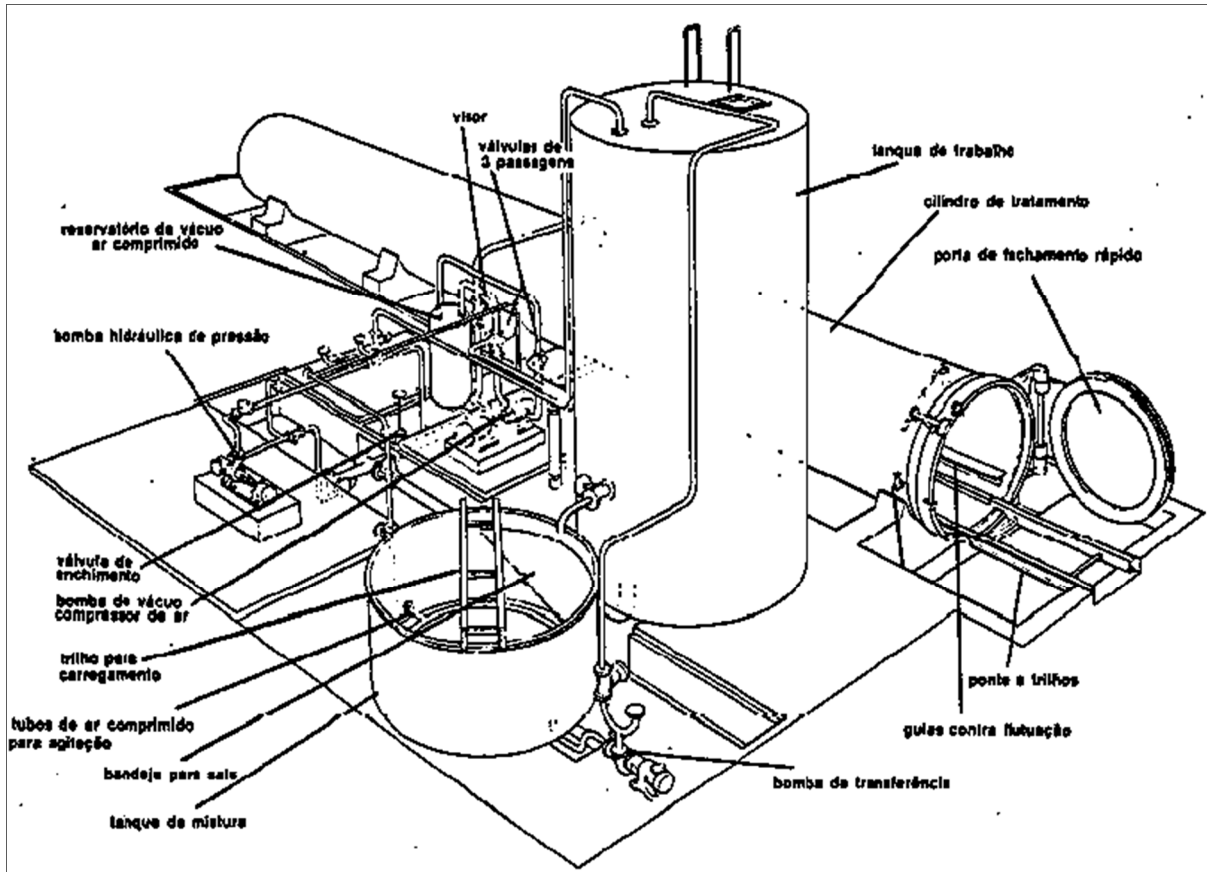


Figura 26 – Planta de usina de tratamento de madeiras em autoclave
 Fonte: Moreschi (2013).

Para Moreschi (2013), os processos de tratamento sob pressão, geralmente, são divididos nos seguintes grupos: Célula cheia e célula vazia.

Os processos de célula cheia são caracterizados pela aplicação de vácuo inicial para a retirada do ar do interior da madeira, para que estes espaços sejam posteriormente preenchidos pelo preservativo. Os processos de célula cheia para o tratamento de madeiras em autoclave mais comuns são os seguintes:

- Processo Gewecke: Trata-se de uma adaptação visando pequenas modificações no processo de Boucherie, inicialmente descasca-se as toras, depois são inseridas conexões nas faces das extremidades, e são transportadas até o cilindro através de vagonetes, então, aplica-se pressão dentro do cilindro, a fim de induzir a entrada do preservativo no interior da madeira, e ao mesmo tempo, a seiva é succionada através das conexões, por aplicação de vácuo (Figura 27).



Figura 27 – Execução do Processo Gewecke
Fonte: Moreschi (2013).

- Processo duplo-vácuo: Neste processo, é aplicado vácuo inicial a fim de drenar o ar existente no interior da madeira, aplica-se a solução preservativa em pressão atmosférica, após esta etapa, aplica-se novamente o vácuo para se retirar o excesso de solução preservativa.

- Processo Bethell: Também se trata de um processo em que se utiliza o duplo-vácuo, porém, com a diferença de que a entrada da solução preservativa na madeira se dá com a aplicação de pressão positiva (Figura 28), resultando numa maior substituição de ar no interior da madeira pelo produto preservativo.

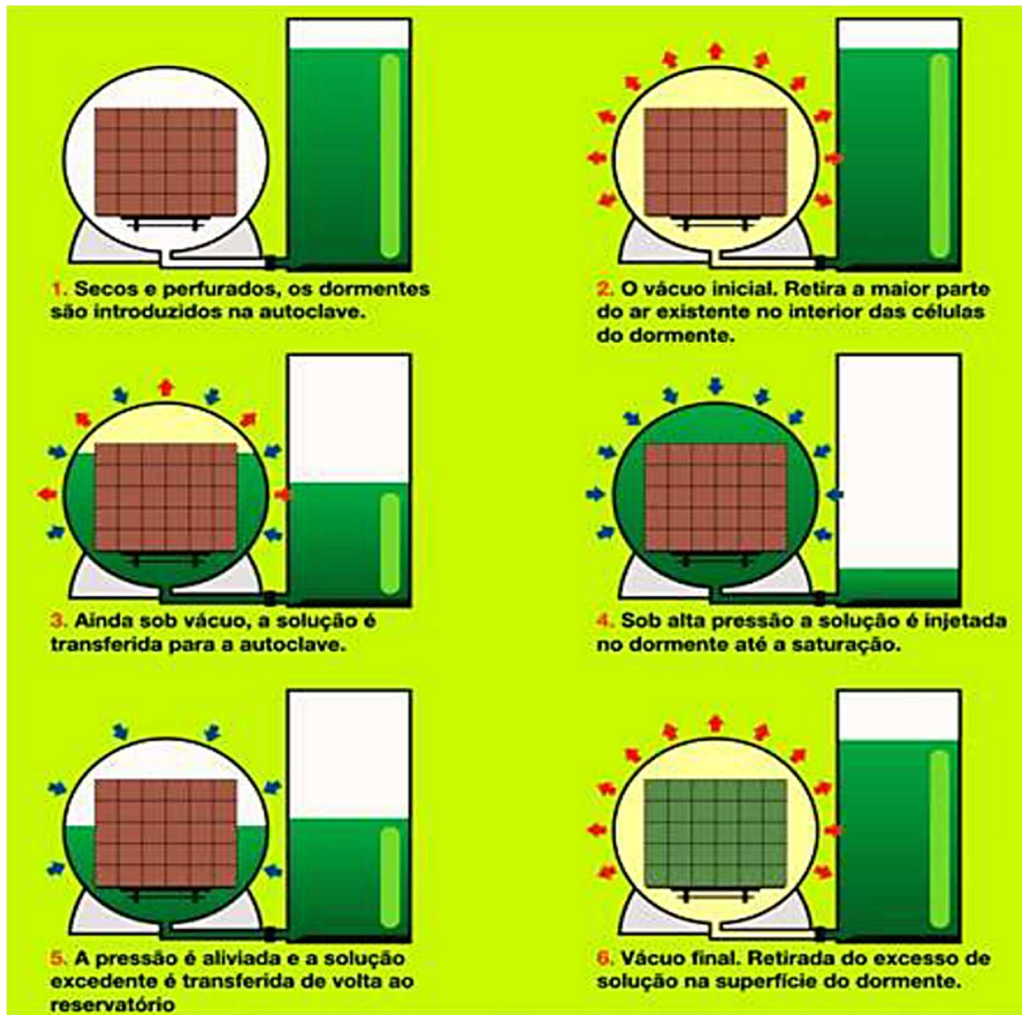


Figura 28 – Esquema de funcionamento do Processo Bethell
 Fonte: Montana Química S.A. (2014).

Nos processos de célula vazia, não se utilizam de aplicação de vácuo inicial, mantendo-se o ar no interior da madeira, conferindo apenas uma preservação superficial na madeira. Os processos de célula vazia para o tratamento de madeiras em autoclave mais comuns são os seguintes:

- Processo Lowry: Neste processo, aplica-se a solução preservativa com a utilização de ar comprimido, logo, o ar no interior da madeira se comprime, e ao cessar a aplicação de pressão, o ar no interior da madeira tende a se expandir novamente, empurrando parte da solução preservativa para fora da madeira, o que resulta numa baixa retenção do produto. Ao final, aplica-se vácuo para retirada do excesso da solução preservativa.

- Processo Rüeping: Difere-se do processo anterior pelo fato de que inicialmente se aplica ar comprimido na madeira, a fim de que ao término da aplicação

do produto preservativo, o ar comprimido empurre o preservativo de dentro da madeira com maior uniformidade.

4.4.5 Penetração e Retenção do Produto Preservativo

Como forma de avaliar a qualidade do tratamento da madeira, os principais parâmetros, de acordo com Brazolin *et al.* (2004), são:

- Penetração: É a espessura da camada permeável alcançada pelo produto preservativo na madeira, expressa em milímetros (mm).

- Retenção: É a quantidade do produto preservativo por volume de madeira (camada tratável) de maneira uniforme, expressa em quilogramas por metro cúbico (kg/m³).

Deve-se levar em consideração alguns fatores que requerem uma maior retenção e penetração do produto preservativo, como: Peças com maior responsabilidade estrutural, maior vida útil, dificuldades em acessos para reparos ou substituições, menores custos com manutenção, micro e macroclima diferentes.

Conforme Calil *et al.* (2006), nos elementos constituintes das pontes de madeira, recomenda-se a utilização de produtos preservativos oleosos e/ou hidrossolúveis, e para aplicação destes produtos, recomenda-se os métodos sob pressão.

Os quadros 4, 5 e 6 combinam as aplicações das peças de madeira, os produtos preservativos, os processos de aplicação e os parâmetros de penetração e retenção com as Classes de Risco.

Para a Classe de Risco 4:

APLICAÇÃO	MÉTODO DE TRATAMENTO	PRESERVATIVO		RETENÇÃO MÍNIMA kg/m ³ (i.a.)	PENETRAÇÃO
		Inseticida	Fungicida		
Madeira serrada, roliça e laminada (seca)	Sob pressão (d)	CCA – C ou CCB		4,0 ou 6,5 (b)	100 % do alburno e porção permeável do cerne
		Óleo creosoto (c)		96	
Painel compensado		CCA – C ou CCB		4,0 ou 6,5 (b)	100 % do alburno e porção permeável do cerne

Quadro 4 – Classe de Risco 4

Fonte: Calil *et al.* (2006).

Para a Classe de Risco 5:

APLICAÇÃO	MÉTODO DE TRATAMENTO	PRESERVATIVO (Inseticida e Fungicida)	RETENÇÃO MÍNIMA kg/m ³ (i.a.)	PENETRAÇÃO
Madeira serrada, roliça, laminada e Painel compensado	Sob pressão (a)	CCA – C	6,5 9,6 (b) 12,8 (e)	100 % do alburno e porção permeável do cerne
		CCB (d)		
		Óleo creosoto (c)	96 130 (b) 192 (e)	

Quadro 5 – Classe de Risco 5

Fonte: Calil *et al.* (2006).

Para a Classe de Risco 6:

APLICAÇÃO	MÉTODO DE TRATAMENTO	PRESERVATIVO	RETENÇÃO MÍNIMA kg/m ³ (i.a.)	PENETRAÇÃO
Madeira serrada, Madeira roliça e Painel compensado	Sob pressão (a)	CCA – C	40	100 % do alburno e porção permeável do cerne
		Óleo creosoto	400	
	Sob pressão duplo tratamento (a) (f)	CCA – C e	24	
		Óleo creosoto	320	

Quadro 6 – Classe de Risco 6

Fonte: Calil *et al.* (2006).

Notas dos quadros 4, 5 e 6:

(a) Nas espécies folhosas, nem o tratamento sob pressão é capaz de proteger o cerne, a vida útil da peça dependerá de uma alta durabilidade natural, porém, o alburno da maioria das folhosas pode ser tratado por preservativos. Para as madeiras coníferas, que são permeáveis, é possível a total impregnação com preservativos.

(b) Para componentes estruturais que sejam de difícil manutenção, reparo ou troca, e que sejam substancialmente importantes para garantir o desempenho e segurança.

(c) Devido às suas propriedades químicas e o fato de ser oleosa, recomenda-se que as peças tratadas com o creosoto não entrem em contato com pessoas e animais, pois o produto apresenta problemas de exsudação (se transfere para a superfície da madeira), resultando também na impossibilidade de acabamentos com tintas, vernizes e *stains*.

(d) Não se tem informações sobre o uso de madeira cujo tratamento tenha sido realizado com CCB em que as peças estejam em contato direto com a água (doce, salgada e salobra).

(e) Peças estruturais importantes, como estacas de fundações que estejam em contato com o solo ou água doce (parcialmente ou totalmente), clima severo e ambiente que apresente grandes possibilidades de biodeterioração.

(f) Deve ser adotado o método de duplo-tratamento com CCA e creosoto em regiões de ocorrência de *Sphaeroma terebrans* e *Limnoria tripunctata*, e no caso de não se ter informações da ocorrência destes organismos nestes locais.

4.5 INSPEÇÃO, MANUTENÇÃO E REPAROS

Com o intuito de identificar sinais de deterioração de construções em madeira, em muitos países, é comum a utilização de diversas técnicas não destrutivas (NDT – *Non Destructive Technique*). A sua aplicação se dá em inspeções e avaliações com a finalidade de sugerir manutenções preventivas periódicas, a fim de prevenir futuras patologias, e manutenções corretivas para reforços e reabilitação de elementos estruturais. No Brasil, há poucas pesquisas e publicações no que se referem a patologias e durabilidade de estruturas de madeira (BRITO; CALIL, 2013, p. 34).

4.5.1 Procedimentos nas Inspeções

Conforme a Norma Técnica 010/2004-PRO (DNIT, 2004), ao se inspecionar uma ponte, tal tarefa deve ser realizada de maneira sistemática e organizada, com a utilização de fichas de inspeção, esta vistoria deve abranger todos os elementos constituintes das pontes. Deve ser realizado um registro fotográfico que contemplem todos os elementos, e ao passo em que as patologias são detectadas, estas devem ser cuidadosamente analisadas e realizado o devido registro, e havendo possibilidade, observar se há vibrações ou deformações excessivas no momento da passagem de veículos de carga pesada. Deve-se realizar a retirada de sujeira com o intuito de verificar possíveis inconformidades que possam estar incobertas.

Devem ser realizadas as seguintes observações: Geometria e condições viárias, acessos, cursos d'água, encontros e fundações, apoios intermediários,

aparelhos de apoio, superestrutura, pista de rolamento, juntas de dilatação, barreiras e guarda-corpos, sinalização e instalações de utilidade pública.

4.5.2 Tipos de Inspeção

Podem ser efetuados diferentes tipos de inspeção, podendo ter ordem cronológica ou ser eventual, de acordo com a Norma Técnica 010/2004-PRO (DNIT, 2004), os tipos de inspeção são os seguintes:

- Inspeção cadastral: Esta é a primeira inspeção, e servirá de base para todas as outras, deve ser realizada logo após a conclusão da obra. Refere-se a uma inspeção rica em documentação, contendo todos os projetos, memoriais de cálculo, dados comparativos de resistência especificadas e ensaiadas dos materiais utilizados, controle de execução de serviços, relatórios da fiscalização e etc. Se forem introduzidas modificações na estrutura, uma nova inspeção cadastral deverá ser realizada. Nesta etapa, pode ser constatado a presença de defeitos que possam afetar o desempenho parcial ou total da obra, estes devem ser registrados e então uma inspeção especial deve ser solicitada.

- Inspeção rotineira: São inspeções que ocorrem em períodos, normalmente a cada dois anos. A partir desta inspeção são verificadas as inconformidades já identificadas na inspeção cadastral e também a ocorrência de novas, e se intervenções visando reparar algum dano foi efetuado na estrutura. Caso não haja a inspeção cadastral, deve-se transformar a inspeção rotineira em inspeção cadastral.

- Inspeção extraordinária: São inspeções solicitadas diante da ocorrência de danos estruturais que podem ter sido causados por acidentes cujo responsável é o homem ou pela ação da natureza, logo a periodicidade é indefinida. Diante destes casos, o inspetor deverá avaliar e tomar as devidas providências para a recuperação da estrutura, e se for o caso, solicitar uma inspeção especial.

- Inspeção especial: Trata-se de inspeção para avaliar locais de difícil acesso, com a utilização de equipamentos de precisão e veículos especiais, a fim de se verificar danos e deformações excessivas. Ocorrem em períodos de no máximo cinco anos, ou quando for solicitado nas inspeções cadastral e/ou rotineira, ou se tratar de obras cuja complexidade, a qual se pode substituir a inspeção rotineira, ou em casos atípicos como a passagem de cargas excepcionais.

- Inspeção intermediária: Se objetiva a monitorar problemas iniciais, como recalques de fundações e erosões do solo, e também para o monitoramento de pontes que foram executadas com um novo sistema estrutural ou alguma solução construtiva adotada que ainda não foi consolidada, e pontes não redundantes.

Os resultados obtidos através das inspeções cadastrais e rotineiras, devem ser registrados em fichas específicas e padronizadas (Anexo A), já a inspeção extraordinária e intermediária, devem ser registrados em relatório específico (não padronizado), assim como na inspeção especial, com a diferença de que tal relatório deve ser baseado na ficha de inspeção rotineira.

A Norma Técnica 010/2004-PRO (DNIT, 2004), ainda indica uma ferramenta de atribuição de notas de avaliação de elementos com função estrutural, correlacionando a nota à categoria dos danos verificados na peça (Anexo A).

As fichas de inspeção cadastral e rotineira, contidas na Norma Técnica DNIT 010/2004-PRO, foram elaboradas para pontes construídas em concreto armado, concreto pré-fabricado e concreto protendido em estradas de rodagem, não contemplando pontes de madeira e suas particularidades.

4.5.3 Técnicas de Inspeção

As técnicas aplicadas para investigar as características do material (físicas e mecânicas) sem que se altere sua capacidade final de uso é denominada Técnicas Não Destrutivas (NDT) (Quadro 7), neste caso utilizadas para inspeções e avaliações, e a partir dos resultados obtidos, pode-se tomar as providências apropriadas, tais técnicas contribuem significativamente para detectar danos em estruturas de madeira.

Avaliação não destrutiva da madeira (NDT)	
Avaliação das características visuais	Cor; Presença de defeitos.
Testes físicos	Resistência elétrica; Propriedades dielétricas; Propriedades vibracionais; Propagação da onda; Emissões acústicas; Raio-X.
Testes químicos	Composição; Presença de tratamentos (Preservativos e Retardadores de chama).
Ensaio mecânicos	Rigidez à flexão; Prova de carga (Flexão, Tração e Compressão); Sondas.

Quadro 7 – Técnicas para avaliação não destrutiva aplicadas a estruturas de madeira
Fonte: Adaptado de Brito e Calil (2013).

As técnicas mais utilizadas para realizar inspeções, com o intuito de verificar os danos causados por agentes bióticos e abióticos são na maioria das vezes simples, exigindo poucos equipamentos. As principais técnicas utilizadas para a investigação a partir da superfície da madeira (Figura 29) são as seguintes:

- Técnica de inspeção visual: Trata-se de levantamentos de danos visíveis a olho nú, a fim de se verificar a presença de manchas, bolores, podridões, desgastes, dentre outros, deve-se realizar uma inspeção detalhada e com seu devido registro fotográfico, e pode ser complementado com teste sonoro com a utilização de martelo.

- Teste de sondagem: Os testes de sondagem superficial, se utilizam de ferramentas pontiagudas (formão, punção, chaves de fenda, dentre outras), para investigar a profundidade do dano causado por fungos e insetos, através de perfurações na madeira (técnica semi-destrutiva).

- Medição de teor de umidade: Realizado através de aparelho medidor de umidade.

- Microperfuração: Utilizado para avaliar a resistência a perfuração da madeira com aparelho Resistograph (BRITO; CALIL, 2013).

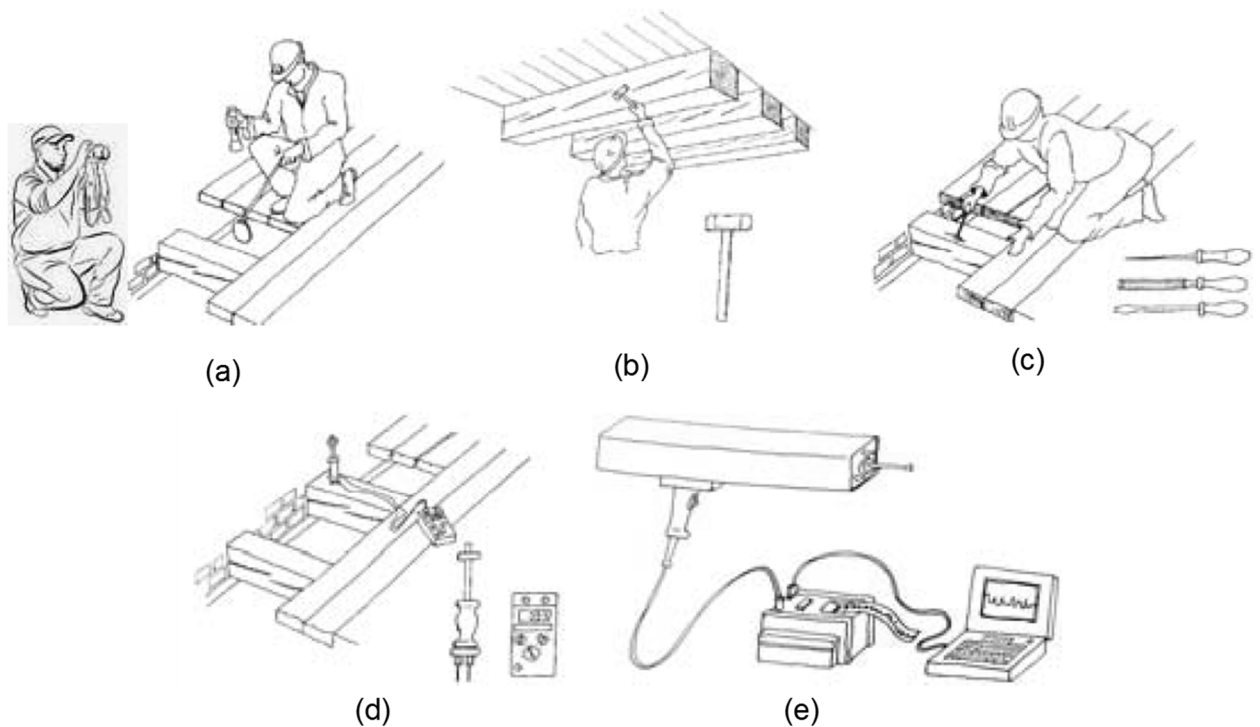


Figura 29 – Inspeção visual (a); Teste sonoro (b); Teste de sondagem (c); Medição do teor de umidade (d); Microperfuração (e)
 Fonte: Adaptado de Brito e Calil (2013).

4.5.4 Manutenção Preventiva

De fundamental importância, a manutenção preventiva tem como objetivo zelar pelo bom estado de conservação dos componentes de estruturas de madeira, atuando de forma a reduzir a ocorrência de problemas futuros em peças que ainda não possuem danos, porém, com riscos potencialmente ativos (CALIL *et al.*, 2006, p. 73).

O acúmulo de umidade sobre componentes de pontes de madeira caracterizam um elevado risco de deterioração por agentes biológicos, para Brito (2014) algumas medidas podem ser tomadas a fim de se reduzir a incidência de umidade sobre os componentes, como: limpezas periódicas, visando a retirada de sujeira e detritos que se acumulam sobre os componentes horizontais das pontes (tabuleiro, vigas, calhas, drenos, dentre outros), e aplicações periódicas de produtos de proteção superficial, através de pinturas com propriedades fungicidas hidrorrepelentes (*stains*), que também conferem proteção aos agentes atmosféricos e tem função de acabamento final.

De forma modesta, pode-se dizer que a aplicação de procedimentos de manutenção preventiva resultam em redução de custos e prolongamento da vida útil dos componentes estruturais.

4.5.5 Manutenção Corretiva

Os procedimentos referentes a manutenção corretiva são aplicados a partir da constatação da presença de danos nos elementos, que podem estar ocorrendo em diferentes estágios de deterioração. Para Calil *et al.* (2006), a reabilitação estrutural entende-se como manutenção corretiva, e subdivide-se em duas categorias: Manutenção corretiva devido à presença de deterioração inicial e manutenção corretiva e tardia devido à presença de deterioração severa.

4.5.5.1 Manutenção corretiva devido à presença de deterioração inicial

Ocorre quando a degradação está instalada, porém, em tal estágio que não comprometa a capacidade de serviço do componente, o problema pode ser resolvido

aplicando técnicas de tratamentos superficiais ou de impregnação *in loco*. As principais técnicas são:

- Fumigação (ou expurgo): Trata-se de um processo em que a peça de madeira é submetida à ação de gás tóxico (geralmente brometo de metila e a fosfina) por tempo pré fixado, devendo ser vedada por lonas impermeáveis ao gás aplicado. Este processo é muito eficiente pela profundidade atingida pelo gás na madeira, porém, seu efeito é de curta duração, necessitando de tratamento superficial complementar, se possível.

- Injeção: O produto químico é aplicado utilizando seringas hipodérmicas, podendo ser nas perfurações causadas pelos insetos ou introduzidas artificialmente com o uso de furadeiras, os furos devem ser distribuídos de maneira equilibrada na peça para que atinja todas as partes, e em posições em que as perfurações não comprometam o desempenho estrutural da peça.

Como medida complementar, após a remediação com fumigação e/ou injeção, recomenda-se a aplicação de produtos preservativos através de tratamento superficial por aspersão (pulverização) ou pincelamento.

4.5.5.2 Manutenção corretiva e tardia devido à presença de deterioração severa

Ocorre quando a degradação está em estágio avançado, comprometendo o desempenho de peças importantes para a integridade da estrutura. O objetivo é restaurar a capacidade de carga, de modo que se obtenha desempenhos compatíveis com os das condições iniciais. Os principais métodos são:

- Sistema tradicional: Também chamado de método de substituição, o sistema tradicional é muito utilizado, e caracteriza-se pela substituição de uma peça que esteja em avançado estágio de deterioração ou que esteja em condições limites de uso, por uma nova com características e dimensões próximas das originais. É viável em ocasiões em que poucas peças precisem ser trocadas, pois nestes casos inviabiliza a demolição e a construção de uma nova estrutura se torna muito cara.

- Reparos mecânicos: São métodos utilizados para recuperar a capacidade de carga e frear a ação de rachaduras presentes nas peças, através de adição de reforços que irão aumentar a sua rigidez. Os tipos de reparos mecânicos (Figura 30) comumente usados são: Reforços com execução de cortes (Cortes, biséis e chanfros) e inserção de conectores (Conectores, anéis e chapas metálicas parafusadas);

Reparos mecânicos por emendas (Peças de madeira parafusadas); Reparos com chapas metálicas (Chapas metálicas parafusadas ou coladas com adesivos epoxi); e Reforço com camisa de concreto (Revestimento executado em concreto, geralmente em pilares de pontes e piers expostos à condições severas de umidade).

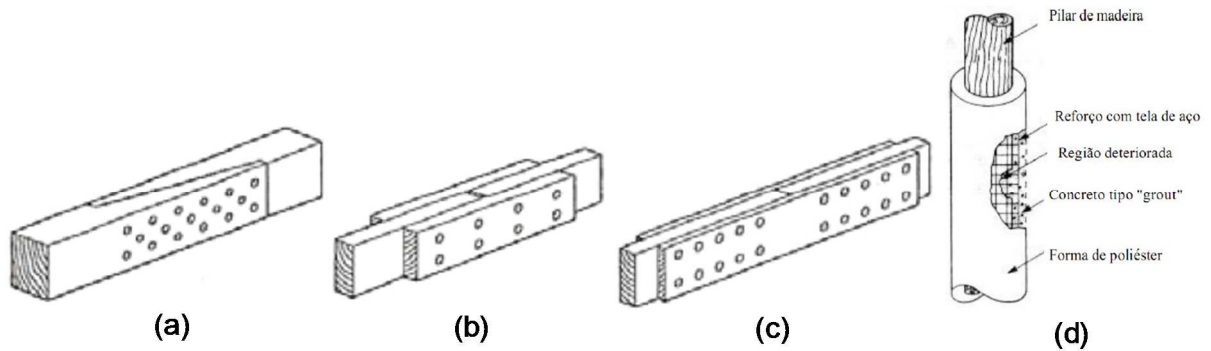


Figura 30 – Ligação tipo bisel (a); Reforço por peças de madeira parafusadas (b); Reforço por chapas metálicas parafusadas (c); Encamisamento em concreto (d)
 Fonte: Adaptado de Brito (2014).

- Reparos adesivos e reforços com fibras sintéticas: A utilização de reparos adesivos de resinas epoxi, resulta em um aumento da capacidade de carga da peça reforçada, pode ser combinada com peças metálicas ou fibras. Muito utilizado atualmente, os reforços com fibras sintéticas podem ser usados em reforços de vigas, pilares e lajes, e com uso crescente em vigas laminadas coladas (Figura 31). Neste tipo de reparo utilizam-se fibras reforçadas com polímeros (Fibra de vidro, aramid e fibra de carbono), resultando em aumento da rigidez e da resistência dos elementos reforçados.

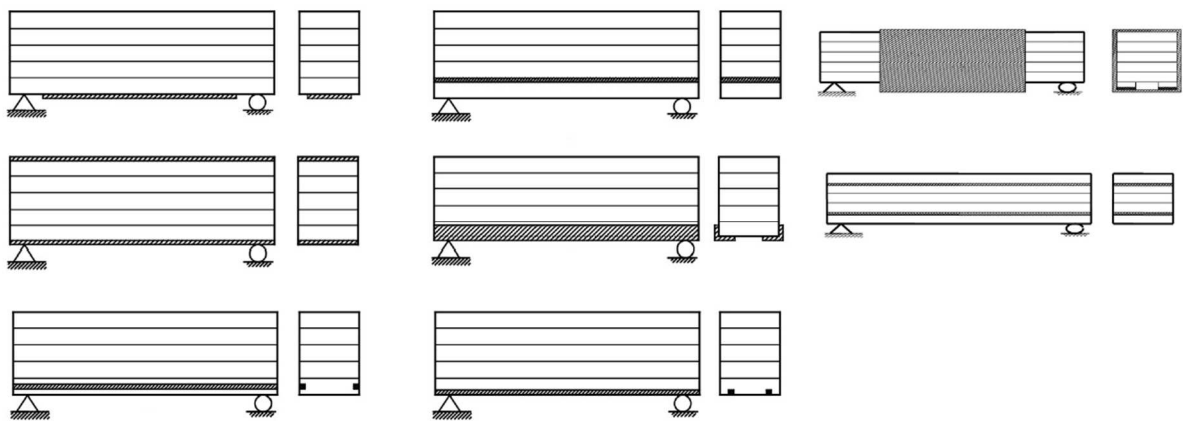


Figura 31 – Tipos de vigas laminadas coladas utilizando fibras reforçadas com polímeros
 Fonte: Adaptado de Brito (2014).

5 METODOLOGIA

5.1 VISITA TÉCNICA E COLETA DE DADOS

Foram coletados dados no município de Nova Tebas, localizado na região central do Estado do Paraná (Figura 32), mais especificamente na região rural do município.

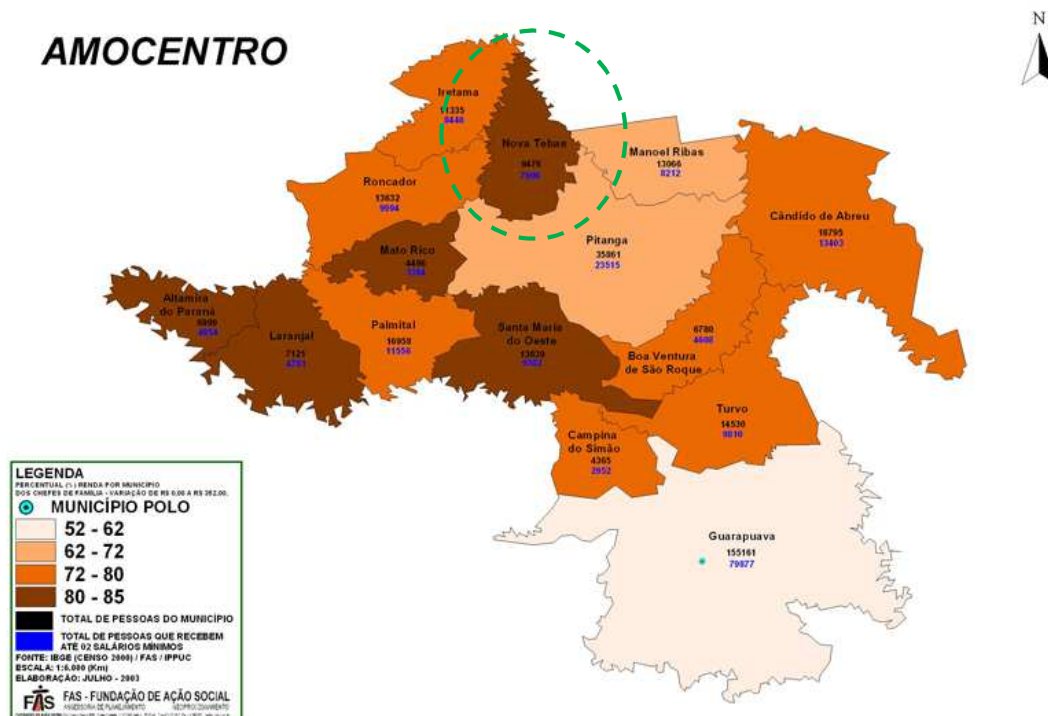


Figura 32 – Município de Nova Tebas-PR
Fonte: Cogemas Paraná (2015).

A coleta de dados foi realizada através de visita técnica *in loco*, nos dias 02 e 21 de março de 2015, a fim de se verificar o estado de conservação dos elementos constituintes de 5 pontes de madeira. A metodologia dos levantamentos foi baseada na inspeção visual (técnica não destrutiva), em que foram registrados em fotos os seguintes elementos das estruturas: vigas de madeira roliça, região dos apoios, muro de contenção de aterro em pedra argamassada, tabuleiro, rodeiro, guarda-rodas e ligações. E para avaliar a profundidade dos danos causados por agentes biológicos,

utilizou-se o teste de sondagem (técnica semi-destrutiva), com ferramenta de perfuração pontiaguda (chave de fenda).

Também foram coletados dados referente às dimensões dos elementos constituintes das pontes, para tal utilizou-se uma trena de 5 metros. Com os dados, foram gerados desenhos esquemáticos, com o intuito de ilustrar as pontes e servir de orientação para melhor compreensão da posição dos elementos que sofreram deterioração.

Para a coleta de dados como a localização geográfica, idade das pontes, informações referente às espécies de madeira utilizadas e informações relativas a políticas de manutenção preventiva e corretiva adotadas nas pontes, contou-se com a colaboração de funcionários da prefeitura da cidade, os quais acompanharam a construção das pontes.

5.2 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DAS PONTES

As pontes estão localizadas conforme coordenadas geográficas obtidas através do programa Google Earth, descritas pelo Quadro 8 e ilustrado pela Figura 33:

Ponte	Curso d'água	Coordenadas geográficas		Altitude (m)
		S	W	
1	Rio Putinga	24° 28' 16.968"	51° 59' 12.768"	530
2	Rio Água Boa	24° 28' 17.518"	51° 53' 37.170"	586
3	Arroio dos Machado	24° 30' 41.868"	51° 54' 46.404"	604
4	Rio do Tigre	24° 25' 01.674"	51° 55' 53.493"	582
5	Rio Água da Anta	24° 24' 41.896"	51° 57' 21.618"	521

Quadro 8 – Localização geográfica das pontes
 Fonte: O autor; Google Earth (2015).

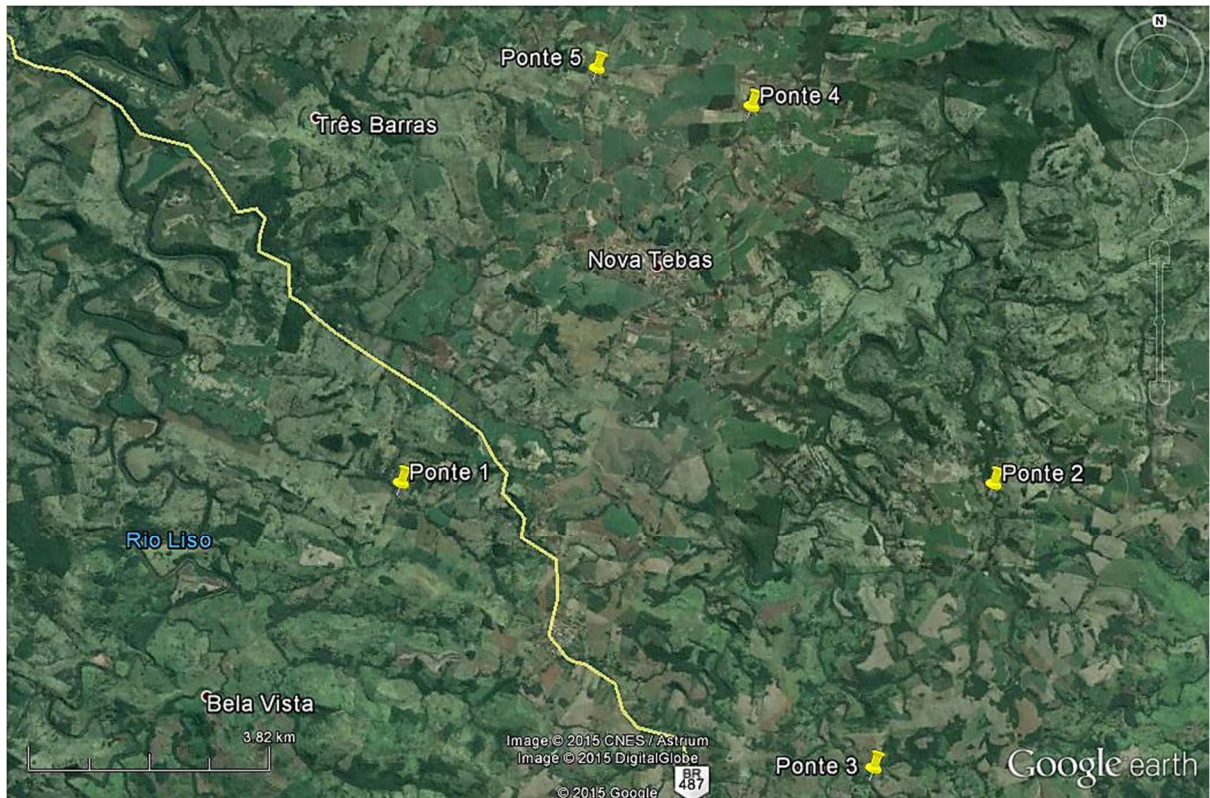


Figura 33 – Mapa da localização geográfica das pontes
 Fonte: Google Earth (2015).

5.3 AVALIAÇÃO DAS PONTES DE MADEIRA

No decorrer das visitas técnicas, a inspeção de uma das pontes (Ponte 1) chamou a atenção devido ao estado avançado de deterioração dos elementos estruturais, logo será dado o devido enfoque mostrando o panorama geral da avaliação desta ponte, e posteriormente, as principais patologias encontradas nas demais.

5.3.1 Ponte 1

A ponte 1 (Ponte sobre o Rio Putinga), está situada na localidade de Putinga, região rural do município (Fotografia 1). Inicialmente, verificou-se que a idade da ponte é de 16 anos, foi executada sem projeto, com a utilização de madeiras

oriundas de propriedades próximas à ponte. Não houve instalação de placa de sinalização na entrada indicando a capacidade máxima de carga.



Fotografia 1 – Ponte sobre o Rio Putinga
Fonte: O autor (2015).

5.3.2 Descrição da Estrutura

O sistema estrutural adotado na construção da ponte é o de vigas de madeira roliça simplesmente apoiadas (Fotografia 2), com 4,3 metros de vão livre. A ponte está representada esquematicamente pelas Figuras 22 e 23.



Fotografia 2 – Vista lateral da estrutura
Fonte: O autor (2015).

O rodeiro é composto por pranchas de madeira serrada da espécie *Eucalyptus ssp*, afixadas sobre o tabuleiro por pregos. O tabuleiro é composto por pranchas de madeira serrada da espécie *Eucalyptus ssp*, afixadas sobre as vigas por pregos. O vigamento é composto por quatro vigas de madeira roliça da espécie *Gurucaía (Parapiptadenia rigida)*, em algumas vigas foram executados entalhes na parte inferior das extremidades para o encaixe na região de contato com os apoios, e não há nenhum tipo de ligação (fixação) entre as vigas e o apoio, nem aparelho de apoio. Os apoios são constituídos por muros de pedra argamassada, que formam a cabeceira da ponte, com aproximadamente 2 metros de altura. Observou-se que não existem elementos de segurança como a defesa e o guarda-rodas, e foi executada sem aplicação de tratamento com produtos preservativos.

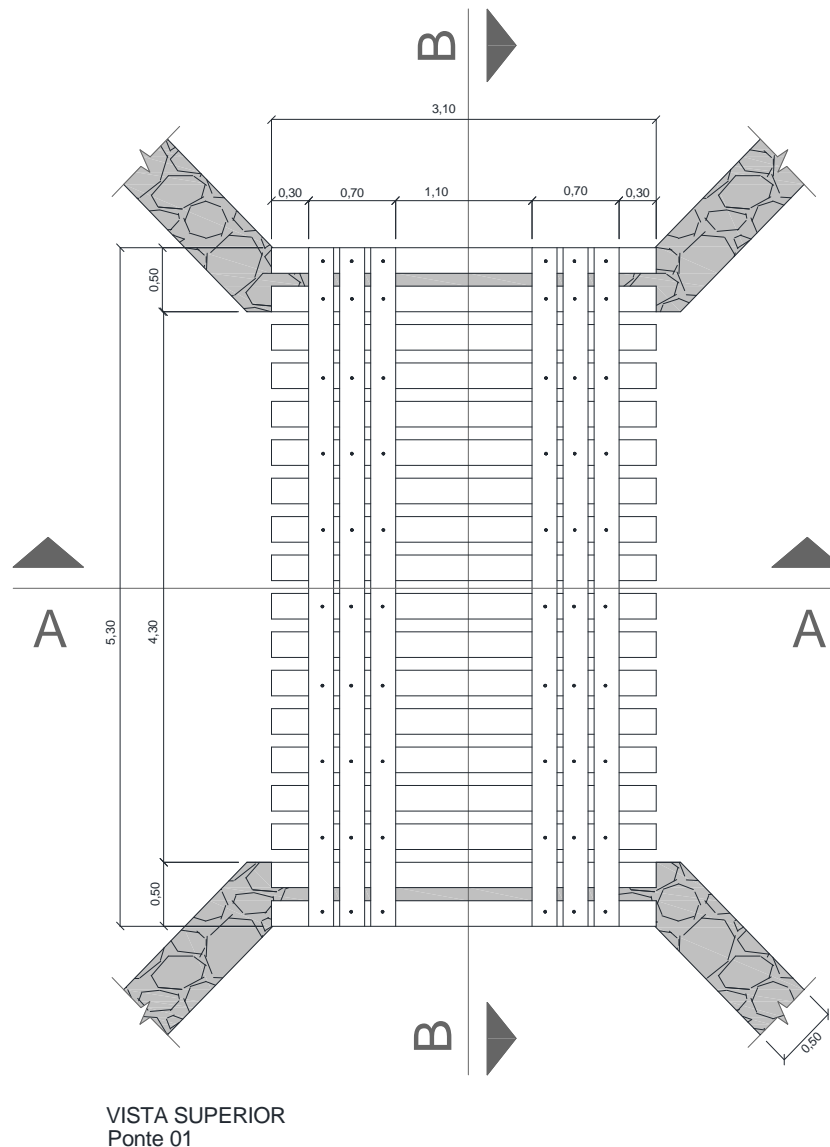
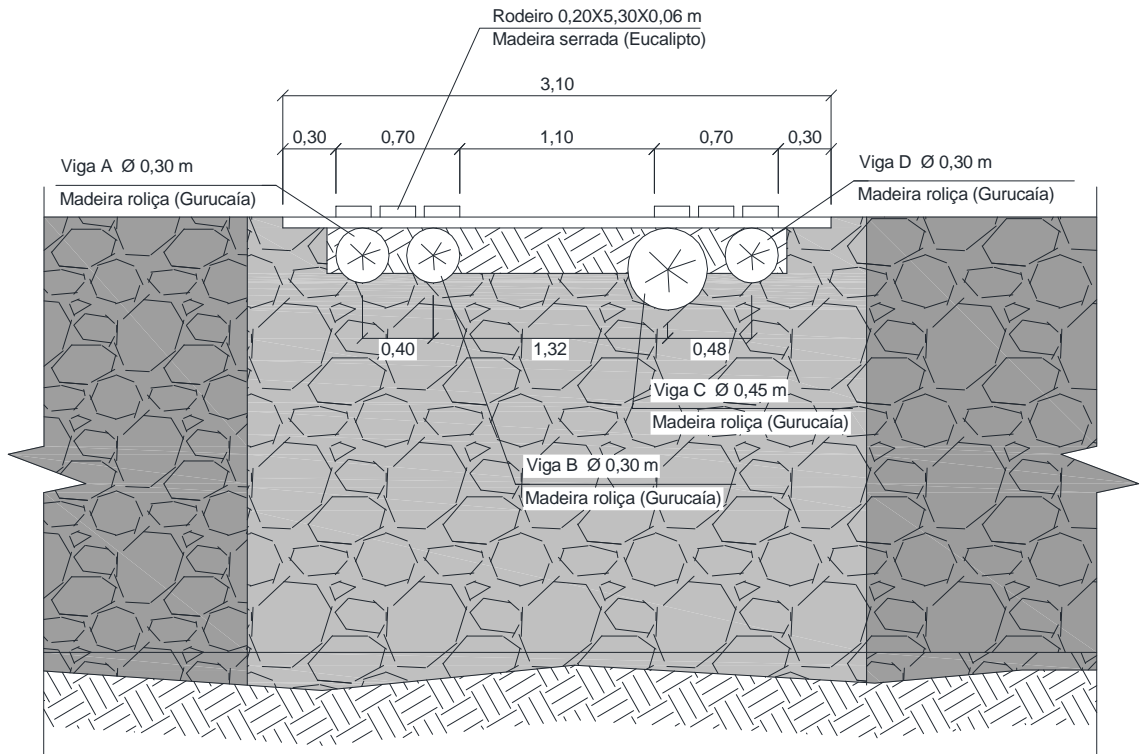
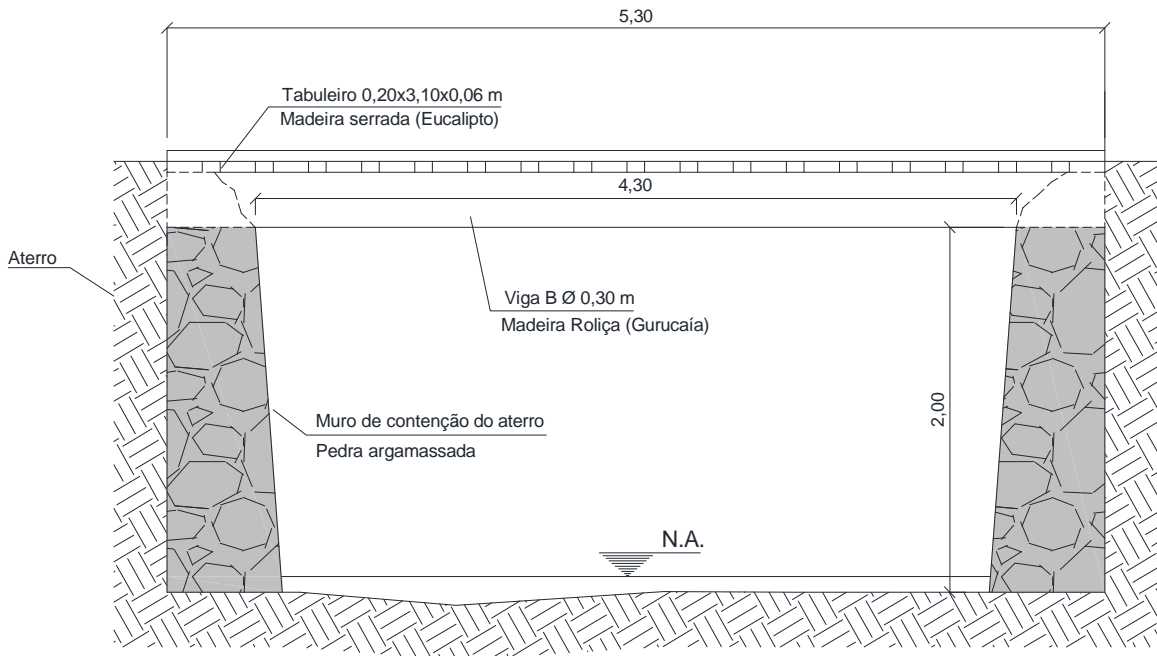


Figura 34 – Vista superior da estrutura
Fonte: O autor (2015).



SEÇÃO A-A
Ponte 01



SEÇÃO B-B
Ponte 01

Figura 35 – Planta das seções da estrutura
Fonte: O autor (2015).

5.3.3 Rodeiro

Observou-se no rodeiro, a presença de deterioração devido à abrasão provocada pelos veículos, ocorrência de acúmulo de solo e sujeira entre as pranchas, o que acaba favorecendo a deterioração pois retém umidade nestes locais, (Fotografias 3 e 4).



Fotografia 3 – Abrasão mecânica em prancha do rodeiro
Fonte: O autor (2015).



Fotografia 4 – Acúmulo de solo entre as pranchas do rodeiro
Fonte: O autor (2015).

Verificou-se também a ocorrência de rachaduras (seta verde) em algumas pranchas e peças soltas (seta vermelha) (Fotografia 5), e a ocorrência de corrosão e o afrouxamento dos pregos, observado pela seta branca (Fotografia 6).



Fotografia 5 – Rachaduras nas pranchas do rodeiro
Fonte: O autor (2015).



Fotografia 6 – Desgaste por corrosão e afrouxamento dos pregos de aço
Fonte: O autor (2015).

5.3.4 Tabuleiro

Observou-se, no tabuleiro a presença de defeitos e deterioração. Verificou-se que na parte inferior das pranchas há presença de hifas de fungos causadores de deterioração, porém, não se constatou o apodrecimento (Fotografia 7). Também observou-se que há pranchas com rachaduras nas extremidades, que deram origem a degradação (Fotografia 8).



Fotografia 7 – Presença de hifas de fungos causadores deterioração
Fonte: O autor (2015).



Fotografia 8 – Pranchas com extremidades rachadas e degradação
Fonte: O autor (2015).

Notou-se, o acúmulo de solo e crescimento de musgo e demais espécies de vegetação devido ao acúmulo de umidade nas pranchas do tabuleiro (Fotografia 9). Verificou-se também, o afrouxamento dos pregos de aço (setas vermelhas) que ligam o tabuleiro às vigas (Fotografia 10).



Fotografia 9 – Acúmulo de solo e crescimento de vegetação no tabuleiro
Fonte: O autor (2015).



Fotografia 10 – Afrouxamento dos pregos de aço do tabuleiro
Fonte: O autor (2015).

5.3.5 Vigas

Verificou-se na viga A (Fotografia 11), a presença de musgo (seta branca) que indica alta presença de umidade, manchas causadas por fungos (seta verde) e hifas de fungos apodrecedores (seta amarela). Observou-se também, a presença de cogumelos que tem a função de disseminar os esporos (Fotografia 12).



Fotografia 11 – Presença de manchas, hifas de fungos e musgo na viga A
Fonte: O autor (2015).



Fotografia 12 – Presença de cogumelos na viga A
Fonte: O autor (2015).

Verificou-se, na viga B a presença de hifas de fungos (setas brancas) e caminhos de cupim de solo (seta verde) que se estende até uma abertura causada por uma rachadura na parte inferior da viga (Fotografia 13), e em alguns pontos da viga (seta amarela), partes apodrecidas se soltaram (Fotografia 14).

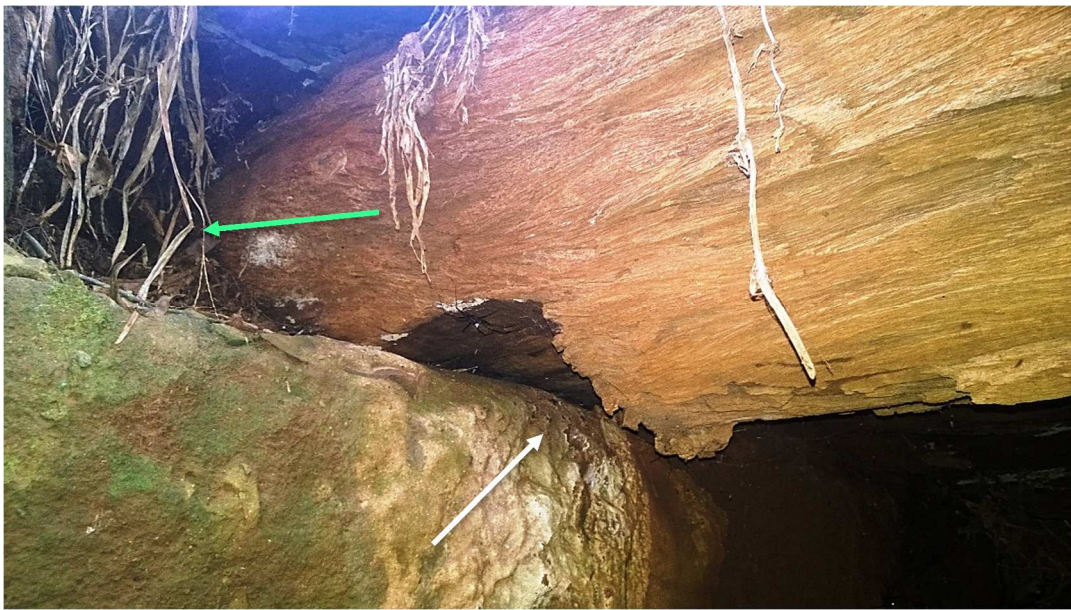


Fotografia 13 – Presença de hifas de fungos e caminho de cupins de solo
Fonte: O autor (2015).

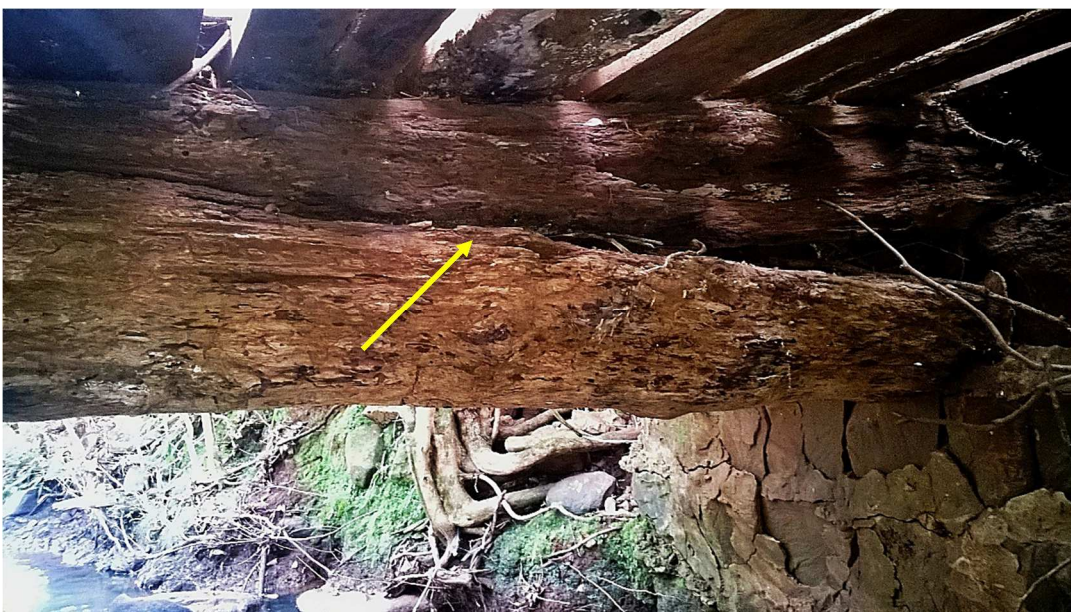


Fotografia 14 – Desprendimento de partes apodrecidas da viga B
Fonte: O autor (2015).

Observou-se na da viga D (Fotografia 15), a execução de entalhe para nivelamento sobre a região do apoio (seta branca), e também verificou-se que a extremidade da viga encontra-se em contato direto com o solo (seta verde), assim como todas as outras, expondo as peças à alto risco de biodeterioração. Na viga C, verificou-se na região do entalhe a ocorrência de uma rachadura estrutural séria (Fotografias 16 e 17), devido ao entalhe executado de forma incorreta em ambas as extremidades, a ruptura se deu por fendilhamento (seta amarela).



Fotografia 15 – Execução de entalhe na viga D e extremidade em contato com o solo
Fonte: O autor (2015).

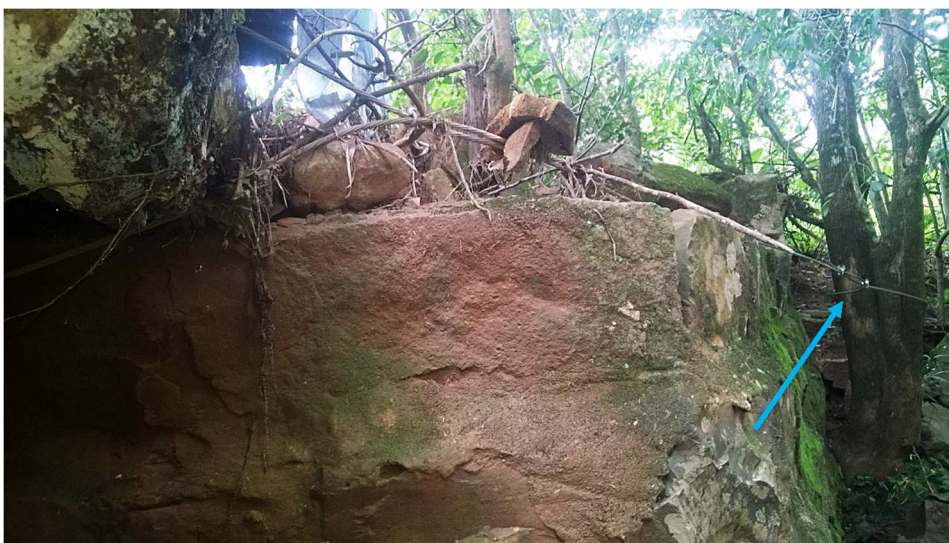


Fotografia 16 – Rachadura estrutural séria, ruptura por fendilhamento (Viga C - Lado sul)
Fonte: O autor (2015).



Fotografia 17 – Rachadura estrutural séria, ruptura por fendilhamento (Viga C - Lado norte)
Fonte: O autor (2015).

De acordo com NBR 7190 (ABNT, 1997), quando houver a necessidade de execução de entalhe, o mesmo não deve exceder $\frac{1}{4}$ da altura da peça, então deve ser verificado o cisalhamento, e se necessário, realizar a instalação de mecanismos que garantam a transmissão dos esforços. Observou-se ainda, que a ponte está presa por um cabo de aço (seta azul), e ancorado em uma árvore no leito do rio, com a intenção de evitar que a estrutura seja levada pela correnteza, em decorrência de fortes chuvas que tem como consequência a elevação do nível do rio (Fotografia 18).



Fotografia 18 – Detalhe do cabo de aço
Fonte: O autor (2015).

Através do teste de sondagem superficial, verificou-se na viga D que a profundidade da camada apodrecida se estende por 2 cm, indicando um estágio intermediário de apodrecimento, resultando em uma perda aproximada de 13% de área de seção transversal. Nas vigas A, B e C, a profundidade da camada apodrecida é de 5 cm, indicando um elevado estágio de apodrecimento, o que resultou em uma perda aproximada de 56% de área de seção transversal para as vigas A e B, e de aproximadamente 40% para a viga C, o que reduz substancialmente a resistência das peças.

5.3.6 Região dos Apoios

Verificou-se, nos muros de pedra argamassada que dão suporte as vigas, a ocorrência de trincas e desprendimento da argamassa entre as pedras (setas brancas) na região de apoio da vigas, em ambos os lados devido à sobrecarga, e notou-se também o crescimento de planta (seta amarela) entre as fendas do muro (Fotografias 19 e 20).



Fotografia 19 – Trincas no muro por sobrecargas e desprendimento de argamassa (Lado Sul)
Fonte: O autor (2015).



Fotografia 20 – Trincas, desprendimento de argamassa e crescimento de planta (Lado Norte)
Fonte: O autor (2015).

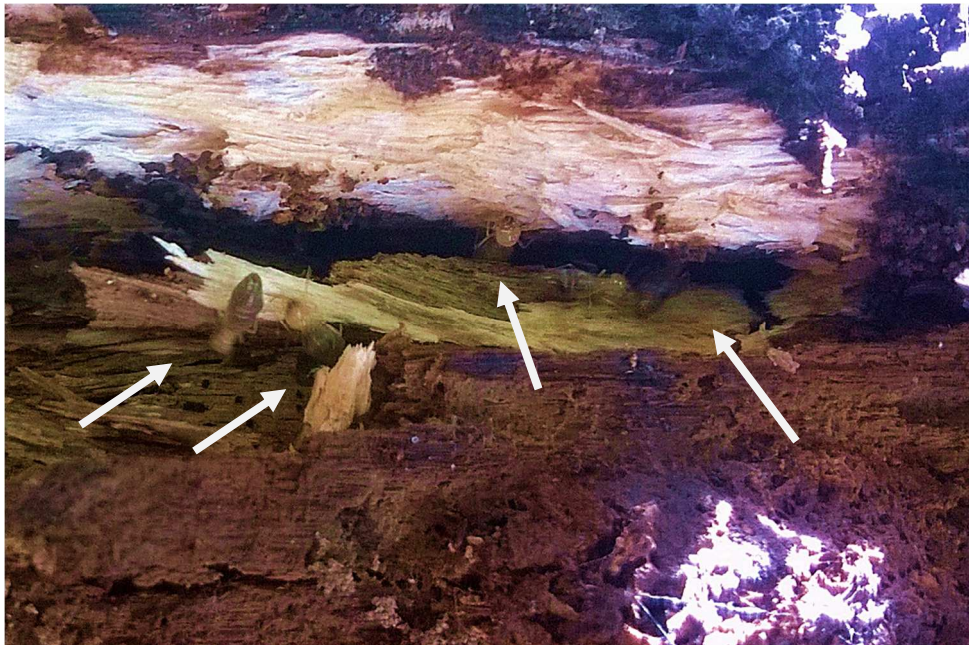
5.3.7 Considerações Sobre a Ponte 1

Durante a inspeção da Ponte 1 (Ponte sobre o Rio Putinga), foram constatados diversos processos que favoreceram a sua degradação, como a falta de sinalização referente a carga máxima permitida sobre a ponte, acúmulo de sujeira, peças em contato direto com o solo (alto risco de exposição) e uso de peças de madeira que não passaram por tratamentos com produtos químicos (com pressão e superficial), enfim, a falta de inspeções e manutenção preventiva reduziram significativamente sua vida útil, pois levaram a estrutura a sofrer diversos danos, sendo de origem bióticos, como o elevado estágio de apodrecimento das vigas devido à ação de fungos apodrecedores, que resultaram em redução drástica de área de seção transversal, e de origem abióticos, como a abrasão mecânica no rodeiro causada pelos veículos, rachaduras nas pranchas, e ruptura de viga por fendilhamento devido à execução de entalhes de maneira incorreta. Os danos identificados na Ponte 1, levam a concluir que a mesma está condenada, devido à falta de segurança que oferece aos usuários que por ela transitam.

5.3.8 Principais Patologias Identificadas nas Pontes

A seguir, serão descritos e ilustrados os principais defeitos e danos detectados nas pontes 2,3,4 e 5.

Na Ponte 2, verificou-se na viga D, através de sondagem a deterioração por cupins (seta branca, Fotografia 21). Notou-se também, pranchas do rodeiro com arestas quebradas (seta azul, Fotografia 22).



Fotografia 21 – Presença de cupins na viga D da Ponte 2.
Fonte: O autor (2015).



Fotografia 22 – Pranchas do tabuleiro com arestas quebradas
Fonte: O autor (2015).

Observou-se, na região dos pregos, manchas escuras decorrentes da deterioração do aço dos pregos em contato com as pranchas do rodeito (seta amarela, Fotografia 23), e também no apodrecimento, que se deu após danos causados por abrasão (Fotografia 24).



Fotografia 23 – Mancha escura decorrente da deterioração do prego de aço
Fonte: O autor (2015).



Fotografia 24 – Apodrecimento de prancha do rodeiro após danos por abrasão
Fonte: O autor (2015).

Na Ponte 3, constatou-se pequenas perfurações causadas por insetos na Viga D (Fotografia 25), e também pranchas quebradas devido ao fato de que as extremidades estão em balanço (Fotografia 26), e ainda constatou-se que a cabeceira da ponte, executada em pedra argamassada foi destruída devido à ação da correnteza do rio (Fotografia 27), como resultado as vigas estão apoiadas somente sobre o solo.



Fotografia 25 – Pequenas perfurações de insetos na Viga D (Ponte 3)
Fonte: O autor (2015).



Fotografia 26 – Pranchas quebradas (extremidades em balanço)
Fonte: O autor (2015).



Fotografia 27 – Cabeceira em pedra argamassada destruída, vigas apoiadas sobre o solo
Fonte: O autor (2015).

Na Ponte 4, verificou-se que não foi executada a fundação, as vigas estão apoiadas diretamente sobre o solo (seta branca, Fotografia 28), observou-se rachaduras em pranchas do tabuleiro devido à secagem *in loco* (Fotografia 29), e indícios de manutenção corretiva, com a substituição de pranchas do tabuleiro (seta amarela, Fotografia 30).



Fotografia 28 – Vigas apoiadas diretamente sobre o solo
Fonte: O autor (2015).



Fotografia 29 – Pranchas rachadas nas extremidades devido à secagem *in loco*
Fonte: O autor (2015).



Fotografia 30 – Manutenção corretiva, substituição de pranchas do tabuleiro
Fonte: O autor (2015).

Na Ponte 5, notou-se a execução de guarda-rodas, porém, ineficiente (seta branca), e ausência das pranchas do rodeiro (Fotografia 31). Verificou-se ainda, encanoamento em prancha devido à secagem *in loco* (Fotografia 32), e remoção de madeira das vigas (entalhes) para um provável nivelamento das pranchas (Fotografia 33).



Fotografia 31 – Guarda-rodas ineficiente
Fonte: O autor (2015).



Fotografia 32 – Encanoamento em prancha do tabuleiro devido à secagem *in loco*
Fonte: O autor (2015).



Fotografia 33 – Remoção de madeira das vigas (entalhes)
Fonte: O autor (2015).

5.3.9 Ações de Manutenção Adotadas nas Pontes

Através de entrevista concedida pelo funcionário responsável pelo departamento de obras da prefeitura, nos foi informado que as pontes de madeira construídas em áreas rurais do município são executadas sem projetos e desacompanhadas de profissionais com conhecimento técnico em estruturas de madeira, são construídas a partir da experiência dos construtores que fazem parte do quadro de funcionários da própria prefeitura, e que comumente fazem uso de improvisações nas construções devido à falta de equipamentos adequados, como exemplo a utilização de retroescavadeira para içamento de vigas, na falta de guindaste ou *munck*. As peças de madeira utilizadas não são tratadas com produtos preservativos (sob pressão e/ou superficial).

Com relação a políticas de manutenções adotadas e seguidas pelo município, nos foi informado que existe um cadastramento de estradas e pontes rurais para a realização de manutenções periódicas, que ocorrem em um período de cada 6 meses a 1 ano, ou de acordo com a solicitação de moradores que utilizam tais

estradas e pontes. O objetivo da manutenção, é a reabilitação das estradas visando boas condições de tráfego, e a limpeza de sujeira e remoção de vegetação nas pontes, além da substituição de elementos das pontes que são danificados decorrente da passagem de veículos excepcionais, como colhedadeiras e tratores de esteira.

Devido à ação de enchentes, que tem recorrência de tempos em tempos, as pontes de madeira são frequentemente destruídas, então algumas modificações estão sendo implantadas pelo município, como a substituição de 4 pontes de madeira por pontes novas de concreto armado, com todos os projetos necessários, inclusive com estudo hidrológico, com recursos adquiridos através da Defesa Civil. Uma outra ação adotada pela prefeitura, é a substituição das pontes de madeira por manilhas de concreto, formando os bueiros.

6 RESULTADOS

Através da análise das avaliações das pontes de madeira, chegou-se aos seguintes resultados:

Dentre os defeitos mais significativos encontrados nas peças do tabuleiro e rodeiro (Gráfico 1), constatou-se a ocorrência de nós em 32% das peças (defeito de origem anatômica, caracterizado pela presença do galho da árvore neste ponto), ocorre a presença de arestas quebradas em 8% das peças (defeito de processamento), e foram identificados dois tipos de empenamento mais comuns nas peças, o curvamento e o encanoamento, presentes em 22% das peças, já as rachaduras, estão presentes em 48% das peças, os empenamentos e rachaduras são defeitos decorrentes de processos de secagem ineficientes, neste caso, a secagem *in loco*.

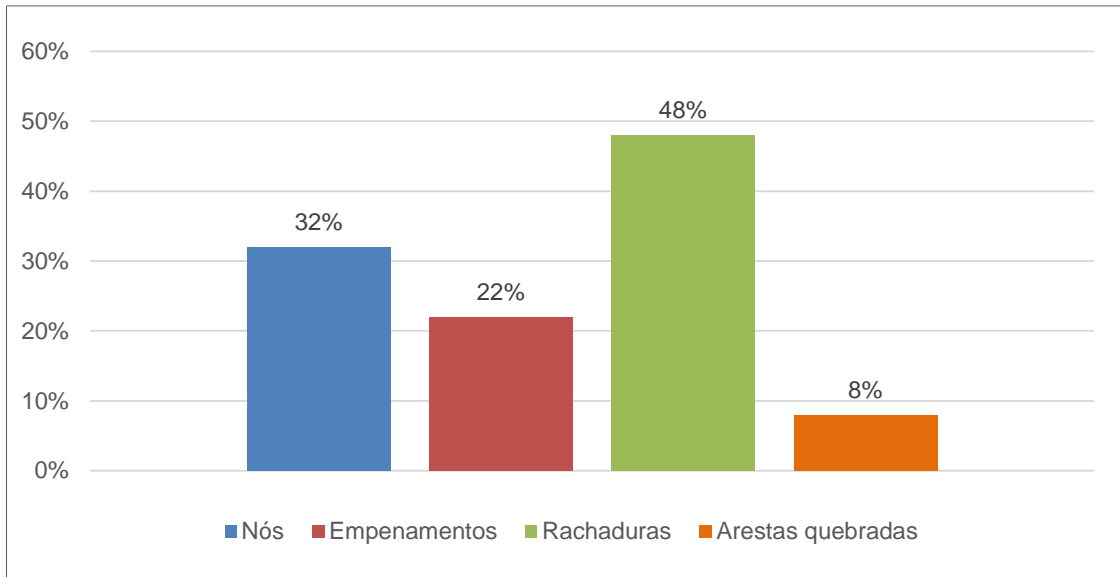


Gráfico 1 – Defeitos nas peças do rodeiro e tabuleiro
Fonte: O autor (2015).

Com relação aos danos causados por agentes abióticos (Gráfico 2), verificou-se que a abrasão mecânica causada pelos veículos ocorreu em 100% das pontes avaliadas, assim como a corrosão dos pregos de aço, constatou-se que em 60% das pontes, ocorreu degradação química devido à ação dos raios ultravioleta do sol, este mesmo percentual representa as peças de madeira serrada quebradas (extremidades em balanço), e em 20% das pontes avaliadas, ocorreram danos por sobrecarga aliados à execução incorreta de entalhes (fendilhamentos).

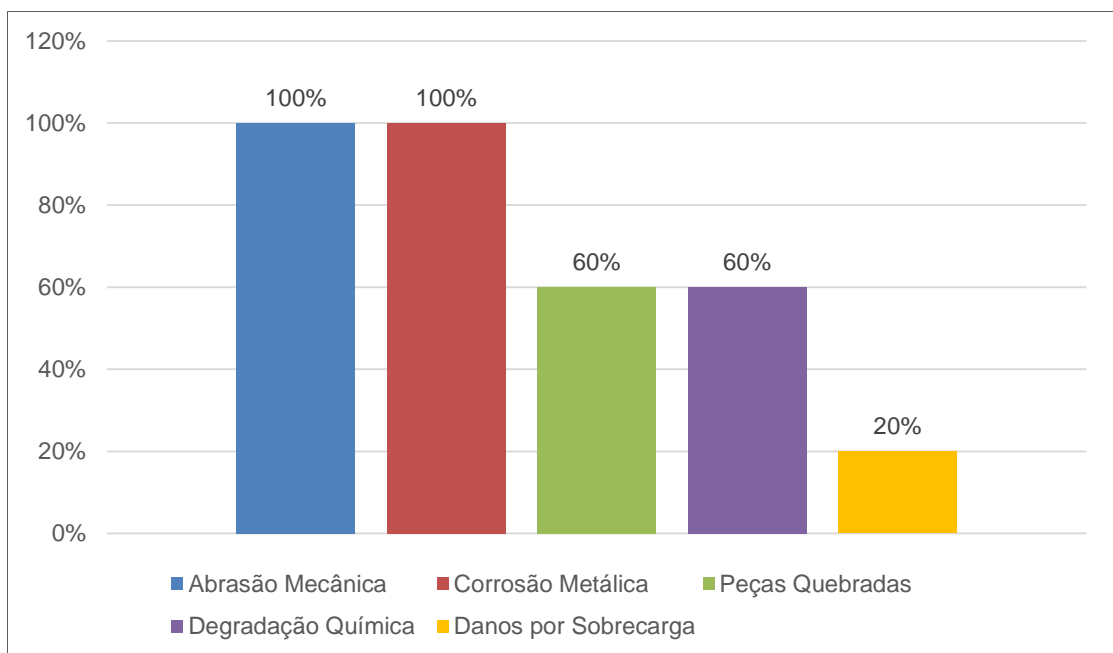


Gráfico 2 - Ação de agentes abióticos
Fonte: O autor (2015).

O percentual de pontes avaliadas em que foram constatados a presença de agentes bióticos (Gráfico 3), está distribuído da seguinte forma: Verificou-se a presença de cupins em 20% das pontes, e em 80% das pontes foram constatados a presença de fungos manchadores e de fungos apodrecedores.

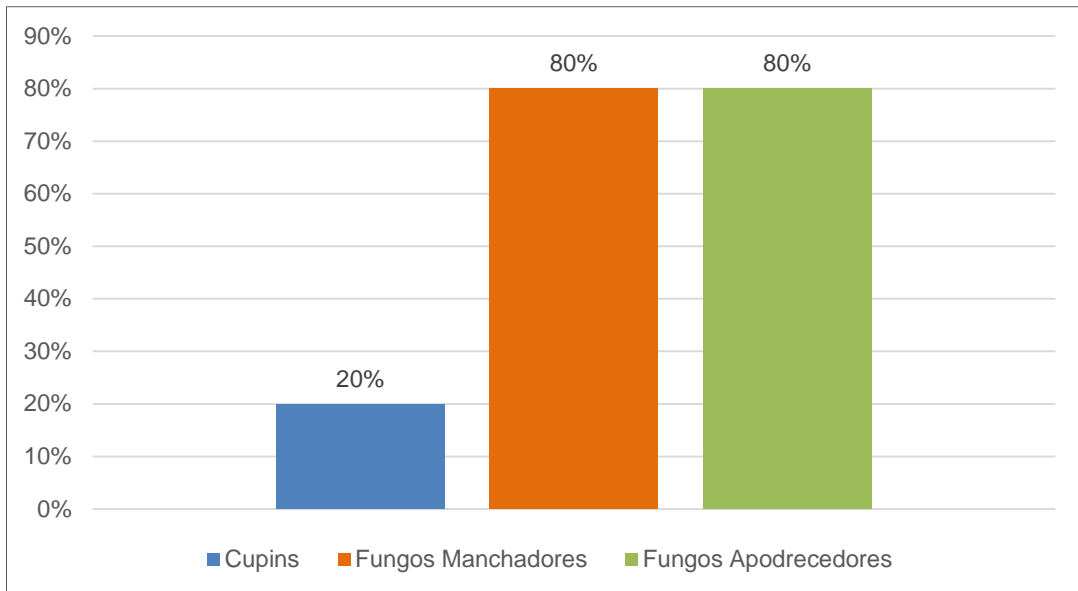


Gráfico 3 – Presença de agentes bióticos
 Fonte: O autor (2015).

O estágio de deterioração das vigas (Gráfico 4), causada por agentes bióticos e abióticos, está distribuído da seguinte forma: Em 20% das vigas, observou-se a presença de agente biótico, porém sem a deterioração, 10% das vigas estão em estágio inicial, 30% em estágio intermediário e 20% em estágio avançado de deterioração, e constatou-se que 20% das vigas encontram-se em bom estado de conservação.

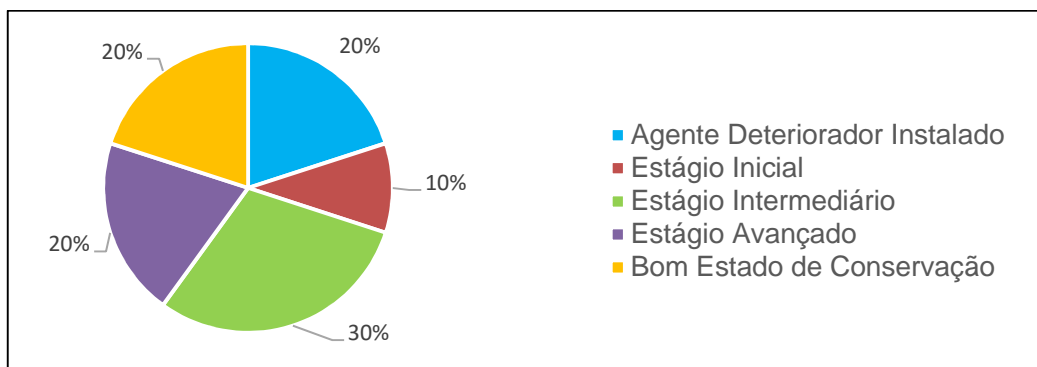


Gráfico 4 – Estágio de deterioração das vigas
 Fonte: O autor (2015).

Constatou-se ainda, que em 20% das pontes avaliadas passaram por prática de manutenção corretiva, em que o processo adotado foi o de substituição das peças deterioradas.

6.1 Indicação de Possíveis Ações de Manutenção Preventivas e Corretivas

Tendo em vista as patologias identificadas nas 5 pontes avaliadas, recomenda-se as seguintes ações corretivas e preventivas e de segurança nas pontes:

- Substituição da Viga C da Ponte 1, devido ao rompimento por fendilhamento e o elevado estágio de apodrecimento, aplica-se também às demais vigas e outras peças em que se encontram em estágio intermediário e avançado de apodrecimento.

- Aplicação de produtos fungicidas/inseticidas em todas as peças em que se encontram com agentes deterioradores instalados e em estágio inicial de apodrecimento, como por exemplo a fumigação.

- Substituição de peças com rachaduras e peças quebradas.

- Evitar a disposição das pranchas do tabuleiro com extremidades em balanço.

- Instalação de elementos de proteção ao tráfego (Guarda-rodas e defensas).

- Fixação das vigas nos apoios com elementos de ligação.

- Instalação de sinalização e orientação quanto à carga permitida.

- Utilização de peças de madeira que passaram por processos de secagem adequados.

- Utilização de ligações parafusadas entre os elementos, ao invés das pregadas, com o devido tratamento anti corrosão.

- Evitar o contato das peças de madeira diretamente com o solo devido à alta agressividade deste meio.
- Tratamento com produtos preservativos em todas as peças novas, de acordo com a classe de risco.
- Realização de vistorias nas pontes de maneira sistemática.
- Efetuar limpezas periódicas para prevenir o acúmulo de solo, sujeira e vegetação.
- Projetos e execução de novas pontes, e a manutenção corretiva devem ser realizados/acompanhados por profissionais capacitados.

7 CONCLUSÃO

A compreensão dos fatores que afetam a durabilidade de estruturas de madeira, a partir da base teórica, foram de extrema importância para o procedimento de avaliação das 5 pontes em campo.

As avaliações e os resultados demonstram que os danos causados nas pontes, são a soma de processos incorretos, como a falta de projetos, falhas na execução e processos de manutenção deficientes.

A utilização de madeira “verde” com secagem *in loco*, teve como consequência rachaduras e empenamentos das peças, a carga dos veículos sobre as pranchas do rodeiro ocasionaram rachaduras e desgastes por abrasão, já nas extremidades das pranchas do tabuleiro com configuração “em balanço”, estas quebraram-se por ocasião da passagem de veículos fora da linha do rodeiro. A execução de entalhes de maneira incorreta na região dos apoios resultou em rompimento de viga por fendilhamento (que acarretou a condenação da Ponte 1), e a falta de tratamento da madeira com produtos químicos preservativos, resultou em ataques de agentes biodeterioradores, como cupins, fungos manchadores e apodrecedores, que resultaram em grandes perdas de material, principalmente no

vigamento. Observa-se ainda, o acúmulo de sujeira e solo sobre os elementos da ponte, sendo estes grandes retentores de umidade.

De forma geral, notou-se que a construção das pontes de madeira foram executadas sem o devido conhecimento e responsabilidade técnica, utilizando-se de improvisações de equipamentos, desconhecimento dos condicionantes que afetam a durabilidade da madeira, ausência de elementos de proteção ao tráfego, e processos de manutenção deficitários, que resultaram em um mau estado de conservação das estruturas e conseqüentemente uma reduzida vida útil.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projetos de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.

Associação do Municípios do Centro do Paraná. Disponível em: <<http://www.cogemas.pr.gov.br/arquivos/Image/ImagemMapas/AMOCENTRO.jpg>>. Acesso em: 03 mar. 2015.

BRAZOLIN, Sérgio *et al.* (2004) Preservação de madeiras – sistema de classe de risco. **Revista Madeira: arquitetura e engenharia**, ano 5, nº 13. Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto Brasileiro de Madeira e das Estruturas, São Carlos.

BRITO, Leandro D. **Patologia em estruturas de madeira**: Metodologia de inspeção e técnicas de reabilitação. 2014. 502 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

BRITO, Leandro D.; CALIL JUNIOR, Carlito. Estudo das manifestações patológicas em estruturas de madeira: propostas de metodologias de inspeção e de técnicas de reabilitação. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**, São Carlos, v. 15, n. 56, p. 33-36, 2013.

BRITO, Leandro D.; CALIL JUNIOR, Carlito. Técnicas de inspeção visual (NDT) para avaliações das manifestações patológicas na estrutura de madeira roliça da “Ponte Fazenda Yolanda” em São Carlos, Brasil. **Anais do IX Congresso Internacional sobre Patologia e Recuperação de Estruturas – CINPAR 2013**. João Pessoa, 2013.

CALIL JUNIOR, C.; OKIMOTO, F. S.; PFISTER, G. M. **Manual de Classificação Visual**. Disponível em: <http://www.set.eesc.usp.br/lamem/Templates/material/manual_de_%20classificacao_%20visual.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2015.

CALIL JUNIOR, Carlito *et al.* **Estruturas de Madeira**: Notas de aula. São Carlos, 1998. Disponível em: <www.civilnet.com.br/Files/MADEIRA/Apostila-madeiras.pdf>. Acesso em: 18 de fev. 2015.

CALIL JUNIOR, Carlito *et al.* **Manual de projeto e construção de pontes de madeira**. São Carlos: Suprema, 2006.

CALIL JUNIOR, Carlito; BRITO, Leandro D. **Manual de projeto e construção de estruturas com peças roliças de madeira de reflorestamento**. São Carlos: EESC/USP, 2010.

CALIL JUNIOR, Carlito; LAHR, Francisco Antonio R.; DIAS, Antonio A.

Dimensionamento de elementos estruturais de madeira. 1. ed. Barueri: Manole, 2003.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **Eurocode 5:** Design of timber structures: General-Common rules and rules for buildings. Brussels, 2004.

Google Earth. Disponível em: < <https://maps.google.com/maps?ll=-24.45769,-51.94314&spn=0.190947,0.227966&t=h&z=12> >. Acesso em: 21 de mar. 2015.

INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICAS. **Avaliação de fungos em materiais.** Disponível em: <http://www.ipt.br/solucoes/65-avaliacao_de_fungos_em_materiais.htm>. Acesso em: 18 de fev. 2015.

MENDES, Alfredo de S.; ALVES, Marcus Vinícius da S. **A degradação da madeira e sua preservação.** Brasília: IBDF/DPq-LPF, 1988.

MONTANA QUÍMICA S.A.. **Agentes biodeterioradores.** Disponível em: <<http://www.montana.com.br/Guia-da-Madeira/Tratamento/Agentes-Biodeterioradores>>. Acesso em: 17 de fev. 2015.

MONTANA QUÍMICA S.A.. **VIII Simpósio “Técnicas de Plantio e Manejo de Eucalyptus para usos Múltiplos”.** Piracicaba, 2014. Disponível em <http://ipef.br/eventos/2014/tume/17_jackson.pdf>. Acesso em: 17 de fev. 2015.

MORESCHI, João C.. **Biodegradação e preservação da madeira:** Biodegradação da madeira. 4. ed. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR, 2013. 49 p.

MORESCHI, João C.. **Biodegradação e preservação da madeira:** Métodos de tratamento da madeira. 4. ed. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR, 2013. 124 p.

NORMA DNIT 010/2004 – PRO. **Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido – Procedimento.** Rio de Janeiro: Diretoria de Planejamento e Pesquisa/IPR, 2004.

OKIMOTO, Fernando Sérgio; CALIL JUNIOR, Carlito. Pontes protendidas de madeira. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**, São Carlos, n. 18, p. 25-48, 2002.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. **Estruturas de Madeira:** dimensionamento segundo a norma brasileira NBR 7190/1997 e critérios das normas norte-americana NDS e europeia EUROCODE 5. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

SGAI, Rosemary D. **Fatores que afetam o tratamento para preservação de madeiras.** 2000. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

ANEXO A – Fichas de inspeção e a atribuição de notas – DNIT (Adaptada)

Ficha de inspeção cadastral expedida

1 DADOS BÁSICOS

IDENTIFICAÇÃO / LOCALIZAÇÃO / JURISDIÇÃO		Data: ____/____/____
OAE:Código:_____ Nome:_____		
Tipo de Estrutura: Código_____ Nat. Transposição: Código_____ Sist. Construtivo: Código_____		
UNIT:_____ Residência:_____ Rodovia: BR-_____ UF:_____		
Trecho (PNV):_____ Localização (km):_____ Cidade Prox.:_____		
ADMINISTRAÇÃO		
<input type="checkbox"/> DNIT <input type="checkbox"/> DER <input type="checkbox"/> CONCESSÃO <input type="checkbox"/> OUTROS		
Nome:_____		
(para o caso concessão / outros)		
PROJETO / CONSTRUÇÃO		
Projetista:_____ ; Ano da Construção:_____		
Construtor:_____ ; Arquivo:_____ ; Trem - Tipo Classe:_____		
COMPRIMENTO / LARGURA		
Comprimento:_____m; Largura:_____m		

2 DADOS SOBRE CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS

CARACTERÍSTICAS PLANI-ALTIMÉTRICAS		
Região: <input type="checkbox"/> PLANA <input type="checkbox"/> ONDULADA <input type="checkbox"/> MONTANHOSA		Greide: Rampa Máxima(%):_____
Traçado: <input type="checkbox"/> TANGENTE <input type="checkbox"/> CURVO Raio:_____m		Travessia: <input type="checkbox"/> ORTOGONAL <input type="checkbox"/> ESCONSA
CARACTERÍSTICAS DA PISTA		
Larg.Total da Pista:_____m	Pavimento: <input type="checkbox"/> Asfalto <input type="checkbox"/> Concreto	Drenos: <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
Nº de Faixas:_____	Passeio: <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO	Pingadeiras: <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
Acostamento: <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO	Guarda-Rodas: <input type="checkbox"/> P.Antigo <input type="checkbox"/> N.Jersey <input type="checkbox"/> Outro	
Larg.Acostamento:_____m		
GABARITOS		
Para Viaduto: Horizontal _____m; Vertical _____m		
Para Ponte s/ Rio Navegável: Horizontal _____m; Vertical _____m		
Proteção dos Pilares Contra Choque de Embarcação? <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO		
JUNTAS DE DILATAÇÃO		
Número total de juntas:_____		
Tipo de vedação: <input type="checkbox"/> Nenhuma; nos pilares / articulação <input type="checkbox"/> Tipo_____ <input type="checkbox"/> Tipo_____		
TRÁFEGO		
VMD:_____ veículos/dia		
Frequência de Carga Móvel ≥ 36 tf: <input type="checkbox"/> Alta <input type="checkbox"/> Média <input type="checkbox"/> Baixa		
Passagem de Cargas Excepcionais: <input type="checkbox"/> Frequente <input type="checkbox"/> Esporádica		

Ficha de inspeção cadastral expedita

3 CARACTERÍSTICA DA ESTRUTURA

MATERIAIS / SEÇÃO / TIPO			Data: ____/____/____
COMPONENTE	MATERIAL (CÓDIGO) (VER TABELA 2)	SEÇÃO TIPO (CÓDIGO) (VER TABELA 3)	TIPOS DE APARELHOS DE APOIO
LAJES			Cód.
VIGAS PRINCIPAIS			Descrição
PILARES			FR Freyssinet
FUNDAÇÕES			NP Neoprene
			TF Teflon
			CH Placa de Chumbo
			RM Rolo Metálico
			AM Articulação Metálica
			PD Pêndulo
			LP Ligação Pórtico
			TE Tipo Especial
			NI Não Informado
Aparelhos de Apoio			
Apoio →			
Tipo →			
Obs.: para tipos de aparelhos de apoio ver tabela acima.			
PARTICULARIDADES			
Número de Vãos: _____	Altura da Viga no Apoio (m): _____	Extrem. Inicial:	<input type="checkbox"/> ENCONTRO <input type="checkbox"/> BALANÇO
Número de Juntas Gerber: _____	Altura da Viga no Vão (m): _____	Extrem. Final:	<input type="checkbox"/> ENCONTRO <input type="checkbox"/> BALANÇO
Comprimento do Vão Maior (m): _____	Altura Máxima de Pilar (m): _____	Laje de Aprox.:	<input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO

Comentários: _____

4 OUTROS ASPECTOS

Desnível Max entre Greide e Terreno _____m	As Fundações encontram-se em Solo Mole? <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
Lâmina D'água: Normal _____m na Cheia _____m	A vibração da Estrutura é Excessiva? <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
O Meio Ambiente é Agressivo? <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO	O Regime do Rio é Torrencial? <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
A Seção de Vazão é Adequada? <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO	O Leito do Rio é Erodível? <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
Existe Drenagem no interior do caixão? <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO	Histórico da Manutenção: <input type="checkbox"/> Boa <input type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Ruim
ROTAS ALTERNATIVAS: <input type="checkbox"/> EXISTEM <input type="checkbox"/> NÃO EXISTEM Acréscimo de Distância: _____ km Descrição do Itinerário: _____ _____ _____	
INSPEÇÃO ROTINEIRA (PARÂMETROS):	
Melhor Época para Vistorias: _____	
Periodicidade: <input type="checkbox"/> Normal (2 anos) <input type="checkbox"/> Reduzida (1 ano) <input type="checkbox"/> Dilatada (4 anos) <input type="checkbox"/> Especial (Consultor) <input type="checkbox"/> Especial (L ≥ 200m) <input type="checkbox"/> Especial (Equipamento) <input type="checkbox"/> Parcial	
Acesso: <input type="checkbox"/> Direto / Binóculo: Vãos _____ <input type="checkbox"/> Equipamento Especial: Vãos _____	
Interior de Viga Celular: <input type="checkbox"/> Acessível <input type="checkbox"/> Não Acessível	

Ficha de inspeção cadastral expedita

5 ESTRUTURA / ESQUEMAS

ESQUEMA LONGITUDINAL



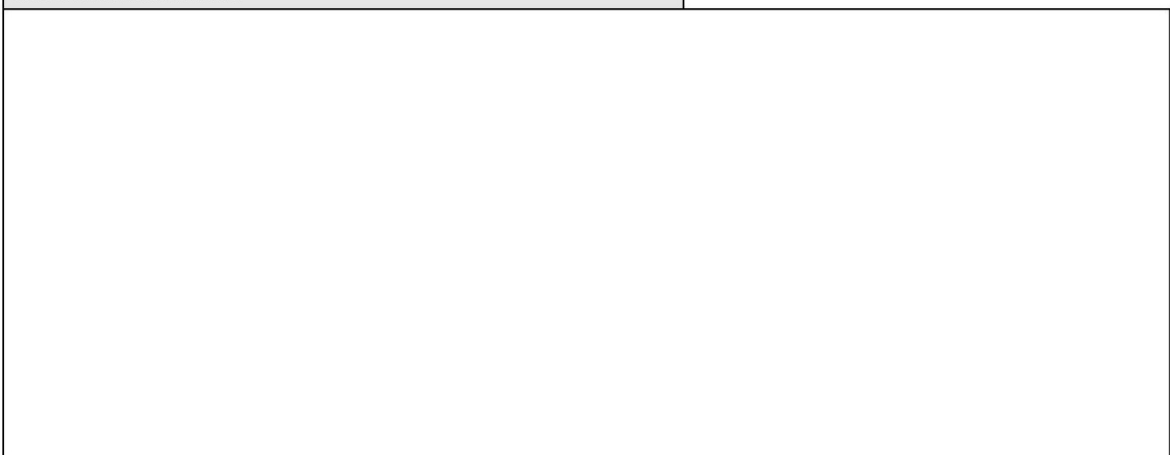
SEÇÃO TRANSVERSAL

Meio do Vão

Apoio



DETALHES ADICIONAIS



Ficha de inspeção cadastral expedida

TABELA 1.A - TIPOS DE ESTRUTURAS	
1	Viga de Concreto Armado
2	Viga de Concreto Protendido
3	Viga e Laje Metálicas
4	Viga Simples de Madeira Rolixa
5	Viga Composta de Madeira Rolixa
6	Viga Simples de Madeira Serrada
7	Viga Composta de Madeira Serrada
8	Viga de Madeira Laminada Colada
9	Mista (Viga Metal e Laje Concreto)
10	Arco Inferior de Concreto Armado
11	Arco Inferior de Concreto Protendido
12	Arco Inferior Metálico
13	Arco Inferior de Madeira
14	Arco Superior de Concreto Armado
15	Arco Superior de Concreto Protendido
16	Arco Superior Metálico
17	Arco Superior de Madeira
18	Arco de Alvenaria de Pedra
19	Treliça Metálica
20	Treliça de Madeira
21	Laje de Concreto Armado
22	Laje de Concreto Protendido
23	Estaiada com Vigamento Metálico
24	Estaiada com Vigamento C. Protendido
25	Pênsil
26	Placa Madeira Laminada Colada
27	Placa Madeira Laminada Pregada
28	Placa Madeira Laminada Parafusada
29	Placa Madeira Laminada Protendida
30	Placa Comp. Concreto e Madeira Rolixa
31	Placa Comp. Concreto e Madeira Serrada
32	Pórtico de Madeira
99	Não Informado

TABELA 1.B - SISTEMAS CONSTRUTIVOS	
1	Moldado no Local
2	Pré-moldado de Concreto Armado
3	Pré-moldado Protendido (Pós-tensão)
4	Pré-moldado Protendido (Pré-tensão)
5	Balanços Progressivos c/ Continuidade
6	Balanços Progressivos c/ Articulações
7	Aduelas Pré-moldadas
8	Viga Calha Pré-moldada (Sist. Protótipo)
9	Ponte Empurrada
10	Estaiado em avanços progressivos
11	Não Informado

TABELA 1.C - NATUREZA DA TRANSPOSIÇÃO	
1	Ponte
2	Pontilhão
3	Viaduto de Transposição de Rodovia
4	Viaduto sobre Ferrovia
5	Viaduto sobre Rodovia / Rua
6	Viaduto em Encosta
7	Passagem Inferior
8	Passarela de Pedestre
9	Não Informada

TABELA 2 - MATERIAIS			
LAJE, VIGAMENTO e PILARES		FUNDAÇÃO	
CÓDIGO	DESCRIÇÃO	CÓDIGO	DESCRIÇÃO
CA	Concreto Armado	CA	Concreto
CP	Concreto Protendido	EMS	Estaca Moldada "IN SITU"
AC	Aço	EPC	Estaca Pré-moldada
MD	Madeira	EPM	Estaca de Perfil Metálico
PD	Pedra Argamassada	ETM	Estaca Tubular Metálica
		EM	Estaca de Madeira
		IG	Ignorada

TABELA 3 - SEÇÃO TIPO					
VIGAS PRINCIPAIS		PILARES		FUNDAÇÕES	
CÓD.	DESCRIÇÃO	CÓD.	DESCRIÇÃO	CÓD.	DESCRIÇÃO
2T	2 Vigas "T"	1TP	Único Tipo Parede ou Encontro	DI	Direta
3T	3 Vigas "T"	1SV	Único Seção Vazada	BE	Bloco de Estacas
4T	4 ou mais Vigas "T"	1VT	Único Vazado com Travessa	BT	Bloco de Tubulões
2I	2 Vigas "I"	2CI	2 Colunas Isoladas	TC	Tubulões Contraventados
3I	3 Vigas "I"	2CC	2 Colunas Contraventadas	EE	Estaca Escavada
4I	4 ou mais Vigas "I"	2CT	4 Colunas com Travessas	IG	Ignorada
2C	2 Vigas Circulares	3CI	3 ou mais Colunas Isoladas		
3C	3 Vigas Circulares	3CC	3 ou mais Colunas Contraventadas		
4C	4 ou mais Vigas Circulares	3CT	3 ou mais Colunas com Travessas		
1R	1 Viga Retangular	TE	Tipo Especial		
2R	2 Vigas Retangulares				
VC	Viga Caixa				
LM	Laje Maciça				
VI	Vigas Invertidas				
VL	Vigas Calhas				
TE	Tipo Especial				

Ficha de Inspeção Rotineira Expedita

OAE: Código: _____ Nome: _____ BR - _____ / _____ km: _____ UNIT: _____ RES: _____
 Data: _____ Inspeção: DNIT / Residência: _____ Outra Entidade: _____

COMENTÁRIOS GERAIS

- a) Condições de Estabilidade: Boa Sofrível Precária Condições de Conservação: Boa Regular Sofrível Ruim
 b) Nível de Vibração do Tabuleiro: Normal Intenso Exagerado
 c) Inspeção Especializada (Realizada por Engenheiro de Estruturas). Necessária? SIM NÃO Urgente? SIM NÃO
 Já houve alguma anteriormente? SIM NÃO

NOTA TÉCNICA

OBSERVAÇÕES ADICIONAIS: _____

1. LAJE DE CONCRETO

	Nota Técnica:	Local	Quantidade (Opcional)
Buraco (Abertura)	<input type="checkbox"/> Existe <input type="checkbox"/> É Iminente		
Armadura Exposta	<input type="checkbox"/> Muito Oxidada <input type="checkbox"/> Grande Incidência		
Concreto Desagregado	<input type="checkbox"/> Muita Intensidade <input type="checkbox"/> Grande Incidência		
Fissuras	<input type="checkbox"/> Forte Infiltração <input type="checkbox"/> Grande Incidência		
Marcas de Infiltração	<input type="checkbox"/> Forte <input type="checkbox"/> Grande Incidência		
Aspecto de Concreto	<input type="checkbox"/> Má Qualidade		
Cobrimento	<input type="checkbox"/> Ausente / Pouco		

1.1 LAJE DE MADEIRA (Rodeiro e Tabuleiro)

	Nota Técnica:	Local	Quantidade (Opcional)
Abrasão Mecânica	<input type="checkbox"/> Muito Desgastado <input type="checkbox"/> Grande Incidência		
Rachaduras	<input type="checkbox"/> Existe <input type="checkbox"/> Grande Extensão		
Peças Quebradas	<input type="checkbox"/> Existe <input type="checkbox"/> Grande Incidência		
Presença de Umidade	<input type="checkbox"/> Alta Umidade <input type="checkbox"/> Grande Incidência		
Acúmulo de Solo e Sujieira	<input type="checkbox"/> Existe <input type="checkbox"/> Grande Incidência		
Presença de Vegetação	<input type="checkbox"/> Existe <input type="checkbox"/> Grande Incidência		
Ataque de Insetos	<input type="checkbox"/> Muitas Perfurações <input type="checkbox"/> Grande Extensão		
Ataque de Fungos	<input type="checkbox"/> Apodrecimento <input type="checkbox"/> Grande Extensão		
Oxidação das Ligações Metálicas	<input type="checkbox"/> Muito Oxidada <input type="checkbox"/> Grande Incidência		
Fixação de Ligações	<input type="checkbox"/> Muito Frouxos <input type="checkbox"/> Grande Incidência		
Pintura Superficial	<input type="checkbox"/> Ausente/Desgastada		

Ficha de Inspeção Rotineira Expedita

2. VIGAMENTO PRINCIPAL (CONCRETO)	Nota Técnica:	Local	Quantidade (Opcional)
Fissuras Finas	<input type="checkbox"/> Algumas		
Trincas (fissuras w>0,3mm)	<input type="checkbox"/> Algumas		
Armadura Principal	<input type="checkbox"/> Exposta		
Desagreg. De Concreto	<input type="checkbox"/> Muito Intenso		
Dente Gerber	<input type="checkbox"/> Quebrado/Desplacado		
Deformação (Flecha)	<input type="checkbox"/> Exagerada		
Aspectos do Concreto	<input type="checkbox"/> Má Qualidade		
Cobrimento	<input type="checkbox"/> Ausente / Pouco		

2.1 VIGAMENTO PRINCIPAL (MADEIRA)	Nota Técnica:	Local	Quantidade (Opcional)
Hachaduras	<input type="checkbox"/> Existe		
Ruptura nos Entalhes	<input type="checkbox"/> Fendilhamento		
Presença de Umidade	<input type="checkbox"/> Alta Umidade		
Acumulo de Solo e Sujeria	<input type="checkbox"/> Existe		
Presença de Vegetação	<input type="checkbox"/> Existe		
Ataque de Insetos	<input type="checkbox"/> Muitas Perfurações		
Ataque de Fungos	<input type="checkbox"/> Apodrecimento		
Oxidação das Ligações Metálicas	<input type="checkbox"/> Muito Oxidada		
Fixação de Ligações	<input type="checkbox"/> Muito Frouxos		
Pintura Superficial	<input type="checkbox"/> Ausente/Desgastada		
Deformação (Flecha)	<input type="checkbox"/> Exagerada		

Ficha de inspeção rotineira expedita

	Nota Técnica:	Local	Quantidade (Opcional)
3. MESOESTRUTURA			
Armadura Exposta	<input type="checkbox"/> Muito Oxidada <input type="checkbox"/> Grande Incidência		
Concreto Desagregado	<input type="checkbox"/> Muita Intensidade <input type="checkbox"/> Grande Incidência		
Fissuras	<input type="checkbox"/> Forte Infiltração <input type="checkbox"/> Grande Incidência		
Aparelho de Apoio	<input type="checkbox"/> Danificado <input type="checkbox"/> Grande Incidência		
Aspecto do Concreto	<input type="checkbox"/> Má Qualidade		
Cobrimento	<input type="checkbox"/> Ausente/Pouco		
Desaprumo	<input type="checkbox"/> Há		
Deslocabilidade dos Pilares	<input type="checkbox"/> Forte		

	Nota Técnica:	Local	Quantidade (Opcional)
4. INFRAESTRUTURA			
Recalque de Fundação	<input type="checkbox"/> Há		
Deslocamento de Fundação	<input type="checkbox"/> Há		
Erosão Terreno de Fundação	<input type="checkbox"/> Há		
Estacas Desenterradas	<input type="checkbox"/> Há		

	Nota Técnica:	Local	Quantidade (Opcional)
5. PISTA / ACESSO			
Irregularidades no Pav.	<input type="checkbox"/> Muita Intensidade <input type="checkbox"/> Grande Extensão		
Junta de Dilatação	<input type="checkbox"/> Faltando/Inoperante <input type="checkbox"/> Muito Problemática		
Acessos X Ponte	<input type="checkbox"/> Degrau Acentuado <input type="checkbox"/> Concordância Problem.		
Acidentes com Veículos	<input type="checkbox"/> Freqüente <input type="checkbox"/> Eventual		

ESQUEMAS

Instruções para atribuição de notas de avaliação

(Para a avaliação de elementos de pontes com função estrutural, conforme o Sistema SGO v3 para gerenciamento de pontes no DNIT)

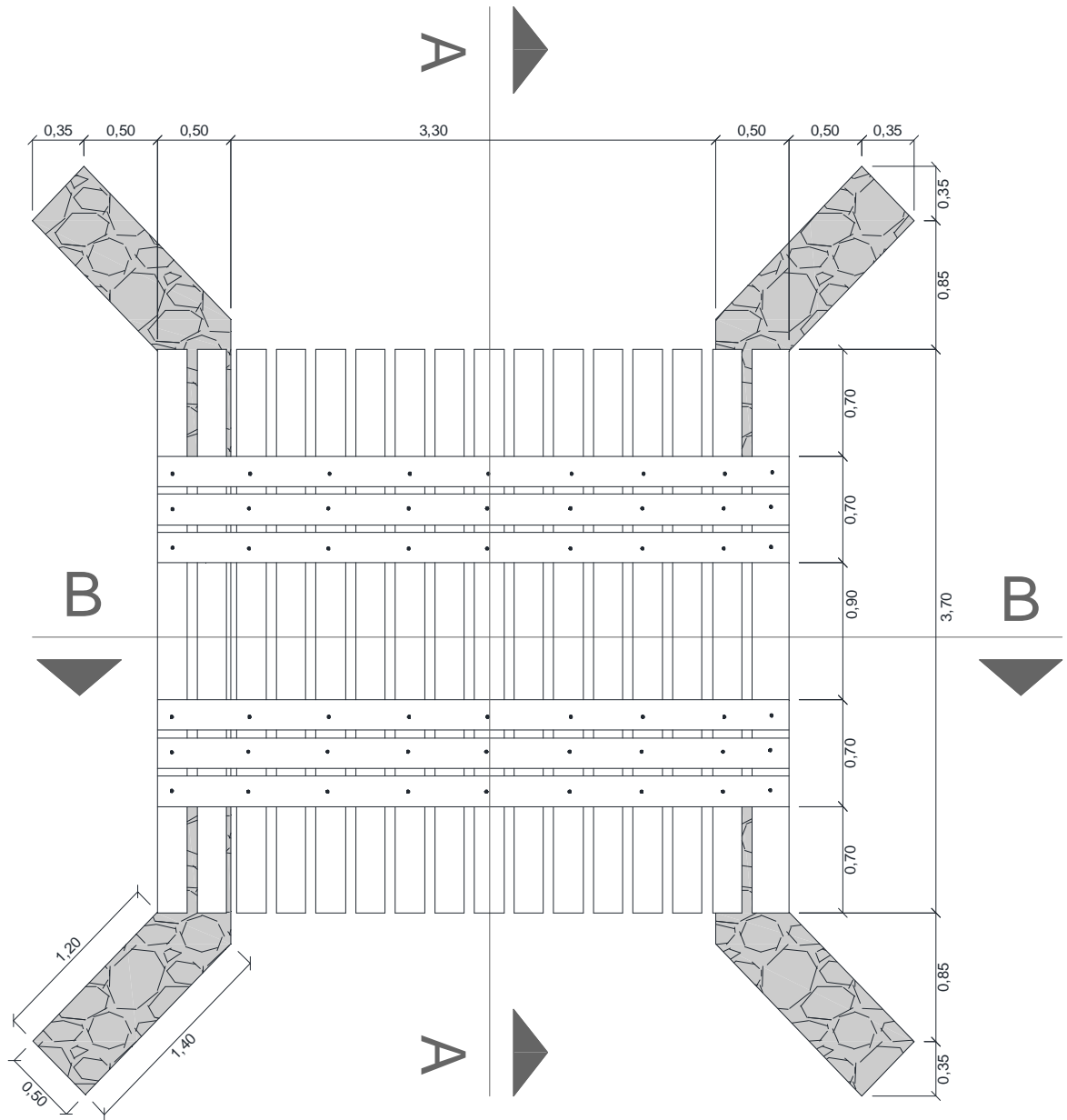
Será atribuída a cada elemento componente da ponte uma nota de avaliação, variável de 1 a 5, a qual refletirá a maior ou a menor gravidade dos problemas existentes no elemento. O quadro a seguir correlaciona essa nota com a categoria dos problemas detectados no elemento.

NOTA	DANOS NO ELEMENTO / INSUFICIÊNCIA ESTRUTURAL	AÇÃO CORRETIVA	CONDIÇÕES DE ESTABILIDADE	CLASSIFICAÇÃO DAS CONDIÇÕES DA PONTE
5	Não há danos nem insuficiência estrutural	Nada a fazer.	Boa	Obra sem problemas
4	Há alguns danos, mas não há sinais de que estejam gerando insuficiência estrutural	Nada a fazer, apenas serviços de manutenção.	Boa	Obra sem problemas importantes
3	Há danos gerando alguma insuficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra	A recuperação da obra pode ser postergada, devendo-se, porém, neste caso, colocar-se o problema em observação sistemática.	Boa aparentemente	Obra potencialmente problemática Recomenda-se acompanhar a evolução dos problemas através das inspeções rotineiras, para detectar, em tempo hábil, um eventual agravamento da insuficiência estrutural.
2	Há danos gerando significativa insuficiência estrutural na ponte, porém não há ainda, aparentemente, um risco tangível de colapso estrutural.	A recuperação (geralmente com reforço estrutural) da obra deve ser feita no curto prazo.	Sofrível	Obra problemática Postergar demais a recuperação da obra pode levá-la a um estado crítico, implicando também sério comprometimento da vida útil da estrutura. Inspeções intermediárias ¹ são recomendáveis para monitorar os problemas.
1	Há danos gerando grave insuficiência estrutural na ponte; o elemento encontra-se em estado crítico, havendo um risco tangível de colapso estrutural.	A recuperação (geralmente com reforço estrutural) - ou em alguns casos, substituição da obra - deve ser feita sem tardar.	Precária	Obra crítica Em alguns casos, pode configurar uma situação de emergência, podendo a recuperação da obra ser acompanhada de medidas preventivas especiais, tais como: restrição de carga na ponte, interdição total ou parcial ao tráfego, escoramentos provisórios, instrumentação com leituras contínuas de deslocamentos e deformações etc.

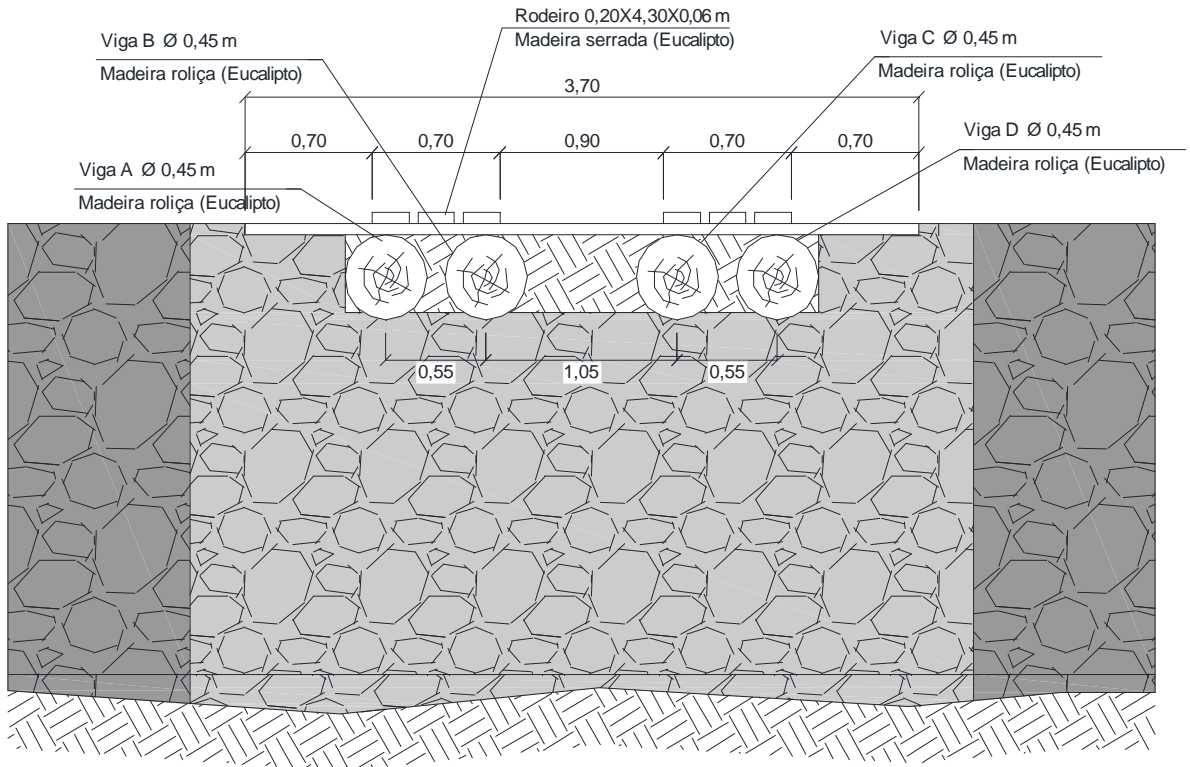
(1) Inspeções Intermediárias, no presente contexto, significa novas inspeções a intervalos de tempo inferiores aos normais.

Obs.: A nota final da ponte corresponde a menor dentre as notas recebidas pelos seus elementos com função estrutural.

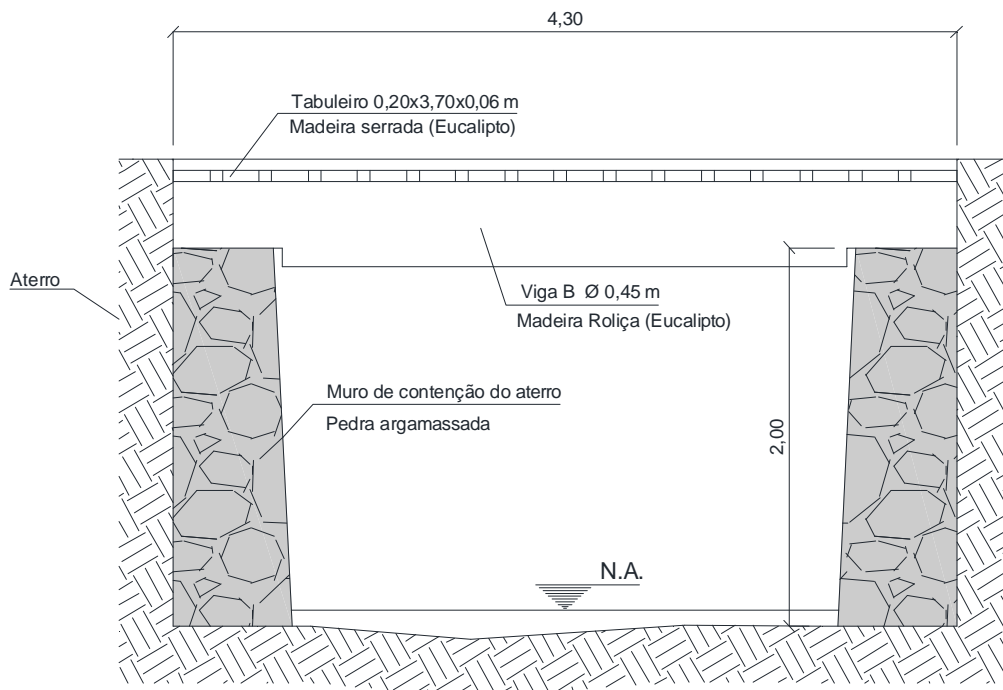
ANEXO B – Plantas esquemáticas das pontes de madeira (P02 à P05)



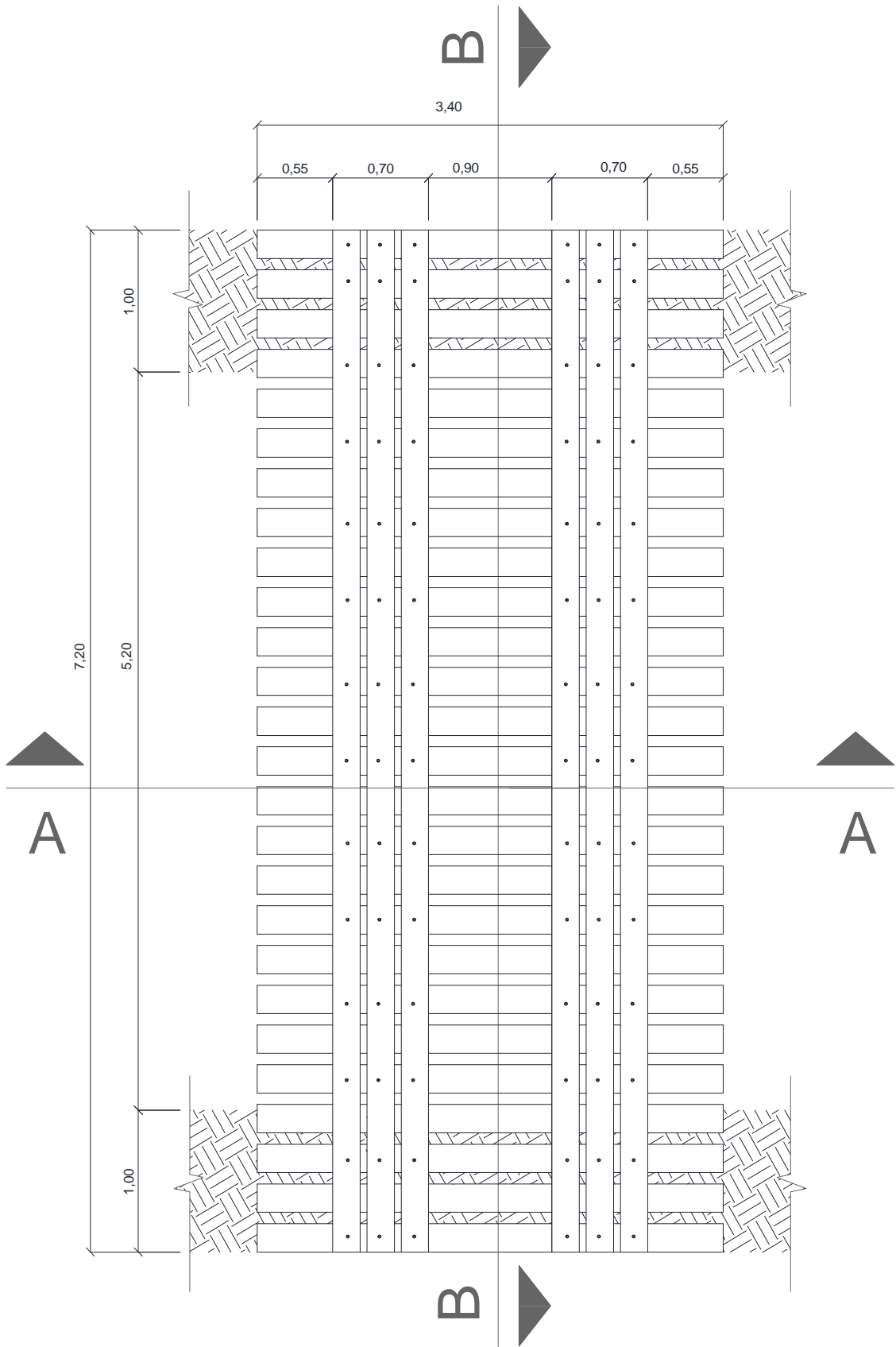
VISTA SUPERIOR
Ponte 02



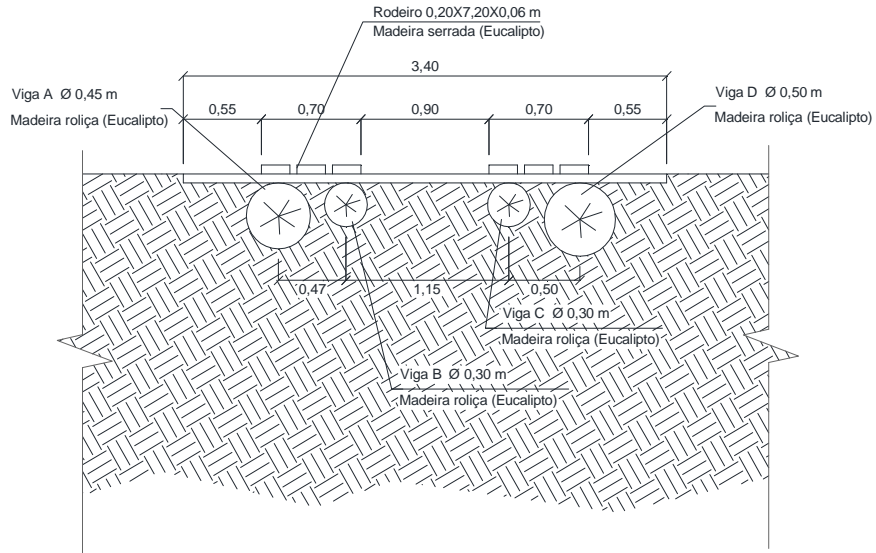
SEÇÃO A-A
Ponte 02



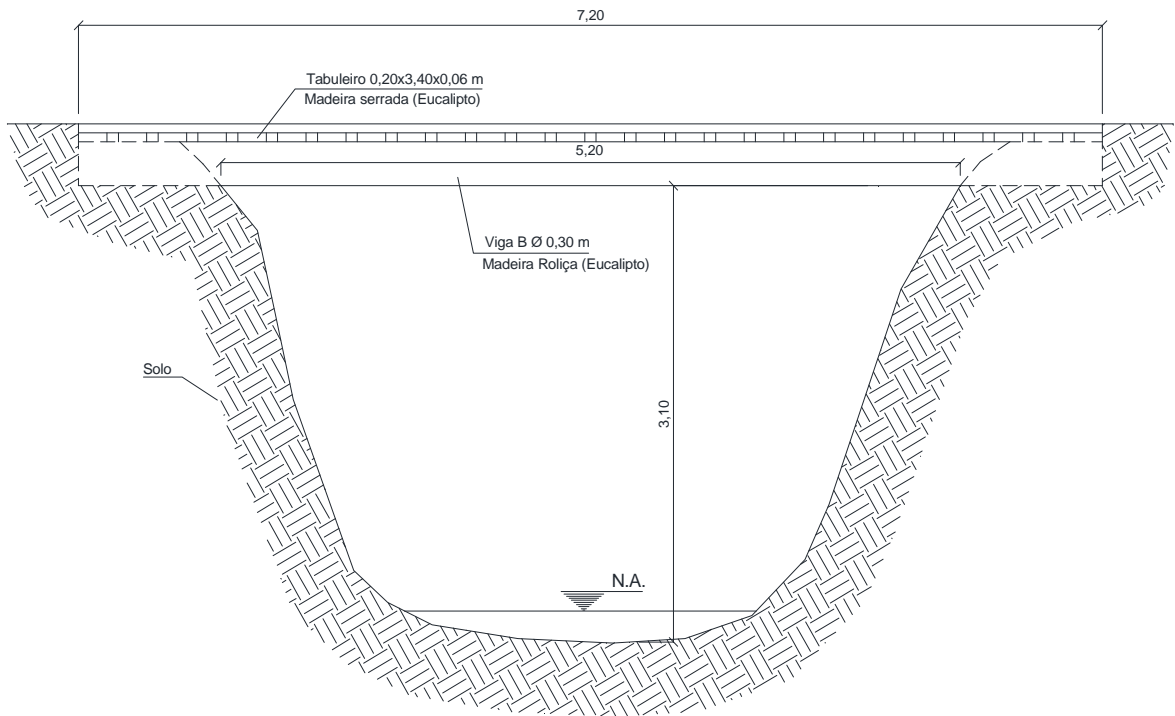
SEÇÃO B-B
Ponte 02



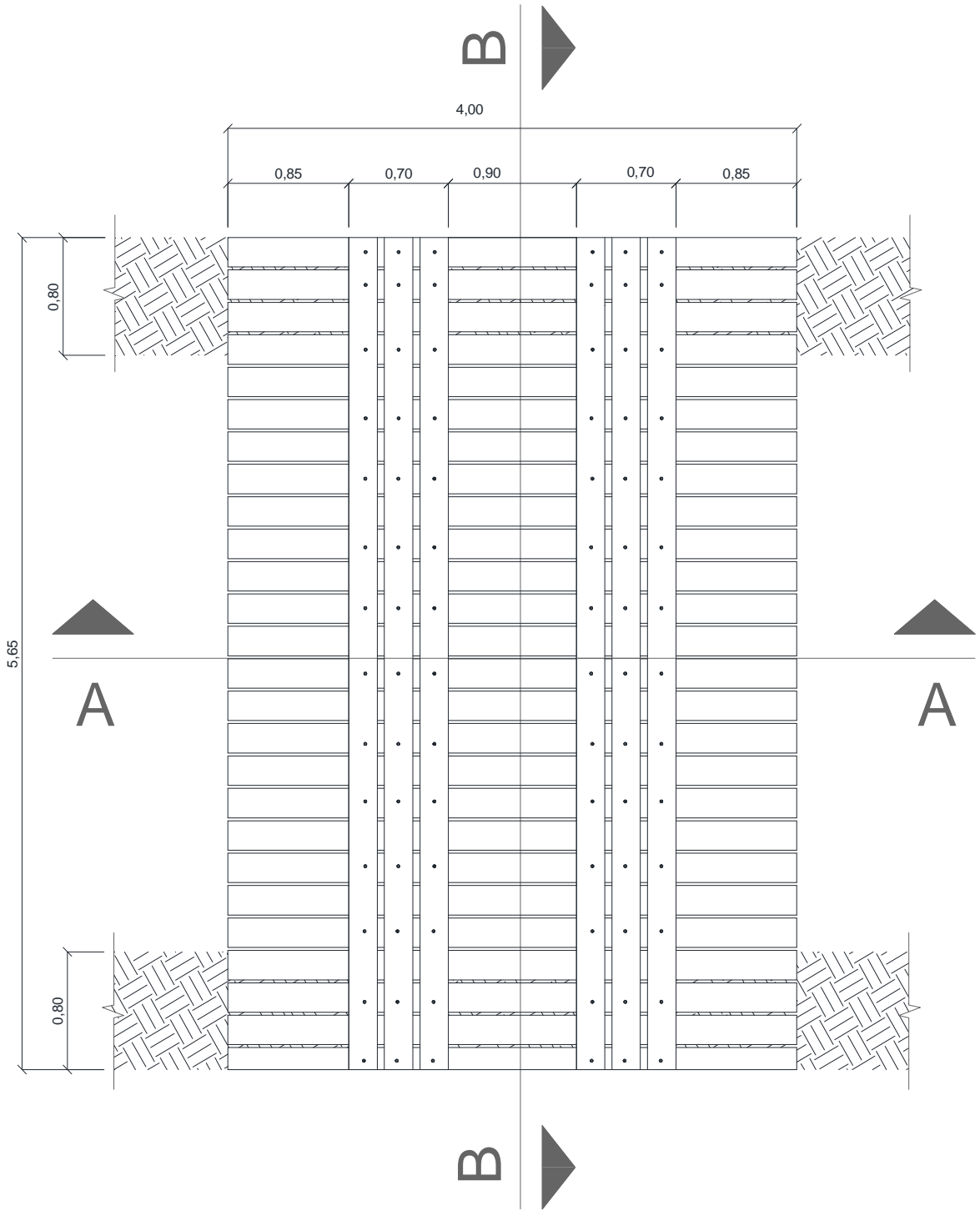
VISTA SUPERIOR
Ponte 03



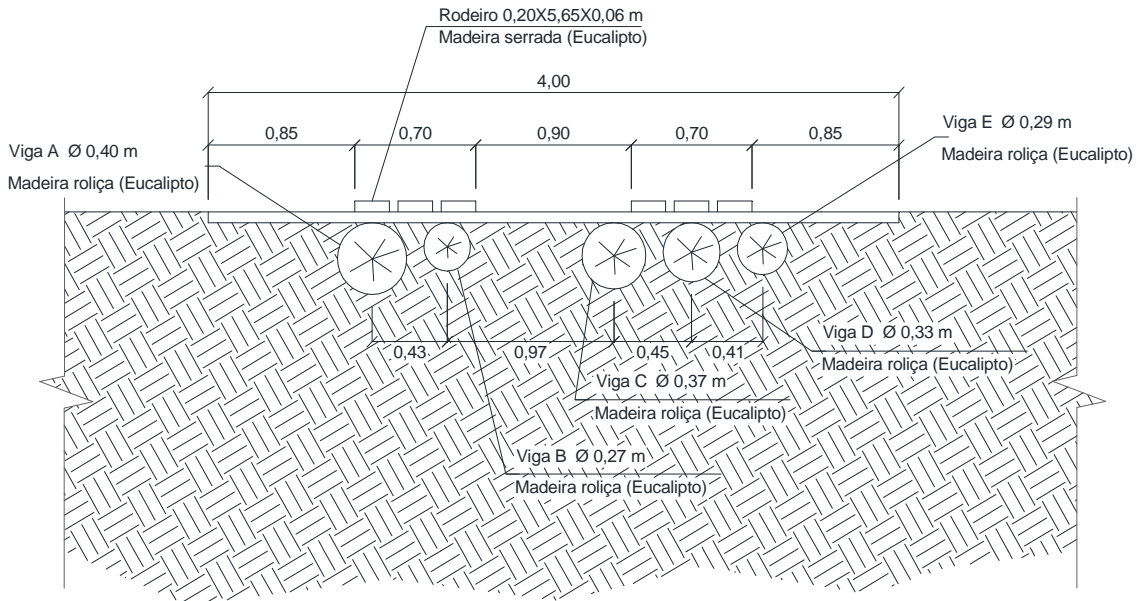
SEÇÃO A-A
Ponte 03



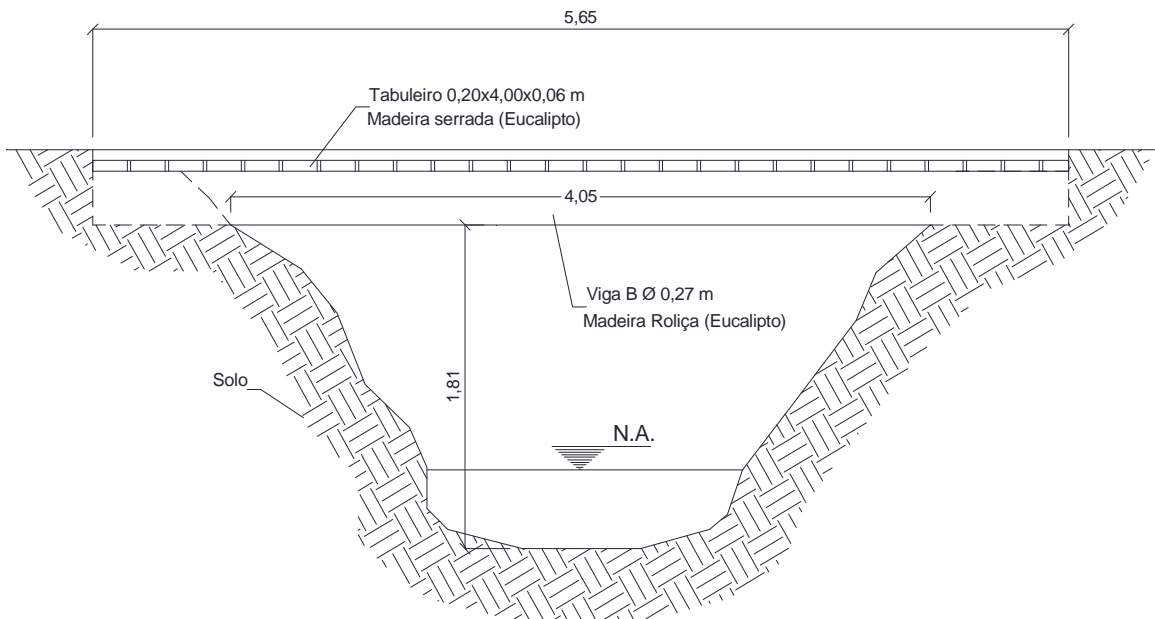
SEÇÃO B-B
Ponte 03



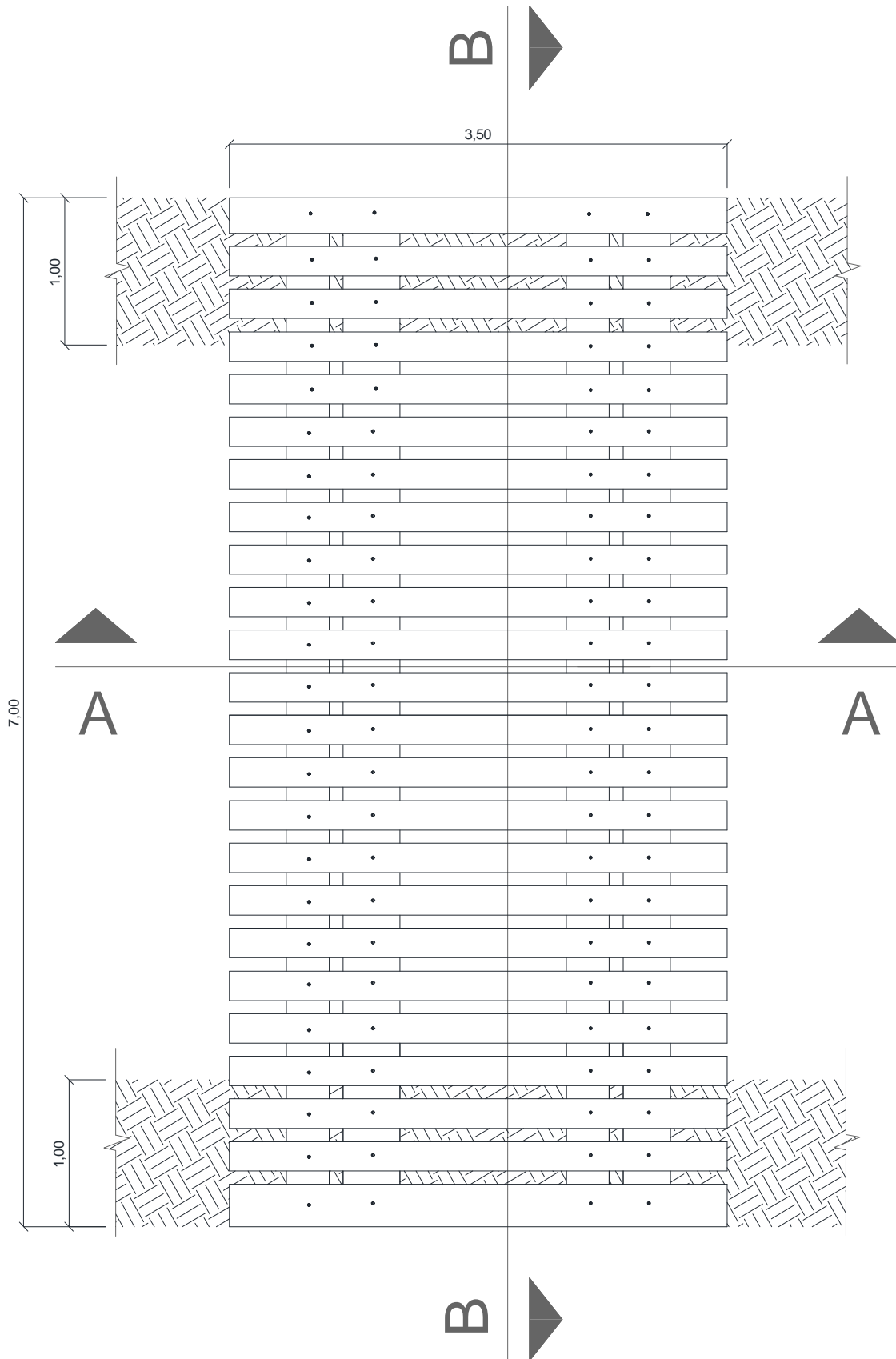
VISTA SUPERIOR
Ponte 04



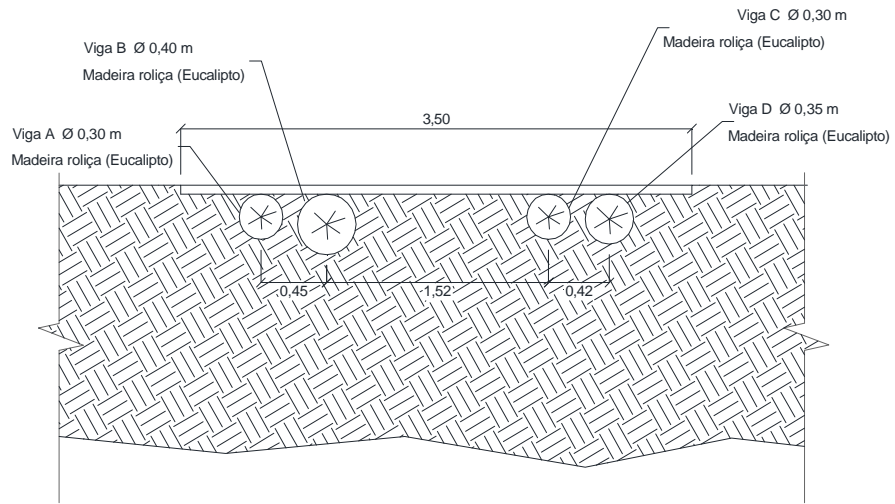
SEÇÃO A-A
Ponte 04



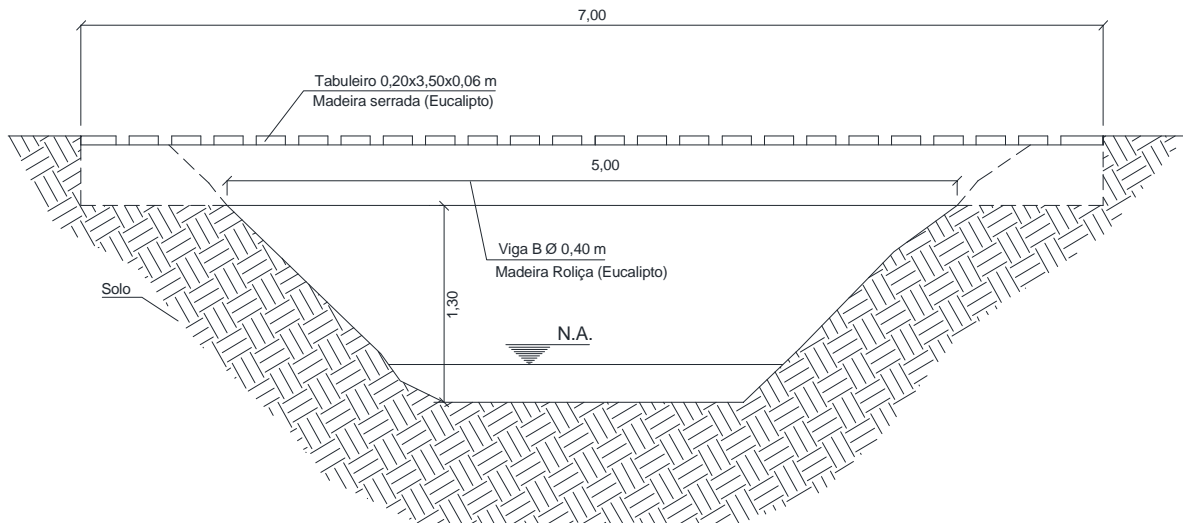
SEÇÃO B-B
Ponte 04



VISTA SUPERIOR
Ponte 05



SEÇÃO A-A
Ponte 05



SEÇÃO B-B
Ponte 05