

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ - UTFPR
DEPARTAMENTO DE CONSTRUÇÃO CIVIL - DACOC
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

FERNANDO JOSÉ DA SILVA
MAISA PHILIPPSEN

**ESTUDO E CONCEPÇÃO DE MODELO GEOMÉTRICO E
ESTRUTURAL DE PONTE EM VIGAS DE MADEIRA ROLIÇA DE
EUCALIPTO PARA ESTRADAS VICINAIS DA REGIÃO
SUDOESTE DO ESTADO DO PARANÁ**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2015

FERNANDO JOSÉ DA SILVA

MAISA PHILIPPSSEN

**ESTUDO E CONCEPÇÃO DE MODELO GEOMÉTRICO E ESTRUTURAL DE
PONTE EM VIGAS DE MADEIRA ROLIÇA DE EUCALIPTO PARA ESTRADAS
VICINAIS DA REGIÃO SUDOESTE DO ESTADO DO PARANÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado ao Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Civil do Departamento de Construção Civil – DACOC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. MSc. Cleovir José Milani.

Co-orientador: Prof. Dr. Gustavo Lacerda Dias.

PATO BRANCO

2015



TERMO DE APROVAÇÃO

ESTUDO E CONCEPÇÃO DE MODELO GEOMÉTRICO E ESTRUTURAL DE PONTE EM VIGAS DE MADEIRA ROLIÇA DE EUCALIPTO PARA ESTRADAS VICINAIS DA REGIÃO SUDOESTE DO ESTADO DO PARANÁ

Fernando Jose Da Silva
e
Maisa Philippsen

No dia 19 de agosto de 2015, às 10h30min, na Sala M 010 da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, este trabalho de conclusão de curso foi julgado e, após arguição pelos membros da Comissão Examinadora abaixo identificados, foi aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná– UTFPR, conforme Ata de Defesa Pública nº17-TCC/2015.

Orientador: Prof. Msc. CLEOVIR JOSÉ MILANI (DACOC/UTFPR-PB)

Co-orientador: Prof. Dr. GUSTAVO LACERDA DIAS (DACOC/UTFPR-PB)

Membro 1 da Banca: Prof. Msc. JAIRO TROMBETTA (DACOC/UTFPR-PB)

Membro 2 da Banca: Prof. Esp. SÉRGIO TARCÍSIO RAMBO (DACOC/UTFPR-PB)

RESUMO

SILVA, F. J.; PHILIPPSEN, M. **Estudo e Concepção de Modelo Geométrico e Estrutural de Ponte em Vigas de Madeira Roliça de Eucalipto para Estradas Vicinais da Região Sudoeste do Estado do Paraná.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2015.

Dentre as diversas obras de infraestrutura, as pontes desempenham um papel relevante para o desenvolvimento dos municípios, visto que juntamente com as estradas, tem a função de assegurar a entrada de insumos nas propriedades agrícolas, promover o escoamento da produção e permitir o livre deslocamento das populações. Este trabalho indicará a espécie de eucalipto a ser plantada para a construção da superestrutura de pontes em madeira roliça de eucalipto na região Sudoeste do Paraná, apresentará um modelo geométrico condizente com os veículos e implementos que por ali trafegam para a transposição de diferentes vãos, seguindo um roteiro de dimensionamento que permitirá a obtenção das dimensões das diferentes peças que compõem a ponte. O resultado é um modelo de superestrutura de ponte construída com madeira de reflorestamento, de fácil execução e que cumpra a sua função, podendo desta forma, contribuir para o desenvolvimento regional.

Palavras-chave: Eucalipto. Pontes de madeira. Dimensionamento. Superestrutura.

ABSTRACT

SILVA, F. J.; PHILIPPSEN, M. **Study and Geometric Model Bridge Design and Structural beams in wood Roliça Eucalyptus for Vicinai roads of Paraná State Southwest Region.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2015.

Within the several infrastructure constructions, bridges play a relevant role for the development of the cities. Along the roads and highways, bridges have the role of ensure the entrance of inputs in the rural properties, of promote the production distribution and of allowing the population free displacement. This project will show the kind of eucalyptus to be planted for a construction of a bridge's superstructure made by plump wood of eucalyptus at the Southwest of Paraná region. In addition, it will present a geometric model that matches with the vehicles and implements, which will travel there for a transposition of different spans, following a sizing guide that will allow the obtainment of the different dimensions of the bridge's pieces. The outcome is a superstructure model of a bridge built with reforested wood, of an easy execution that comply its function, thus contribute to regional development.

Key words: Eucalyptus. Wooden bridges. Sizing. Superstructure.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01: Distribuição dos plantios de eucaliptos por continente.....	12
Figura 02: Área e distribuição de plantios florestais com Eucalipto nos estados do Brasil	14
Figura 03: Plantios florestais com Eucalipto nos estados do Brasil, em relação à sua área total, em percentual (%)	15
Figura 04: Processo de tratamento em autoclave	19
Figura 05: Divisão estrutural de uma ponte.....	21
Figura 06: Esquemas estruturais de pontes. (a) Ponte em arco. (b) Ponte em pórtico. (c) Ponte em vigas. (d) Ponte em placa.	23
Figura 07: Vista inferior Ponte Estrada Floresta – Piracicaba/SP	23
Figura 08: Vista superior dos elementos comumente encontrado nas pontes de madeira em vigas roliças	25
Figura 09: Seção transversal dos elementos comumente encontrado nas pontes de madeira em vigas roliças	25
Figura 10: Representação do veículo tipo	28
Figura 11: Área ocupada pelo veículo tipo	28
Figura 12: Disposição das cargas estáticas	29
Figura 13: Viga simplesmente apoiada de vão L.....	37
Figura 14: Diagrama das etapas da pesquisa	40
Figura 15: Temperatura média anual no estado do Paraná	43
Figura 16: Precipitação média anual no estado do Paraná.....	43
Figura 17: Largura do rodeiro das pontes de madeira do município de Pato Branco – PR	46
Figura 18: Representação da largura do rodeiro.....	46
Figura 19: Distância interna (a) e externa (b) entre pneus	47
Figura 20: Colheitadeira passando em ponte com parte dos pneus para o lado de fora	48
Figura 21: Ponte que quebrou durante a travessia de uma colheitadeira	48
Figura 22: Danos nos tabuleiros em pontes do município de Pato Branco (1).....	49
Figura 23: Danos nos tabuleiros em pontes do município de Pato Branco (2).....	49
Figura 24: Definição da largura e disposição do tabuleiro, rodeiro e guarda-rodas ..	50
Figura 25: Posicionamento do maior veículo tipo sobre a ponte	51
Figura 26: Automóvel posicionado sobre a ponte	51
Figura 27: Seção transversal do modelo de superestrutura proposto	52
Figura 28: Auto Clave – Tratamento de Eucalipto.....	52
Figura 29: Vão livre das pontes de madeira do Município de Pato Branco/PR	53
Figura 30: Diâmetro equivalente (d_{eq})	55
Figura 31: Disposição da carga permanente.....	56
Figura 32: Posicionamento crítico do trem-tipo para o cálculo do momento fletor	57
Figura 33: Posicionamento crítico do trem-tipo para o cálculo do esforço cortante ..	58
Figura 34: Faixa de carga para longarinas	58
Figura 35: Formato dos gráficos (a) esforço cortante para carga permanente; (b) momento fletor para carga permanente; (c) esforço cortante para carga acidental; (d) momento fletor para carga acidental.....	59
Figura 36: Disposição da carga acidental	63
Figura 37: Diagrama de Momento Fletor.....	64
Quadro 01: Principais Funções das Pontes	21

Quadro 02: Elementos constituintes da superestrutura de uma ponte de madeira em vigas roliças.....	24
Quadro 03: Ações em estruturas.....	26
Quadro 04: Quantitativo de madeira para cada vão de ponte	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Área plantada com as principais espécies de Eucalipto em diversos países	13
Tabela 02: Características dos veículos tipo	27
Tabela 03: Ações permanentes de grande variabilidade	30
Tabela 04: Ações variáveis	31
Tabela 05: Fatores de combinação e de utilização	32
Tabela 06: Propriedades das madeiras de eucalipto conforme espécie	33
Tabela 07: Dicotiledôneas (Valores na condição-padrão de referência U=12%)	33
Tabela 08: Valores de $K_{mod,1}$ (conforme classe de carregamento).....	35
Tabela 09: Valores de $K_{mod,2}$ (conforme classe de umidade)	35
Tabela 10: Exigências climáticas ajustadas para cada espécie	44
Tabela 11: Características de resistência das espécies de Eucalipto	44
Tabela 12: Dados de largura e peso de colheitadeiras modernas	47
Tabela 13: Valores de resistência característicos do <i>E dunnii</i> (Mpa), com 15 corpos de prova ensaiados	54
Tabela 14: Comparação entre a maior colheitadeira e o trem tipo TB-450	54
Tabela 15: Valores adotados para os coeficientes de modificação	55
Tabela 16: Valores de resistência de cálculo (Mpa)	55
Tabela 17: Carregamento permanente	57
Tabela 18: Esforços solicitantes	59
Tabela 19: Esforços solicitantes combinados.....	60
Tabela 20: Verificação do momento fletor	61
Tabela 21: Verificação do cisalhamento.....	62
Tabela 22: Diâmetros equivalentes conforme vão da ponte	62
Tabela 23: Esforço atuante de Momento Fletor	64
Tabela 24: Verificação dos esforços e seção mínima resistente.....	64
Tabela 25: Dimensão do tabuleiro de acordo com diâmetro equivalente (d_{eq}) das longarinas	64
Tabela 26: Espécies e sua respectiva classe de resistência.....	67
Tabela 27: Diâmetro equivalente das longarinas (cm)	68
Tabela 28: Seção transversal das peças do tabuleiro em função do diâmetro equivalente (d_{eq}) adotado para a longarina (cm X cm)	68

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
1.1 OBJETIVOS.....	8
1.1.1 Objetivo Geral.....	8
1.1.2 Objetivos Específicos	8
1.2 JUSTIFICATIVA.....	9
2 A MADEIRA DE REFLORESTAMENTO E SUA UTILIZAÇÃO NA CONFECÇÃO DE PONTES	11
2.1 O EUCALIPTO.....	11
2.1.1 Cultivo e utilização da madeira de eucalipto do âmbito mundial ao regional	12
2.1.2 Silvicultura do Eucalipto.....	16
2.1.3 Tratamento Químico da Madeira de Eucalipto	17
2.2 CONCEITOS GERAIS DE PONTES	20
2.2.1 Características das Pontes / Elementos Constituintes	20
2.2.1.1 <i>Infraestrutura</i>	21
2.2.1.2 <i>Mesoestrutura</i>	21
2.2.1.3 <i>Superestrutura</i>	22
2.2.2 Pontes de Madeira.....	22
2.3 DIMENSIONAMENTO	25
2.3.1 Normas Técnicas.....	25
2.3.2 Ações em Pontes de Madeira.....	26
2.3.2.1 <i>Cargas permanentes</i>	26
2.3.2.2 <i>Cargas acidentais</i>	27
2.3.2.3 <i>Coeficientes de ponderação das cargas verticais</i>	29
2.3.2.4 <i>Forças horizontais</i>	30
2.3.3 Combinação de Ações em Estados Limites Últimos.....	30
2.3.3.1 <i>Ações permanentes</i>	30
2.3.3.2 <i>Ações variáveis</i>	31
2.3.3.3 <i>Combinações últimas normais</i>	31
2.3.4 Propriedades de Resistência e Rigidez da Madeira	32
2.3.4.1 <i>Valores de cálculo</i>	34
2.3.5 Linhas de Influência.....	36
3 METODOLOGIA DE PESQUISA	38
3.1 ETAPAS DA PESQUISA	38
3.1.1 Estudo da Madeira.....	38
3.1.2 Estudo da Geometria da Ponte	39
3.1.3 Dimensionamento.....	39
3.1.4 Diagrama	40
4 INDICAÇÃO DA ESPÉCIE DO GÊNERO EUCALYPTUS	41
5 CONCEPÇÃO GEOMÉTRICA	46
5.1 DEFINIÇÃO DA LARGURA E DA DISPOSIÇÃO DO TABULEIRO E RODEIRO	50
5.2 DISPOSIÇÃO DAS LONGARINAS.....	51
5.3 COMPRIMENTO.....	52
6 DIMENSIONAMENTO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS	54
6.1 RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO.....	54
6.2 DIMENSIONAMENTO DAS LONGARINAS.....	55
6.2.1 Levantamento das cargas	56
6.2.1.1 <i>Permanentemente</i>	56

6.2.1.2	Acidentais.....	57
6.2.2	Esforços Máximos	59
6.2.2.1	Combinação de ações.....	59
6.2.3	Verificações	60
6.2.3.1	Momento fletor	60
6.2.3.2	Esforço cortante	61
6.3	DIMENSIONAMENTO DO TABULEIRO.....	62
6.3.1	Levantamento das cargas	63
6.3.2	Esforços máximos	63
6.3.3	Verificações	64
6.4	CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS.....	65
6.5	QUANTITATIVO	65
6.6	DIMENSIONAMENTO SIMPLIFICADO	67
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	69
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71

1 INTRODUÇÃO

A infraestrutura é um quesito essencial e determinante para o desenvolvimento econômico de uma nação, pois serve como suporte no desenvolvimento de diversas atividades importantes para a manutenção de um determinado padrão de vida de sua população. Entende-se como infraestrutura os serviços e utilidades, tais como estradas, pontes, ferrovias, energia, telecomunicação, entre outros.

Dentre as diversas obras de infraestrutura, as pontes desempenham um papel relevante para o desenvolvimento dos municípios, visto que juntamente com as estradas, asseguram a entrada de insumos nas propriedades agrícolas, promovem o escoamento da produção e permitem o livre deslocamento das populações. Na construção das pontes admite-se o emprego de diferentes materiais, sendo a maioria formada por concreto, madeira ou mista.

As pontes de madeira constituem uma ótima opção para o emprego em zonas rurais devido a fácil disponibilidade da matéria prima e por suas favoráveis características físicas e mecânicas, sendo portanto um produto viável técnica e economicamente.

Segundo Pfeil (2003) após a II Guerra Mundial houve um grande avanço nas pesquisas tecnológicas garantindo a existência de métodos atuais precisos para o projeto de várias formas de estrutura em madeira. Atualmente a madeira é vista como um material de construção competitivo do ponto de vista econômico e ao mesmo tempo recomendável em termos ecológicos, visto que há diversas técnicas de reflorestamento aliadas ao beneficiamento de madeira com minimização de perdas.

As florestas plantadas surgiram para reabastecer um mercado com queda da oferta de madeira e vêm crescendo a cada ano. No Brasil, o eucalipto já significava 76,6% das florestas plantadas no ano de 2012 (ABRAF, 2013). O gênero destaca-se devido às suas características de crescimento rápido e considerável resistência mecânica.

Rossigali (2006) constatou em suas pesquisas que há veículos de diferentes configurações trafegando nas estradas, deste modo se faz necessária a concepção de pontes que atendam estruturalmente e geometricamente as necessidades dos mesmos. Da mesma forma, a NBR 7188 (ABNT, 2013) que trata

das cargas móveis em pontes, foi atualizada no ano de 2013, visando melhor representar os veículos que trafegam em nosso país.

Este trabalho tem por objetivo conceber um modelo geométrico e estrutural da superestrutura de pontes em madeira roliça de eucalipto para utilização em estradas vicinais da Região Sudoeste do Paraná que ofereça segurança, supra as necessidades dos veículos que por ali transitam e seja viável do ponto de vista econômico e técnico onde a matéria prima trata-se de um produto renovável e que pode ser extraído próximo ao local de utilização.

Desta forma, primeiramente serão apresentados todos os fatores que exercem influência na superestrutura da ponte. Desde a recomendação da espécie de eucalipto a ser utilizada; passando por uma concepção geométrica inicial, que leva em consideração dimensões de pontes e veículos existentes; até o roteiro de dimensionamento, segundo carregamentos indicados por normas técnicas.

O resultado deste trabalho consiste em um projeto modelo de pontes em vigas de madeira roliça de eucalipto, acompanhado de um roteiro de cálculo que poderá ser adaptado para aplicação em demais regiões do país.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do presente trabalho consiste no desenvolvimento de um modelo geométrico e estrutural para a superestrutura de pontes de madeira do gênero *Eucalyptus* a ser empregado em estradas vicinais da região Sudoeste do Paraná.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Descrever o desenvolvimento do gênero *Eucalyptus* ao longo dos anos e as características que influenciam no seu desenvolvimento de modo a identificar a(s) espécie(s) mais apropriada(s) para a confecção das pontes na região Sudoeste;
- Levantar dimensões e cargas referentes aos veículos e implementos agrícolas que trafegam pelas estradas vicinais e conceber o modelo geométrico das pontes de acordo com as necessidades atuais;

- Efetuar o dimensionamento destas pontes segundo as normas técnicas NBR 7188/2013 e NBR 7190/1997.

1.2 JUSTIFICATIVA

A infraestrutura é requisito indispensável para o desenvolvimento econômico e social de um país ou região, sendo determinante para o exercício de muitas atividades. Neste contexto, as pontes desempenham o papel de permitir o escoamento de produtos, insumos, além de assegurar o direito de ir e vir da população. Em determinados pontos geográficos, interligam até países diferentes, alargando fronteiras econômica e culturalmente.

O presente trabalho terá como foco a região Sudoeste do estado do Paraná. Esta é composta por 42 municípios de pequeno e médio porte, onde a atividade econômica predominante é a agricultura. Sendo assim, as pontes de estradas vicinais tornam-se ainda mais importantes para o desenvolvimento da região.

Ainda que delimitada a região de estudo, o solo e as condições do leito a ser transposto variam caso a caso. Portanto, o presente trabalho limita-se ao dimensionamento da superestrutura da ponte, cujo modelo estrutural será o mesmo independentemente das condições locais.

A madeira é um material abundante e excelente para a construção de pontes em estradas no meio rural. O sistema estrutural composto por vigas de madeira roliça é resistente, de fácil execução e a obtenção da madeira como matéria prima, extremamente simples. Apesar da crença popular de baixa durabilidade, Calil Junior (2006) afirma que a madeira pode ser efetivamente protegida contra a deterioração por um período de 50 anos ou mais.

Quando se utiliza madeira de reflorestamento, material que se encontra na natureza de forma renovável e sustentável, mantêm-se preservada a mata nativa. Com o plantio direcionado para fins estruturais, influenciando desde a escolha da espécie, com modificações genéticas ou não, até a prática da silvicultura, obtêm-se madeira de excelente qualidade. Vale ressaltar também a alta produtividade em menor tempo. Neste contexto, o gênero *Eucalyptus* destaca-se pelo conjunto de suas características. Ele desenvolve-se mesmo em condições extremas de temperatura e precipitação além de apresentar grande densidade volumétrica, em comparação com outros gêneros utilizados em florestas plantadas.

Segundo Milani (2010), 48% das pontes existentes no município de Pato Branco são de madeira. O sistema estrutural de todas elas compõem-se por vigas. Ainda, mais de 70% tem sua condição de estabilidade considerada como precária ou sofrível. Isto deve-se, em grande parte, pela falta de manutenção e mau uso da estrutura. A evolução da tecnologia faz com que os veículos que por ali trafegam sejam cada vez maiores e mais pesados, daí a necessidade de um novo projeto, adequado às condições atuais.

Considera-se o desenvolvimento deste trabalho viável devido ao fácil acesso às informações necessárias. O dimensionamento será baseado nas Normas Brasileiras NBR 7190/1997 (Projeto de estruturas de madeira) e NBR 7188/2013 (Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre), onde encontram-se todos os dados das características das madeiras e cargas para as pontes. Bem como, não haverá a necessidade da realização de ensaios para a determinação de nenhuma característica física.

A originalidade do trabalho mescla-se com a contribuição tecnológica para o projeto e a construção de pontes de madeira na região Sudoeste do Paraná. O novo projeto baseia-se nas necessidades atuais de tráfego, visto que Borsatti (2013) constatou a deficiência existente neste âmbito, apresentando condições para um sistema construtivo simples e de baixo custo.

2 A MADEIRA DE REFLORESTAMENTO E SUA UTILIZAÇÃO NA CONFECÇÃO DE PONTES

Historicamente a madeira foi muito utilizada pelo homem, serviu para fazer fogueiras e pequenos utensílios e até hoje é utilizada para a confecção dos mais diversos tipos de estruturas, mobília e serve como matéria prima de vários produtos. Devido a isso, houve uma grande devastação das florestas nativas (LEÃO, 2000).

Nos últimos anos, os mercados de madeira mundiais sofreram grandes alterações, preços e volumes ditados pela demanda trouxeram uma nova situação em que tais mercados são controlados por condicionantes ligados à oferta. Neste contexto, as florestas plantadas vêm se tornando uma importante fonte do produto (GRESHAM, 1995).

O eucalipto se destaca pelo rápido crescimento, mesmo em condições extremas e características mecânicas favoráveis. Para quem o cultiva, proporciona relevante lucro na venda, além de permitir o cultivo paralelo com outras culturas, como por exemplo, milho, trigo e principalmente pastagens para gado (WILCKEN, 2008).

2.1 O EUCALIPTO

Eucalipto é o nome popular para o gênero botânico *Eucalyptus*. Desta forma, neste trabalho poderão aparecer as duas nomenclaturas, tendo o mesmo significado. Tal gênero é original da Austrália, porém pode ser encontrado/reproduzido em diversos países do mundo. Pertence à família das Mirtáceas, possui uma grande quantidade de espécies, além de enorme gama de variedades e híbridos. Caracteriza-se principalmente por árvores altas (BERTOLA, 2014).

Freitas Junior (2015, pág 2) traz a seguinte definição:

A palavra Eucalipto (do grego, eu + καλύπτω) significa “verdadeira cobertura”, sendo este o significado das florestas de eucalipto para as paisagens Australianas. Contudo, o nome faz relação com a estrutura protetora dos estames, conforme consta no site do Departamento de Agricultura, Pesca e Silvicultura do Governo Australiano – DAFF (Department of Agriculture, Fisheries and Forestry).

2.1.1 Cultivo e utilização da madeira de eucalipto do âmbito mundial ao regional

“Plantar árvores e melhorar seus frutos foi uma das preocupações do homem desde o estabelecimento das primeiras atividades agrícolas”. No caso da madeira, pode ser utilizada para os mais variados fins e, por isso, no início do estabelecimento das sociedades humanas, ocorreu uma grande devastação e exploração de mata nativa. Assim, surgiu a necessidade do reflorestamento tanto com fins ambientais quanto de consumo (LEÃO, 2000).

O gênero *Eucalyptus*, por ser de fácil adaptação tanto aos fatores climáticos, quanto do meio, devido à grande variabilidade de espécies e ao rápido crescimento, com maior produtividade sem prejuízos para a natureza, foi largamente utilizado em práticas de reflorestamento com finalidades comerciais. Segundo Mora & Garcia (2000), a disseminação do Eucalipto começou no século XIX, por meio de sementes. Leão (2000) afirma que houve amplo cultivo na Espanha, Portugal, África do Sul, Estados Unidos, América do Sul e em muitos outros países desde a metade do século passado. Na América do Sul, o cultivo iniciou-se em 1823, no Chile. O gráfico da Figura 01 mostra a distribuição do plantio de eucaliptos entre os continentes, enquanto que a Tabela 01, abaixo, indica as espécies comumente encontradas em diferentes países.

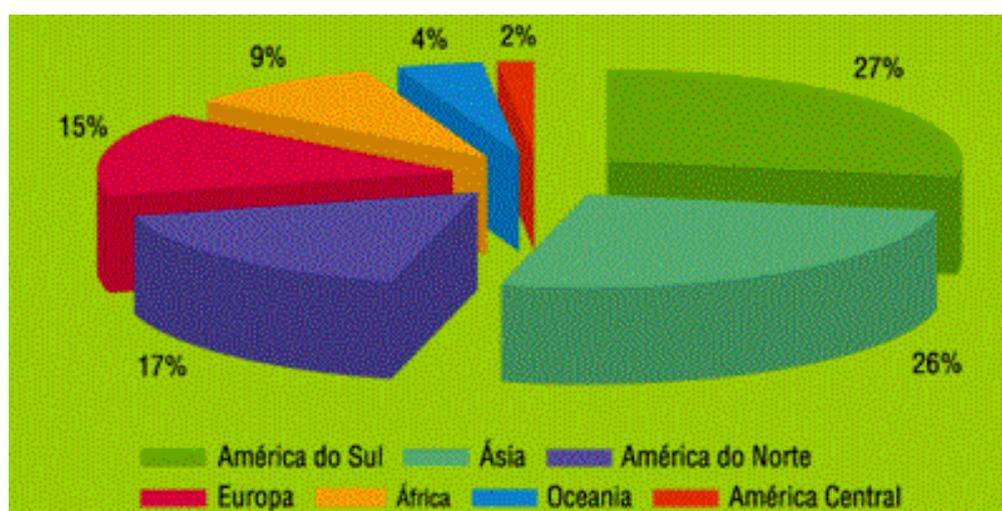


Figura 01: Distribuição dos plantios de eucaliptos por continente
Fonte: Borguetti *et al*, 2004; FAO, 2002 *apud* Freitas Junior, 2011.

Tabela 01: Área plantada com as principais espécies de Eucalipto em diversos países

País	(x 1.000 ha)	% área	Principais Espécies
Brasil	2.967	0,35	<i>E. grandis</i> , <i>E. saligna</i> e <i>E. urophylla</i>
Índia	550	0,16	<i>E. tereticomis</i>
África do Sul	470	0,38	<i>E. grandis</i>
Portugal	430	4,23	<i>E. globulus</i>
Angola	390	0,31	<i>E. tereticomis</i>
Espanha	390	0,77	<i>E. globulus</i>
China	300	0,03	<i>E. exserta</i>

Fonte: Adaptado de Mora & Garcia, 2000.

No Brasil, de 1909 à 1966 vigorava a Lei 5.106 que proporcionou incentivos fiscais ao reflorestamento. Tais incentivos resultaram num plantio de cerca de 3,2 milhões de hectares de Eucalipto. Destes, 80% se encontravam no estado de São Paulo. Após a abolição de tais incentivos, em 1987, a tecnologia desenvolvida até então continuou sendo adotada pelas indústrias florestais (PEREIRA, 2000). De acordo com o Sistema Nacional De Informações Florestais (SNIF, 2010), o Brasil detém as melhores tecnologias na silvicultura do Eucalipto.

Mora & Garcia (2000) afirmam que o primeiro intuito das florestas plantadas no Brasil foi a produção de lenha e dormentes, atualmente a indústria da madeira movimentou outros setores da economia. Ela é utilizada como matéria-prima para a produção de celulose (papel), carvão vegetal, e móveis. Além disso a fabricação de chapas, compensados e aglomerados permitem uma abordagem arquitetônica diferenciada sem deixar de oferecer resistência mecânica necessária em uma estrutura, tanto na concepção de casas como na utilização de peças roliças em pontes, especialmente nas regiões Sudeste e Sul, carentes de florestas naturais.

A Figura 02 representa dados do ano de 2012 quanto a distribuição do plantio de eucalipto por estados obtidos pela Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF, 2013).

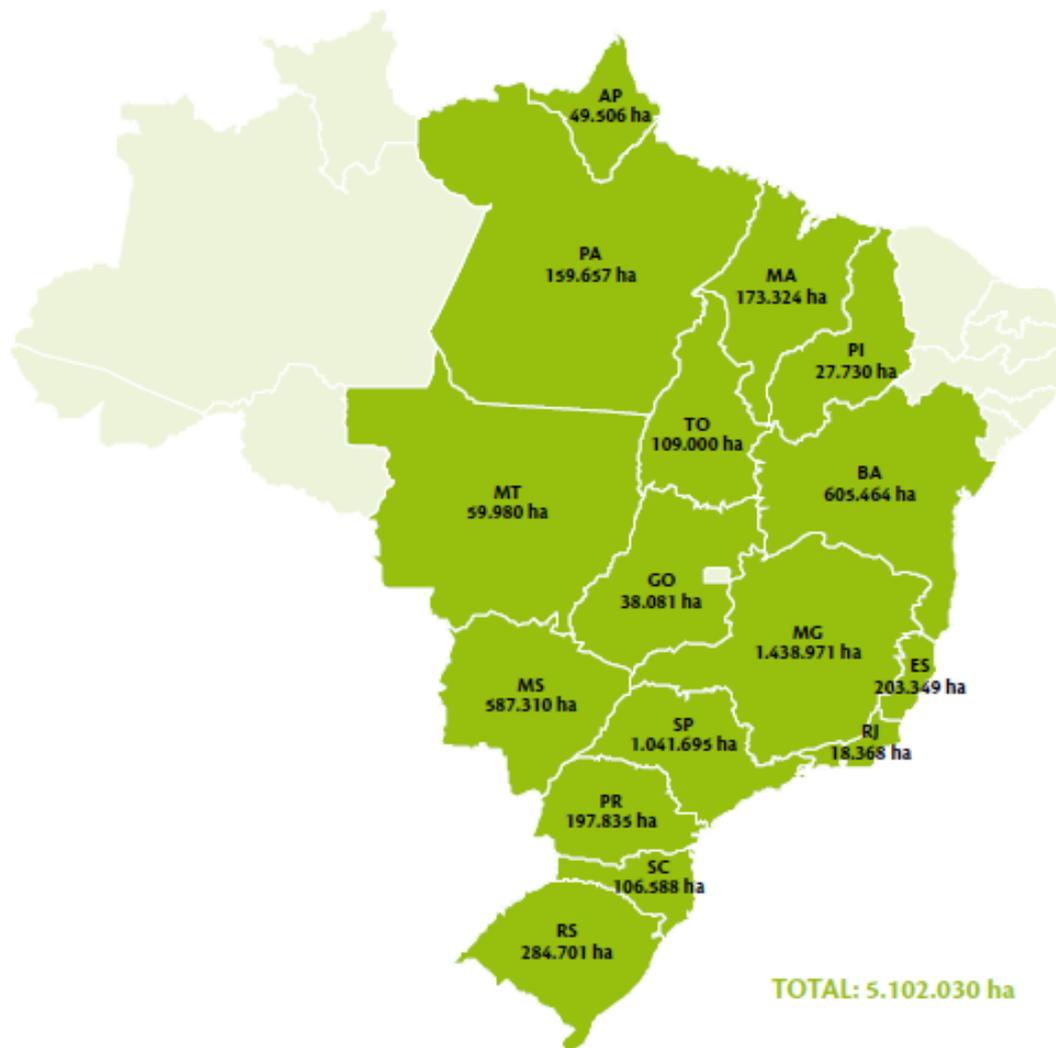


Figura 02: Área e distribuição de plantios florestais com Eucalipto nos estados do Brasil
Fonte: ABRAF, 2013.

Percebe-se claramente que o estado com mais área plantada de Eucalipto no Brasil é Minas Gerais (1.438.971 ha) enquanto o Paraná tem a 7º maior, com 197.835 ha. A representação destes dados torna-se mais significativa se for em percentuais, relacionando a área plantada com a área de cada estado. Assim, Espírito santo se coloca em 1º lugar com 4,41% e o Paraná sobe para 4º com 0,99%. A Figura 03 cruza os dados da ABRAF com as áreas de cada estado, fornecidas pelo IBGE (2014).

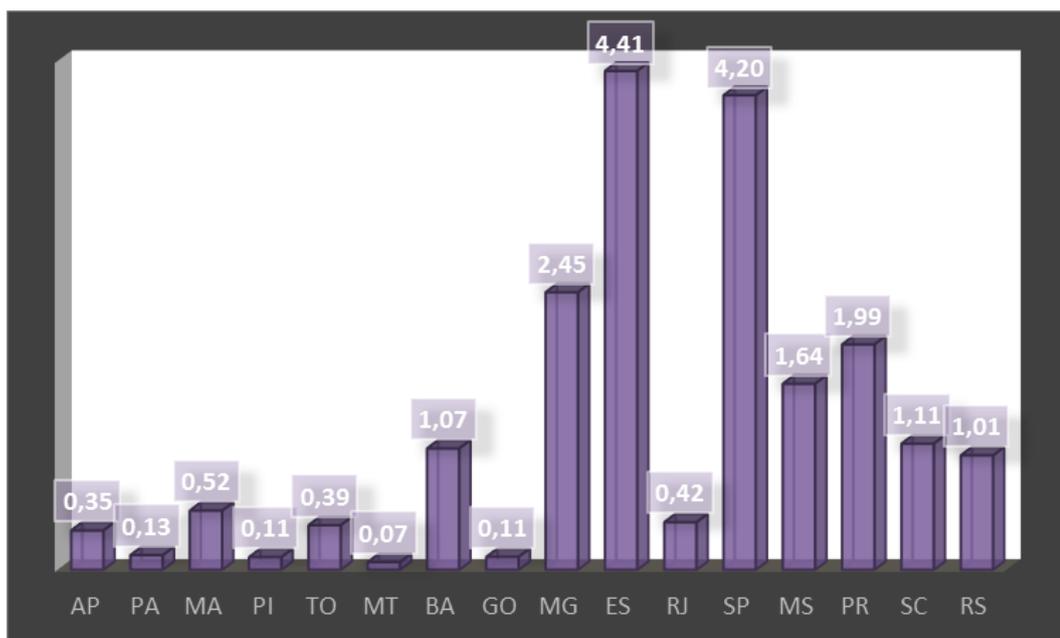


Figura 03: Plantios florestais com Eucalipto nos estados do Brasil, em relação à sua área total, em percentual (%)
Fonte: Autores, 2015.

O Paraná foi uma das regiões mais ricas em florestas do Brasil, com aproximadamente 83% de sua área coberta por mata nativa (SANTOS, 1980). Foi no início do século XX que os pinheirais começaram a ser explorados. A empresa americana Southern Brazil Lumber & Colonization Co. criou um notável complexo industrial madeireiro após a aquisição de grandes extensões de terras cobertas por florestas (LANGOWSKI *et al*, 1984).

Além da exploração da madeira, uma das principais causas do desmatamento no estado foi a agricultura. A ascensão da cultura do café no norte do estado e, mais tarde da soja, segundo Santos (1980), foram os principais fatores que levaram ao extermínio da mata tropical-subtropical do Paraná.

Dados da ABRAF (2013) mostram que, em 2012, as áreas plantadas de Pinus e Eucalipto já somavam cerca de 800.000 ha, o que representa 8% do território do estado. Estas florestas estão divididas em cultivos em pequenas propriedades rurais e grandes áreas com finalidades comerciais.

A Região Sudoeste do Paraná é constituída por 42 pequenos municípios. Os maiores deles são Pato Branco e Francisco Beltrão, com cerca de 70 mil habitantes cada. Sendo assim, é uma região predominantemente rural, onde a agropecuária desempenha papel importante na economia, representando 90% da riqueza gerada (AMSOP, 2015).

O cultivo do eucalipto representa uma alternativa para a diversificação de sistemas de produção, contribuindo significativamente para a melhoria da qualidade de vida dos agricultores e para o desenvolvimento sustentável da região (REINER, 2011).

2.1.2 Silvicultura do Eucalipto

Na pequena propriedade rural, por ocuparem o solo por um longo período de tempo, as florestas plantadas encontram-se essencialmente em áreas não aproveitáveis para a agricultura (como faixas de beira de estrada, cantos, áreas muito declivosas), permitindo assim, práticas paralelas e viabilizando a propriedade através da diversificação. Neste caso a finalidade do plantio geralmente é para compor um capital reserva, sendo uma vantagem econômica a medida que maximiza o uso da terra. O produtor, então, mantém a floresta por tempo indeterminado e sem manejo, não se tratando de um lucro imediato (WILCKEN et al, 2008; REINER, D. A et al, 2011).

Para uma grande produção e comercialização do eucalipto são indispensáveis algumas medidas silviculturais, tais como observância da época do plantio, preparo do solo, plantio espaçado, irrigação, adubação, controle de pragas e doenças, poda e corte planejados (WILCKEN et al, 2008). Higa, Mora e Higa (2000) indicam corte de algumas árvores para produção de lenha, moirões e celulose aproximadamente aos 7 anos de idade, conservando as demais, em menor densidade por hectare, para produção de madeira com fins estruturais anos mais tarde.

O Estado do Paraná localiza-se em uma região de transição climática, abrangendo climas desde o subtropical até o temperado, sendo três tipos definidos de acordo com temperatura, localização e ciclos de chuva (CARVALHO & QUEIROZ, 2002). O clima que predomina no litoral é do tipo superúmido sem estação seca; o clima subtropical úmido mesotérmico, com verões quentes, sem estação seca e com poucas geadas é marcante nas Regiões Norte, Oeste e parte do Sudoeste; na Região de Curitiba, Campos Gerais e Sul tem-se o verão brando, sem estação seca, com dez a vinte e cinco geadas anuais (WREGGE et al, 2004).

Como os plantios de eucalipto não retornam integralmente os investimentos antes dos cinco anos de idade, o fator "geada" deve ser considerado desde a época de plantio, observando-se que é maior a probabilidade de ocorrerem geadas de forte

intensidade nas áreas situadas nas maiores latitudes e altitudes. De acordo com Carpanezzi et al (1986) há outros fatores adversos ao cultivo do Eucalipto no Paraná que devem ser levados em consideração como a ocorrência esporádica de estiagem prolongada, devido a demanda do gênero por certa quantidade de água e de outros recursos presentes no solo, além da presença de organismos que possam danificar a madeira (PALUDZYSZYN FILHO et al, 2006).

Assumindo determinados cuidados com o manejo do eucalipto pode-se obter, além de alta produtividade, segurança e bom retorno econômico aos investidores.

2.1.3 Tratamento Químico da Madeira de Eucalipto

Segundo Calil Jr (2006), há décadas que a madeira de eucalipto tratada tem sido utilizada na indústria de utilidades para a confecção de postes e moirões e mais recentemente dormentes tratados, apresentando grande potencial para o uso em pontes de acordo com apontamentos dos estudos realizados nas universidades e institutos brasileiros. Ainda de acordo com o autor as técnicas de preservação química consistem na introdução de produtos químicos dentro da estrutura das madeiras de forma a torná-la tóxica aos organismos que a usam como fonte de alimentos. A escolha do processo e do produto preservativo que será utilizado depende, principalmente, do tipo da madeira e das condições de utilização das mesmas.

A madeira exposta ao tempo sofre deterioração por diversos fatores, um deles é o intemperismo promovido pela radiação ultravioleta. Este, causa alterações na coloração da madeira e na estrutura celulósica que, em camadas, acaba sendo levada pela água da chuva. Por ser um material combustível, a madeira pode ainda ser consumida pelo fogo e, apesar de ser inerte à ação de muitos produtos químicos, pode sofrer a ação destruidora de poluentes ao longo do tempo. Contudo, são os agentes biológicos os merecedores de maior cuidado, uma vez que são os responsáveis por causar os maiores prejuízos durante a utilização da madeira (SGAI, 2000).

Sgai (2000), afirma que o CCA (Arseniato de Cobre Cromatado) é um preservativo hidrossolúvel de ampla utilização em todo o mundo. Quando aplicado à madeira, reage com a mesma tornando-se insolúvel. A reação de fixação desencadeada pelo cromo deixa o arsênio como agente inseticida e o cobre como

agente fungicida, aderidos às estruturas celulares. Deste modo, tem sido eficiente na proteção de madeiras contra insetos (cupins e brocas) e fungos apodrecedores. Como essas reações ocorrem muito rapidamente, o único processo industrial utilizado é o processo sob pressão em autoclave.

Ensaio realizados em todo o mundo demonstram um excelente desempenho das madeiras tratadas com CCA após 30 anos de sua permanência em contato com o solo (SGAI, 2000).

A qualidade do produto e do processo utilizado no tratamento são fatores que influenciam na durabilidade da madeira. Empresas de preservação em autoclaves dão garantia de 15 anos, enquanto indústrias fabricantes afirmam que a vida útil do eucalipto tratado pode chegar a até 30 anos (ARAUJO; MAGALHÃES e OLIVEIRA, 2012).

Conforme aborda a American Woods Preservers Association (AWPA 1996), o CCA diferencia-se em três tipos de acordo com as diferentes formulações e variações das porcentagens de cromo, arsênio e cobre. No Brasil a formulação mais empregada é do tipo C, que apresenta 18,6% de cobre (CuO), 34% de arsênio (As₂O₅) e 47,5% de cromo (CrO₃).

Silva (2006), indica que as madeiras a serem preservadas devem ser previamente descascadas e secas, já estando dimensionadas e preparadas para o seu uso final. Depois do tratamento preservativo, as peças devem ser armazenadas por um período de 14 a 21 dias, para a fixação dos ingredientes ativos.

Conforme Associação Brasileira de Preservadores de Madeira (ABPM, 2015) o processo de tratamento da madeira sob pressão acontece do seguinte modo:

- A madeira seca é carregada na autoclave;
- É aplicado um vácuo inicial de 600 a 650 mmHg durante um tempo que pode variar de 15 a 30 minutos. A transferência do preservativo é realizada aproveitando-se o vácuo existente no interior da autoclave, sendo que ao final desta etapa a autoclave deverá estar completamente cheia com a solução preservativa;
- Com a autoclave cheia a bomba de pressão é acionada até que seja atingida a pressão máxima que varia entre 10 Kgf/cm² a 12 Kgf/cm². Em geral, as peças de eucalipto requerem um tempo de pressão que varia entre 01h30 e 02h00;

- A pressão é liberada e o volume de solução não absorvida pela carga de madeira é retornado ao tanque de trabalho;
- É aplicado um vácuo final com a finalidade de redução do excesso de preservativo sobre a superfície da madeira. O tempo varia em função da permeabilidade e dimensões das peças de madeira, de um modo geral 15 a 30 minutos são suficientes.

A Figura 04, representa, de forma simplificada, o processo de impregnação do CCA em autoclave.



Figura 04: Processo de tratamento em autoclave
Fonte: Armazém do Eucalipto, 2015.

No Brasil, existe normatização atualizada sobre o assunto. Segundo o objetivo deste trabalho, destacam-se NBR 16143:2013 (Preservação de madeiras — Sistema de categorias de uso), NBR 6232:2013 (Penetração e retenção de preservativos em madeira tratada sob pressão) e NBR 9480:2009 (Peças roliças preservadas de eucalipto para construções rurais – Requisitos).

O município de Pato Branco/PR possui uma indústria que utiliza o método de tratamento de impregnação por autoclave do produto CCA. O equipamento possui 2 metros de diâmetro e comprimento total de 9 metros.

2.2 CONCEITOS GERAIS DE PONTES

Ponte é uma obra de infraestrutura destinada a possibilitar a transposição de diferentes obstáculos como rios, braços de mar e vales profundos de modo a permitir a continuidade das vias (MARCHETTI, 2008).

O DNIT (2004; pág 3) conceitua ponte como sendo:

Estrutura, inclusive apoios, construída sobre uma depressão ou uma obstrução, tais como água, rodovia ou ferrovia, que sustenta uma pista de passagem de veículos e outras cargas móveis, e que tem um vão livre, medido ao longo do eixo da rodovia, de mais de seis metros. Ficam incluídos nesta definição viadutos, passagens superiores e passagens inferiores.

2.2.1 Características das Pontes / Elementos Constituintes

Uma ponte desempenha uma série de funções. O Quadro 01 apresenta as principais. Marchetti (2008) estabelece alguns requisitos que as pontes devem contemplar, sendo eles:

- a. Funcionalidade: De acordo com este quesito a ponte deverá satisfazer, sem que ocorra nenhum problema, as exigências de tráfego, vazão, entre outras funções;
- b. Segurança: As tensões de solicitação deverão ser inferiores as admissíveis para os materiais constituintes;
- c. Estética: A ponte deverá apresentar aspecto agradável e se harmonizar com o ambiente em que se situa;
- d. Economia: Deve ser realizado um estudo comparativo de várias soluções possíveis para escolher a mais econômica, sendo que os itens “a”, “b”, “c” e “e”, sempre devem ser atendidos;

- e. Durabilidade: A ponte deve desempenhar suas funções de uso durante um período previsto.

Funções viárias	Dar continuidade à estrada na transposição de um obstáculo. São desempenhadas pelos elementos mais ligados aos usuários.
Funções estáticas	Consiste em conduzir as cargas da posição onde elas se encontram até o solo. São representadas pelos principais elementos estruturais da obra.
Ligação da obra com a estrada	É feita pelos elementos situados nas extremidades da obra, tais como encontros, cortinas, alas laterais, muros auxiliares, etc.

Quadro 01: Principais Funções das Pontes

Fonte: Adaptado de Milani, 2010.

Do ponto de vista funcional, as pontes podem ser divididas em três partes principais: infraestrutura, mesoestrutura e superestrutura, como ilustra a Figura 05 (MARCHETTI, 2008).

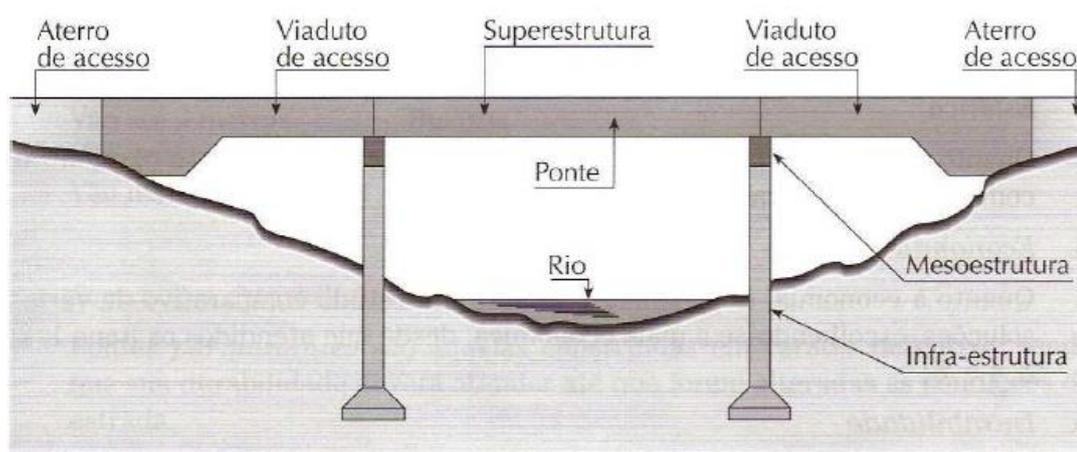


Figura 05: Divisão estrutural de uma ponte

Fonte: Marchetti, 2008.

2.2.1.1 Infraestrutura

De acordo com Marchetti (2008), Infraestrutura é a parte da ponte formada por elementos que se destinam a apoiar no terreno os esforços transmitidos da Superestrutura para a Mesoestrutura e é constituída por blocos de fundação, sapatas, tubulões, etc.

2.2.1.2 Mesoestrutura

A mesoestrutura é formada pelos elementos intermediários que tem por função a transmissão dos esforços atuantes na pista de rolamento ou tabuleiro aos

elementos de fundação. Normalmente é constituída por pilares isolados ou aporticados, aparelhos de apoio metálicos ou de borracha e encontros (DNER, 1996).

2.2.1.3 *Superestrutura*

A superestrutura – objeto de nosso estudo – é definida de acordo com Marchetti (2008) como o elemento de suporte do estrado por onde se trafega. Divide-se em estrutura principal (vigas e longarinas) e secundária (tabuleiro composto por laje, tábuas ou chapas metálicas) (MENDES, 2003).

De uma forma geral, as pontes são compostas por tabuleiro, vigas principais e secundárias, pilares e fundações. O tabuleiro tem a função de receber as cargas dos veículos e pedestres e transferi-las para as vigas, que as transmitem para os pilares; estes recebem as cargas verticais e horizontais da superestrutura e as transferem para as fundações, que transmitem as mesmas para o terreno (MILANI, 2010).

2.2.2 Pontes de Madeira

Segundo Calil Junior (2006), as pontes de madeira adotam sistemas estruturais iguais a de outros materiais e, devido à madeira ser um material leve e versátil, têm-se soluções únicas para determinadas situações. O autor cita ainda os diferentes sistemas estruturais que podem ser utilizados na construção das pontes, sendo eles: pontes em arco, em pórtico, em placa e em vigas. A Figura 06 exemplifica os diferentes esquemas estruturais citados.

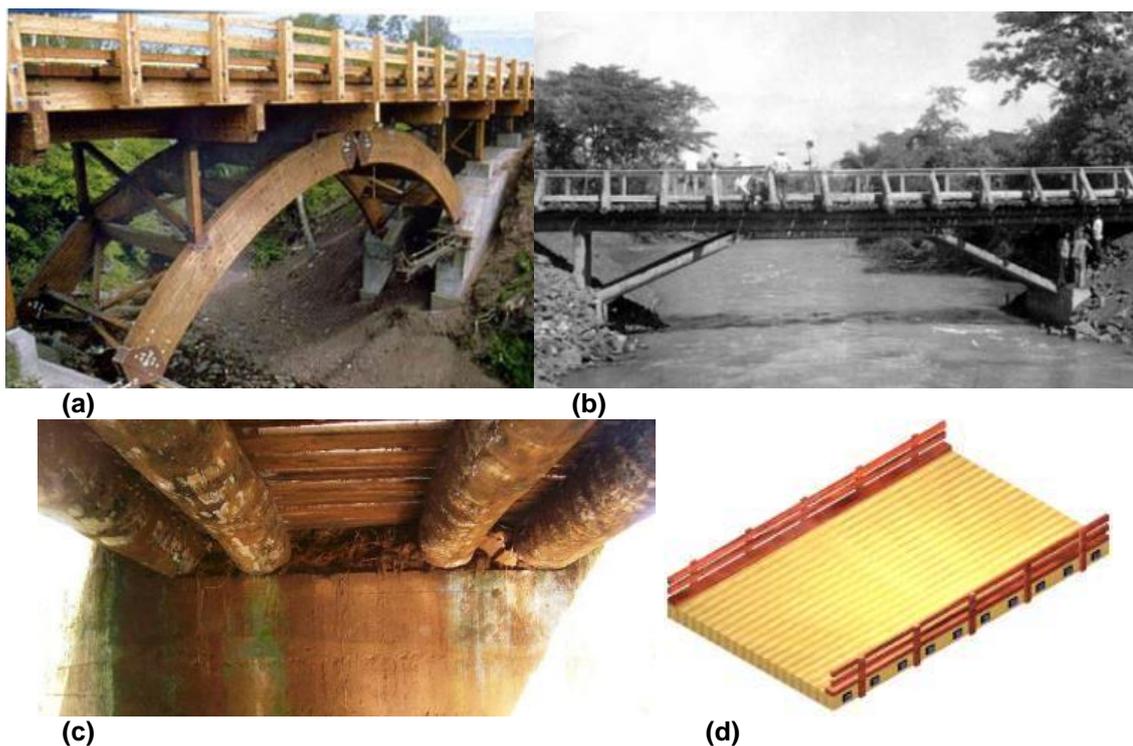


Figura 06: Esquemas estruturais de pontes. (a) Ponte em arco. (b) Ponte em pórtico. (c) Ponte em vigas. (d) Ponte em placa.

Fonte: Adaptado de Calil Junior, 2006.

No Brasil, os sistemas de pontes de madeira mais empregados são as pontes em viga e as pontes em placa, sendo as pontes em viga basicamente formadas por pranchas de madeira serradas posicionadas transversalmente e apoiadas sobre vigas, também chamadas de longarinas. Essas podem ser formadas por: vigas roliças de madeira (Figura 07), vigas de Madeira Laminada Colada (MLC), vigas compostas de madeira serrada, vigas treliçadas de madeira, vigas armadas de madeira, etc. (CALIL JUNIOR e GÓES, 2014).



Figura 07: Vista inferior Ponte Estrada Floresta – Piracicaba/SP
Fonte: Calil Junior, 2006.

O emprego da madeira roliça viabiliza umas das técnicas mais competitivas dos pontos de vista técnico e econômico para construir pontes. Esta técnica permite que a madeira seja usada em sua forma natural, o que diminui os níveis de industrialização, manipulação e transporte, ao mesmo passo que aumenta a velocidade de construção e melhora o aproveitamento da madeira. As pontes devem ser construídas com peças de madeira roliça que contenha eixo longitudinal retilíneo, seção transversal bem comportada e sem defeitos (CALIL JUNIOR e GÓES, 2014).

Para Calil Junior (2006) a peça roliça é a mais simples de se obter, porém alguns cuidados especiais devem ser tomados na sua utilização. Nas toras, diferentemente das vigas serradas, há a presença de alborno e sua durabilidade natural é baixa, por outro lado, o tratamento químico sobre pressão torna-se mais fácil devido a maior permeabilidade. Calil e Góes (2014) indicam que as peças de madeira roliça devem passar por tratamento com sistema de vácuo-pressão, principalmente quando a madeira utilizada for de reflorestamento.

Outro fator importante é que a geometria cônica das toras torna necessária uma compensação longitudinal entre os diâmetros do topo e da base e a regularização do tabuleiro. Calil Junior (2006) cita ainda que das espécies utilizadas na construção de pontes pode-se obter diâmetros de base de 70 cm ou mais, sendo que os comprimentos dependem das espécies utilizadas.

Na superestrutura de pontes em vigas simples de peças roliças podem ser observados os seguintes elementos estruturais utilitários: Longarinas; Tabuleiro; Rodeiro; Guarda-rodas. O Quadro 02 explica a composição de cada um destes elementos, enquanto as Figuras 08 e 09 os trazem ilustrados (CALIL JUNIOR, 2006).

Longarinas	As longarinas são formadas por peças roliças de madeira dispostas no sentido longitudinal. São responsáveis por suportar o peso próprio da estrutura e também as cargas acidentais e seus efeitos dinâmicos.
Tabuleiro	O tabuleiro é constituído por peças de madeira serrada, dispostas no sentido transversal. O veículo tipo deve atuar sobre o rodeiro; entretanto, o tabuleiro deve suportar a carga acidental no caso de o mesmo sair do rodeiro.
Rodeiro	O rodeiro é formado por peças de madeira serrada, dispostas no sentido longitudinal. Tem a função de indicar a localização correta onde o veículo deve passar e melhorar a distribuição das cargas acidentais para o tabuleiro e as longarinas.
Guarda-rodas e Defesa	O guarda-rodas e a defesa constituem itens de segurança ao tráfego da ponte. Devem ser dimensionados de maneira a evitar que o veículo possa sair da ponte. O guarda-rodas é formado por uma viga roliça de mesmo diâmetro das longarinas ou menor, sendo utilizadas peças de madeira serrada para a defesa.

Quadro 02: Elementos constituintes da superestrutura de uma ponte de madeira em vigas roliças

Fonte: Adaptado de Calil Junior, 2006.

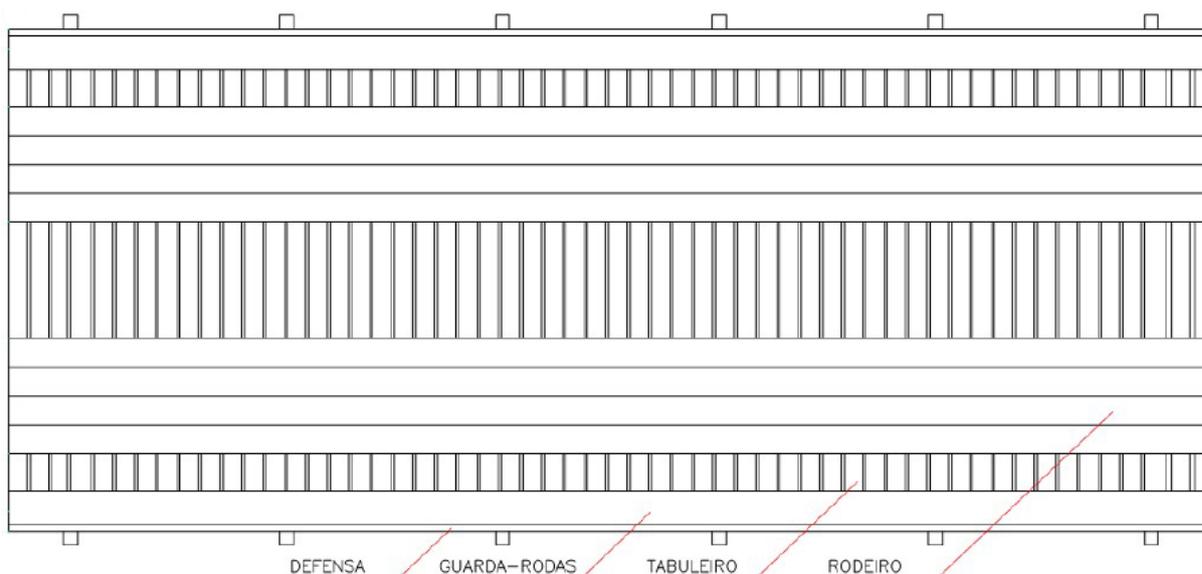


Figura 08: Vista superior dos elementos comumente encontrado nas pontes de madeira em vigas roliças
Fonte: Calil Junior, 2006.

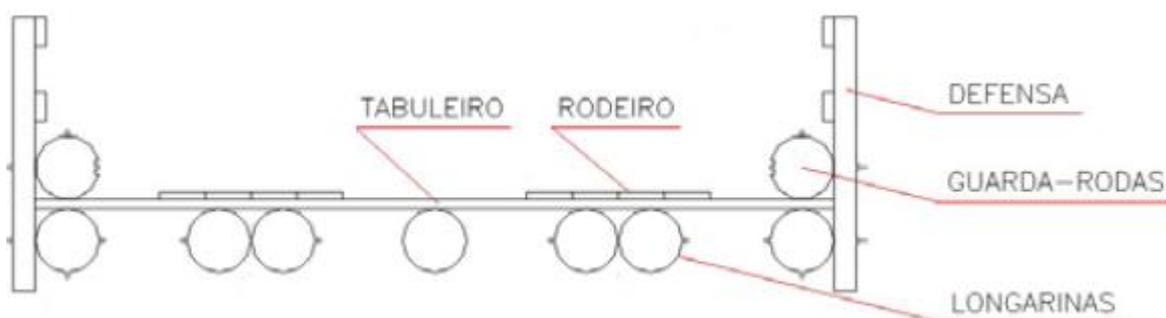


Figura 09: Seção transversal dos elementos comumente encontrado nas pontes de madeira em vigas roliças
Fonte: Calil Junior, 2006.

2.3 DIMENSIONAMENTO

2.3.1 Normas Técnicas

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o Foro Nacional de Normalização para a comunidade brasileira. Foi fundada no ano de 1940 e é aprovada pelo governo federal por meio de diversos instrumentos legais. É de sua responsabilidade a publicação das Normas Brasileiras (NBR) e desde 1950 atua também na avaliação da conformidade e dispõe de programas para certificação de produtos, sistemas, pessoas e rotulagem ambiental. A Organização exerce um papel importante dentro da sociedade brasileira, pois contribui para a implementação de

políticas públicas, promove o desenvolvimento de mercados, a defesa dos consumidores e a segurança de todos os cidadãos (ABNT, 2015).

A ABNT contempla referências normativas que serão utilizadas no dimensionamento das peças estruturais e no levantamento das cargas de projeto das pontes em estudo, são elas:

ABNT NBR 7190:1997 – Projeto de estruturas de madeira. Esta norma refere-se essencialmente às madeiras serradas em geral. Contudo também é válida para o dimensionamento de peças roliças de madeira de seção variável, através de indicativos especiais contidos no item 7.2.8, que permite o cálculo do diâmetro equivalente (d_{eq}). Ela contém ainda dados referentes à resistência mecânica das principais espécies de Eucalipto plantadas no Brasil.

ABNT NBR 7188: 2013 – Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas. A referida norma traz dados relativos as diferentes classes de pontes existentes e permite o levantamento das cargas através de trens-tipo específicos para cada uma delas.

2.3.2 Ações em Pontes de Madeira

As ações são as causas que levam ao aparecimento de esforços ou deformações na estrutura. As forças são consideradas como ações diretas e as deformações impostas como ações indiretas (ABNT, 1997). O Quadro 03 esclarece o significado de cada tipo de ação.

Ações permanentes	Ocorrem com valores constantes ou de pequena variação em torno de sua média, durante praticamente toda a vida da construção.
Ações variáveis	Ocorrem com valores cuja variação é significativa durante a vida da construção.
Ações excepcionais	Tem duração extremamente curta e muito baixa probabilidade de ocorrência durante a vida da construção, mas que devem ser consideradas no projeto de determinadas estruturas.

Quadro 03: Ações em estruturas
Fonte: Adaptado de NBR7190 (ABNT, 1997).

2.3.2.1 Cargas permanentes

A NBR 7190 (ABNT, 1997, pág. 9) define ações permanentes como as que “ocorrem com valores constantes ou de pequena variação em torno de sua média,

durante praticamente toda a vida da construção”. Nas pontes, elas são constituídas pelo peso próprio dos elementos estruturais:

- Admite-se que a madeira esteja na classe 1 de umidade (umidade de equilíbrio da madeira de 12% e umidade relativa do ambiente menor ou igual a 65%);
- É permitida uma variação de no máximo 10% entre o peso próprio real e o admitido inicialmente no cálculo da estrutura;
- O peso próprio das peças metálicas de união pode ser estimado em 3% do peso próprio da madeira.

2.3.2.2 Cargas acidentais

Cargas acidentais, ainda segundo NBR 7190 (ABNT, 1997), são ações que variam conforme o uso da estrutura em questão, como, por exemplo, pessoas, veículos e vento. Quando se trata de forças variáveis devem-se considerar apenas as parcelas que provocam efeitos desfavoráveis na estrutura. Em se tratando de ações variáveis móveis, a pior situação deve ser adotada para realização dos cálculos.

A NBR 7188 (ABNT, 2013) divide as pontes rodoviárias em três classes. A Tabela 02 especifica os carregamentos que devem ser considerados de acordo com as mesmas.

- Classe 45: veículo-tipo pesando 450 kN
- Classe 30: veículo-tipo pesando 300 kN
- Classe 24: veículo-tipo pesando 240 kN

Tabela 02: Características dos veículos tipo

	Unidade	TB-450	TB-300	TB-240
Quantidade de eixos	Eixo	3	3	3
Peso total de veículo	kN	450	300	240
Peso de cada roda dianteira	kN	75	50	40
Largura de contato de cada roda	kN	0,50	0,40	0,40
Comprimento de contato de cada roda	m	0,20	0,20	0,20
Distância entre os eixos	m	1,50	1,50	1,50
Distância entre os centros de roda de cada eixo	m	2,00	2,00	2,00
Área de ocupação	m ²	18,00	18,00	18,00
Carga uniformemente distribuída	kN/m ²	5	5	4

Fonte: Adaptado de NBR 7188 (ABNT, 2013).

A referida norma ilustra as informações constantes nesta tabela, bem como a disposição dos carregamentos. Desta forma, as Figuras 10 e 11 fazem a representação gráfica dos veículos-tipo, enquanto a Figura 12 representa a disposição do carregamento.

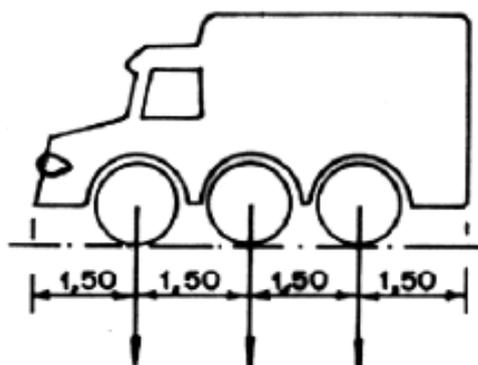


Figura 10: Representação do veículo tipo
Fonte: ABNT, 1982.

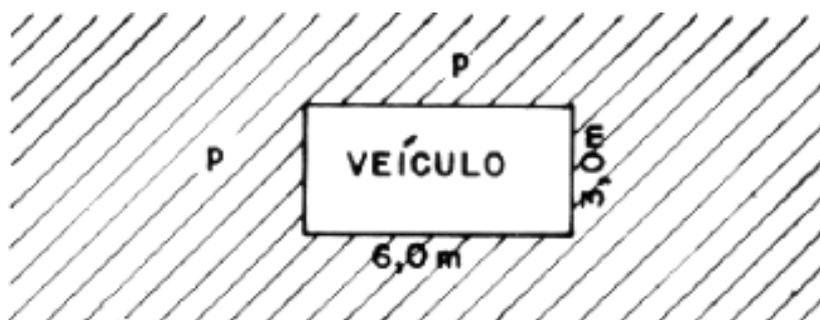


Figura 11: Área ocupada pelo veículo tipo
Fonte: ABNT, 1982.

Conforme a Figura 12, a carga P , em quilonewtons (kN), é a carga estática concentrada e a carga p , em quilonewtons por metro quadrado (kN/m²), é a carga uniformemente distribuída, ambas aplicadas no nível do pavimento, com valor característico e sem qualquer majoração.

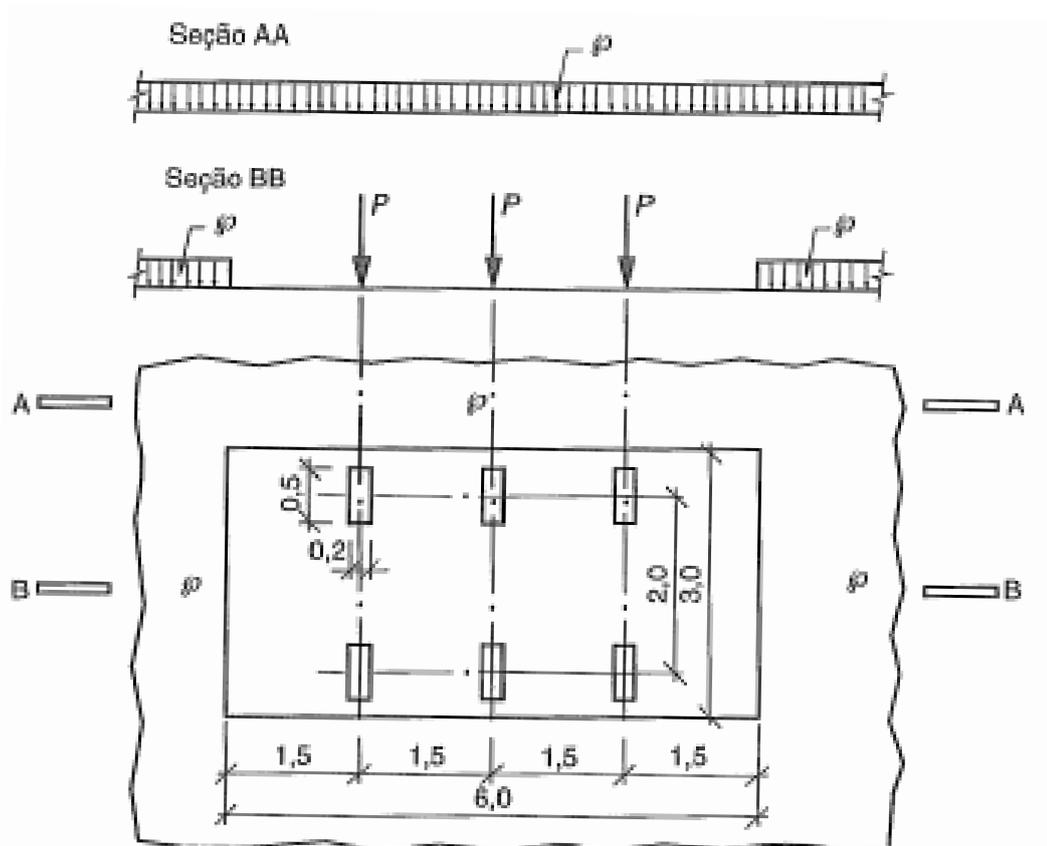


Figura 12: Disposição das cargas estáticas
Fonte: NBR 7188 (ABNT, 2013).

2.3.2.3 Coeficientes de ponderação das cargas verticais

A NBR 7188 (ABNT, 2013) determina que as cargas P e p devem ser ponderadas por três coeficientes de acordo com as Equações 1 e 2, abaixo. São eles: coeficiente de impacto vertical (CIV), coeficiente de número de faixas (CNF) e coeficiente de impacto adicional (CIA).

$$Q = P \times CIV \times CNF \times CIA \quad (1)$$

$$q = p \times CIV \times CNF \times CIA \quad (2)$$

Define-se o coeficiente de impacto vertical conforme as equações a seguir.

$CIV = 1,35$, para estruturas com vão menor do que 10 m;

$CIV = 1 + 1,06 \times (20/Liv + 50)$, para estruturas com vão entre 10 e 200 m.

Liv é o vão em metros para o cálculo CIV, conforme o tipo de estrutura, sendo usada a média aritmética dos vãos nos casos de vãos contínuos e o comprimento do próprio balanço para estruturas em balanço.

O coeficiente de número de faixas é utilizado para o dimensionamento somente dos elementos estruturais longitudinais das pontes (vigas), exclui-se este

coeficiente da majoração dos elementos estruturais transversais (transversinas, laje, etc.). CNF é definido pela Equação 3, onde n é o número de faixas de tráfego.

$$CNF = 1 - 0,05 \times (n-2) > 0,9 \quad (3)$$

O coeficiente de impacto adicional varia conforme o material que é constituída a estrutura, é utilizado na majoração de todos os elementos estruturais a uma distância horizontal normal à junta inferior a 5 metros. Assume o valor de 1,25 para obras em concreto ou mistas e 1,15 para obras em aço.

2.3.2.4 Forças horizontais

As forças horizontais são referentes à frenagem e aceleração, força centrífuga, e outras ações excepcionais atuantes em diversos elementos de ponte. A Equação 4 apresenta o cálculo para a força devido à frenagem e/ou aceleração. B é a largura efetiva da carga distribuída e L , o comprimento, ambos expressos em metros.

$$H_f = 0,25 \times B \times L \times CNF \geq 135 \text{ kN} \quad (4)$$

2.3.3 Combinação de Ações em Estados Limites Últimos

2.3.3.1 Ações permanentes

Segundo NBR 7190 (ABNT, 1997) considera-se de grande variabilidade o peso da madeira que não é classificada estruturalmente. Para as ações permanentes de grande variabilidade e para ações constituídas pelo peso próprio das estruturas e dos elementos construtivos permanentes não estruturais e dos equipamentos fixos, todos considerados globalmente, quando o peso próprio da estrutura não supera 75% da totalidade dos pesos permanentes, adota-se valores de γ_g conforme a Tabela 03.

Tabela 03: Ações permanentes de grande variabilidade

Combinações	Para efeitos	
	Desfavoráveis	Favoráveis
Normais	1,4	0,9
Especiais ou de construção	1,3	0,9
Excepcionais	1,2	0,9

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997).

2.3.3.2 Ações variáveis

Os coeficientes de ponderação γ_Q das ações variáveis majoram os valores representativos das ações variáveis que produzem efeitos desfavoráveis para a segurança da estrutura (ABNT, 1997). Estes coeficientes que figuram nas combinações últimas, devem ser tomados com os valores básicos indicados na Tabela 04.

Tabela 04: Ações variáveis

Combinações	Ações variáveis em geral, incluídas as cargas acidentais móveis (γ_Q)	Efeitos da temperatura (γ^e)
Normais	1,4	1,2
Especiais ou de construção	1,2	1,0
Excepcionais	1,0	0

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997).

2.3.3.3 Combinações últimas normais

A combinação última normal é representada pela Equação 5.

$$\sum_{i=1}^m \gamma_{Gi,k} F_{Gi,k} + \gamma_Q [F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \Psi_{0j} F_{Qj,k}] \quad (5)$$

Onde $F_{Gi,k}$ representa o valor característico das ações permanentes, $F_{Q1,k}$ o valor característico da ação variável considerada como ação principal para a combinação considerada e $\Psi_{0j} F_{Qj,k}$ os valores reduzidos de combinação das demais ações variáveis, determinados de acordo com a Tabela 05.

Tabela 05: Fatores de combinação e de utilização

Ações em estruturas correntes	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3
Pressão dinâmica do vento	0,5	0,2	0
Cargas acidentais dos edifícios	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Locais em que não há predominância de pesos de equipamentos fixos, nem de elevadas concentrações de pessoas	0,4	0,3	0,2
Locais onde há predominância de pesos de equipamentos fixos, ou de elevadas concentrações de pessoas	0,7	0,6	0,4
Bibliotecas, arquivos, oficinas e garagens	0,8	0,7	0,6
Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Pontes de pedestres	0,4	0,3	0,2
Pontes rodoviárias	0,6	0,4	0,2
Pontes ferroviárias	0,8	0,6	0,4

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997).

2.3.4 Propriedades de Resistência e Rigidez da Madeira

As propriedades da madeira que influenciam no dimensionamento de elementos estruturais são: densidade, resistência, rigidez ou módulo de elasticidade e umidade.

Para obtenção dos valores referentes a estas propriedades devem ser realizados ensaios de caracterização. Porém, a NBR 7190 (ABNT, 1997) traz as informações de algumas espécies. O Instituto de Pesquisas Tecnológicas, também fornece dados confiáveis sobre ensaios de diversas espécies de madeira. A Tabela 06 traz informações das propriedades da madeira de diferentes espécies encontradas na referida norma.

Tabela 06: Propriedades das madeiras de eucalipto conforme espécie

Nome comum	Nome científico	ρ_{ap} (12%) kg/m ³	f_{co} Mpa	f_{t0} Mpa	f_{t90} Mpa	f_v Mpa	E_{c0} Mpa	n
E. Alba	Eucalyptus alba	705	47,3	69,4	4,6	9,5	13409	24
E. Camaldulensis	Eucalyptus camaldulensis	899	48	78,1	4,6	9	13286	18
E. Citriodora	Eucalyptus citriodora	999	62	123,6	3,9	10,7	18421	68
E. Cloesiana	Eucalyptus cloeziana	822	51,8	90,8	4	10,5	13963	21
E. Dunni	Eucalyptus dunni	690	48,9	139,2	6,9	9,8	18029	15
E. Grandis	Eucalyptus grandis	640	40,3	70,2	2,6	7	12813	103
E. Maculata	Eucalyptus maculata	931	63,5	115,6	4,1	10,6	18099	53
E. Maidene	Eucalyptus maidene	924	48,3	83,7	4,8	10,3	14431	10
E. Saligna	Eucalyptus saligna	731	46,8	95,5	4	8,2	14933	67
E. Tereticornis	Eucalyptus tereticornis	899	57,5	115,9	4,6	9,7	17198	29
E. Triantha	Eucalyptus triantha	755	53,9	100,9	2,7	9,2	14617	8
E. Umbra	Eucalyptus umbra	889	42,7	90,4	3	9,4	14577	8
E. Urophylla	Eucalyptus urophylla	739	46	85,1	4,1	8,3	13166	86

Fonte: Adaptado de NBR 7190 (ABNT, 1997).

Onde:

ρ_{ap} (12%) é a massa específica a 12% de umidade;

f_{co} é a resistência à compressão paralela às fibras;

f_{t0} é a resistência à tração normal às fibras;

f_{t90} é a resistência à tração normal às fibras;

f_v é a resistência ao cisalhamento;

E_{c0} é o módulo de elasticidade longitudinal obtido no ensaio de compressão paralela às fibras;

n é o número de corpos-de-prova ensaiados.

Para um dimensionamento de âmbito geral, é possível adotar uma classe de resistência para a madeira e utilizar também os valores fornecidos pela NBR 7190/1997. Elas são divididas em coníferas e dicotiledôneas. É nesta última em que o eucalipto se encaixa e os valores ditados pela norma são representados pela Tabela 07.

Tabela 07: Dicotiledôneas (Valores na condição-padrão de referência U=12%)

Classes	F_{c0k} (MPa)	F_{vk} (MPa)	$E_{c0,m}$ (MPa)	$\rho_{bas,m}$ (kg/m ³)	$\rho_{parente}$ (kg/m ³)
C 20	20	4	9500	500	650
C 30	30	5	14500	650	800
C 40	40	6	19500	750	950
C 60	60	8	24500	800	1000

Fonte: Adaptado de NBR 7190 (ABNT, 1997).

De acordo com Calil Junior (2006) o módulo de elasticidade da madeira é o que determina o seu comportamento na fase elástico-linear e é necessário conhecer o módulo na direção paralela (E_0) e normal (E_{90}) às fibras. De acordo com item 6.1.4 da NBR 7190 (ABNT, 1997), caso não houver dados da determinação experimental do módulo de elasticidade na direção normal às fibras a seguinte relação pode ser utilizada:

$$E_{90} = \frac{1}{20} E_0 \quad (6)$$

Todos os valores relativos às propriedades de resistência e elasticidade da madeira apresentados neste trabalho são referentes à umidade padrão de 12%. A NBR 7190 (ABNT, 1997) determina a correção da umidade nos casos em que as propriedades são obtidas com teor diferente de umidade ($10\% \leq U \leq 20\%$) através das expressões 7 e 8. Para valores de umidade superior a 20% admite-se como desprezível as variações nas propriedades da madeira.

$$f_{12} = f_{U\%} \left[1 + \frac{3(U\% - 12)}{100} \right] \text{ (resistência)} \quad (7)$$

$$E_{12} = E_{U\%} \left[1 + \frac{2(U\% - 12)}{100} \right] \text{ (elasticidade)} \quad (8)$$

2.3.4.1 Valores de cálculo

A forma com que se comportam as estruturas variam conforme muitos fatores. Estes podem ser de acordo com as características do material utilizado, mas também devido a influências externas. Assim, devem ser utilizados coeficientes para adaptar os valores de resistência das madeiras de acordo com cada caso.

O coeficiente de modificação K_{mod} influencia nos valores de cálculo das propriedades da madeira em função da classe de carregamento da estrutura, da classe de umidade admitida, e do eventual emprego de madeira de segunda qualidade. O K_{mod} é formado pelo produto da Equação 9.

$$K_{mod} = K_{mod,1} \times K_{mod,2} \times K_{mod,3} \quad (9)$$

O $K_{mod,1}$, leva em consideração a classe de carregamento e o tipo de material empregado, conforme apresentado na Tabela 08. A classe de umidade e o tipo de material empregado influenciam no valor do coeficiente parcial de modificação $K_{mod,2}$ (Tabela 09). Já o coeficiente de modificação $K_{mod,3}$ considera se a madeira

é de primeira ou segunda categoria. Tratando-se de madeira de segunda categoria, admite-se $K_{mod,3}=0,8$ e, no caso de primeira categoria, $K_{mod,3}= 1,0$.

Tabela 08: Valores de $K_{mod,1}$ (conforme classe de carregamento)

Classes de carregamento	Tipos de madeira	
	Madeira serrada Madeira laminada colada Madeira compensada	Madeira recomposta
Permanente	0,60	0,30
Longa duração	0,70	0,45
Média duração	0,80	0,65
Curta duração	0,90	0,90
Instantânea	1,10	1,10

Fonte: Adaptado de NBR 7190 (ABNT, 1997).

Tabela 09: Valores de $K_{mod,2}$ (conforme classe de umidade)

Classes de umidade	Tipos de madeira	
	Madeira serrada Madeira laminada colada Madeira compensada	Madeira recomposta
(1) e (2)	1,0	1,0
(3) e (4)	0,8	0,9

Fonte: Adaptado de NBR 7190 (ABNT, 1997).

Obs: Caso a madeira serrada seja utilizada submersa, deve-se adotar $K_{mod,2}= 0,65$.

Segundo NBR 7190 (ABNT, 1997) madeira de primeira categoria é aquela que todas as peças estruturais são classificadas como isentas de defeitos, por meio de método visual normalizado, e também submetidas a uma classificação mecânica que garanta a homogeneidade da rigidez das peças que compõem o lote de madeira a ser empregado. Não se permite classificar as madeiras como de primeira categoria apenas por meio de método visual de classificação.

Em se tratando de coníferas na forma de peças estruturais maciças de madeira serrada o coeficiente de modificação sempre deve ser tomado como $K_{mod,3}= 0,8$ devido ao risco da presença de nós de madeira não detectáveis pela inspeção visual.

Os valores dos esforços atuantes também devem ser modificados antes da sua utilização no dimensionamento. Eles devem ser majorados de acordo com os coeficientes de ponderação.

Para estados limites de utilização adota-se o valor básico de $\gamma_w= 1,0$. Já para estados limites últimos os valores dos coeficientes de ponderação são definidos de acordo com o tipo de solicitação:

Compressão paralela às fibras: $\gamma_{wc} = 1,4$

Tração paralela às fibras: $\gamma_{wt} = 1,8$

Cisalhamento paralelo às fibras: $\gamma_{wv} = 1,8$

Assim, define-se as propriedades das madeiras. Nas verificações de segurança que dependem da rigidez da madeira, o módulo de elasticidade na direção paralela às fibras deve ser tomado como:

$$E_{c0,ef} = K_{mod} \times E_{co,m} = K_{mod,1} \times K_{mod,2} \times K_{mod,3} \times E_{co,m} \quad (10)$$

Valores de cálculo das propriedades da madeira são definidos como:

$$X_d = K_{mod} \frac{X_k}{\gamma_w} \quad (11)$$

Onde:

X_d = valor de cálculo.

X_k = valor característico.

Assim, temos a condição de segurança abaixo, onde os esforços atuantes (R_d) devem ser, no máximo, iguais ao esforço resistente de cálculo (X_d).

$$X_d \geq R_d \quad (12)$$

2.3.5 Linhas de Influência

De acordo com Pappalardo Jr (2011), se faz necessário verificar as posições mais desfavoráveis para as cargas que têm variação espacial, ditas cargas móveis, de modo a resultar numa situação de máximo ou mínimo esforço solicitante para a seção do elemento estrutural estudado. Alguns exemplos de cargas móveis são: carregamentos rodoviários e ferroviários, multidão de pessoas sobre arquibancadas e passarelas, dentre outras.

O dimensionamento de estruturas sob a ação de cargas móveis exige uma análise rigorosa dos esforços atuantes. O procedimento consiste em determinar a posição em que estas cargas irão provocar os valores limites de determinado esforço interno em uma dada seção transversal através de um gráfico que representa o esforço nesta seção conforme a variação da posição de uma carga unitária. Chamamos este gráfico de *linha de influência* (MARTHA, 2010).

A Figura 13 representa uma viga simplesmente apoiada de vão L , com carga unitária a uma distância variável x do apoio A.

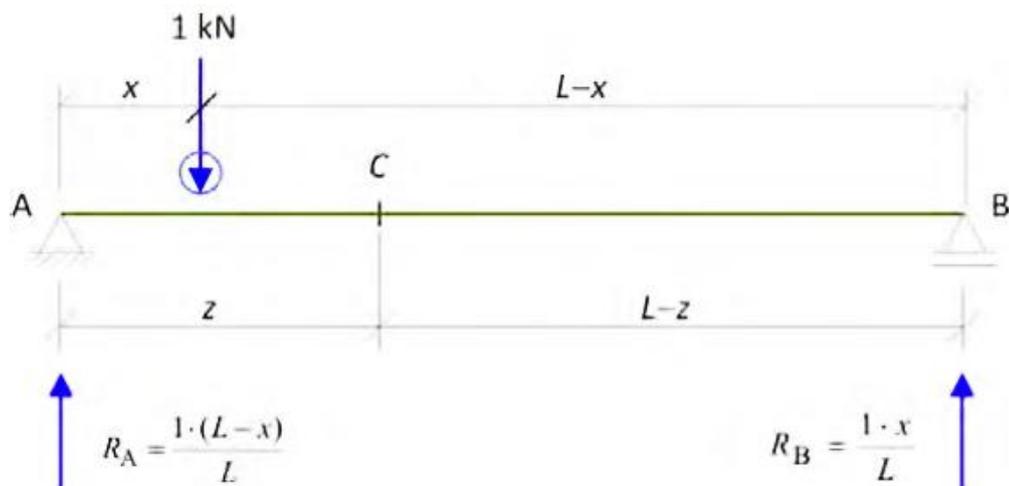


Figura 13: Viga simplesmente apoiada de vão L
Fonte: PAPPALARDO JR, 2011.

Percebe-se que os valores das reações variam com x e, conseqüentemente, provocam alteração nos valores de força cortante e momento fletor.

3 METODOLOGIA DE PESQUISA

Em relação aos objetivos propostos, o presente trabalho caracteriza-se como pesquisa exploratória que, segundo Gil (2002), “tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a constituir hipóteses.”.

Levando em consideração os procedimentos técnicos, têm-se uma pesquisa bibliográfica e experimental. Sendo o objeto de estudo a ponte de madeira de eucalipto, foi realizado o levantamento de todos os dados como as características da madeira e as solicitações decorrentes do seu uso, do ambiente e de outros sistemas para, a partir daí, selecionar e avaliar as variáveis que são capazes de influenciá-lo.

Os procedimentos de coleta e análise das informações têm abordagem qualitativa, num processo de redução, categorização e interpretação dos dados.

Este trabalho limita-se ao dimensionamento da superestrutura de pontes de madeira roliça de *Eucalyptus* para estradas vicinais na região Sudoeste do estado do Paraná. Não serão tratados os elementos que compõem a infraestrutura e mesoestrutura, por serem influenciadas por fatores locais.

3.1 ETAPAS DA PESQUISA

O presente trabalho desenvolveu-se, basicamente, em três etapas. Primeiramente, ocorreu o estudo da madeira de eucalipto, determinação da espécie mais indicada para a utilização nas pontes e, conseqüentemente, a obtenção dos dados de resistência referentes à mesma.

Dando prosseguimento à pesquisa, determinou-se o modelo geométrico ideal para a ponte, baseado nas necessidades de tráfego atuais e futuras. De posse deste modelo, foi então possível dimensioná-lo.

3.1.1 Estudo da Madeira

Desenvolvendo-se busca em institutos de pesquisa nacionais acerca das espécies existentes do gênero *Eucalyptus*, foram selecionadas as que podem ser cultivadas em solo argiloso e clima do subtropical ao temperado. Na sequência

ocorreu a realização de uma análise das características de desenvolvimento da planta nas condições climáticas (temperatura, precipitação, ocorrência de geadas) típicas da Região Sudoeste do Paraná. Também analisou-se as características mecânicas destas espécies com o intuito de determinar a(as) mais adequada(s) para a confecção das pontes. Definida a espécie, obteve-se várias informações a serem utilizadas nas etapas de dimensionamento da superestrutura.

3.1.2 Estudo da Geometria da Ponte

Para a formulação do modelo geométrico levou-se em consideração características dos veículos existentes no país, que poderão trafegar sobre as estradas vicinais da região Sudoeste do Paraná. A largura definida para o modelo da ponte foi influenciada pela distância externa entre rodas das máquinas agrícolas (bem mais largas que outros veículos). Já a dimensão do rodeiro levará em consideração também a distância interna das rodas desses maquinários e a distância dos eixos dos demais veículos. Os dados referentes a estas dimensões foram obtidos em catálogos das empresas fabricantes.

Na definição do intervalo de comprimento do vão a ser vencido considerou-se dados referentes às pontes existentes no município de Pato Branco além de limitações construtivas. Sendo que este vão não é o comprimento total da ponte, mas sim a distância entre dois apoios.

Foi determinado o posicionamento transversal das longarinas levando-se em consideração as várias formas de aplicação do trem-tipo, ou seja, os posicionamentos possíveis dos veículos que por ali irão trafegar.

3.1.3 Dimensionamento

Utilizando critérios requeridos pela NBR 7188/2013 o dimensionamento iniciou-se com a definição da classe de carregamento da ponte. A partir daí definiu-se o carregamento accidental. Concomitantemente realizou-se o levantamento das cargas permanentes, ou seja, o peso próprio dos elementos estruturais, onde as dimensões dos mesmos foram estimadas.

Após a determinação do carregamento, utilizou-se do software Ftool para a determinação dos esforços atuantes em cada parte da estrutura para cada tipo de

carregamento. Por conseguinte realizou-se a combinação das ações para, enfim, utilizar o valor mais alto de esforço no dimensionamento das peças.

Este, por sua vez, seguiu-se utilizando todos os critérios de verificação da NBR 7190/1997 e através de planilhas de cálculo confeccionadas pelos autores utilizando o software Microsoft Excel. Depois de definidas as dimensões das peças, ainda se fez necessário verificar se as dimensões estimadas inicialmente, não diferiam em mais de 10% do resultado encontrado.

3.1.4 Diagrama

Para melhor entendimento das etapas acima descritas, optou-se pela representação gráfica da metodologia. O diagrama é representado na Figura 14.

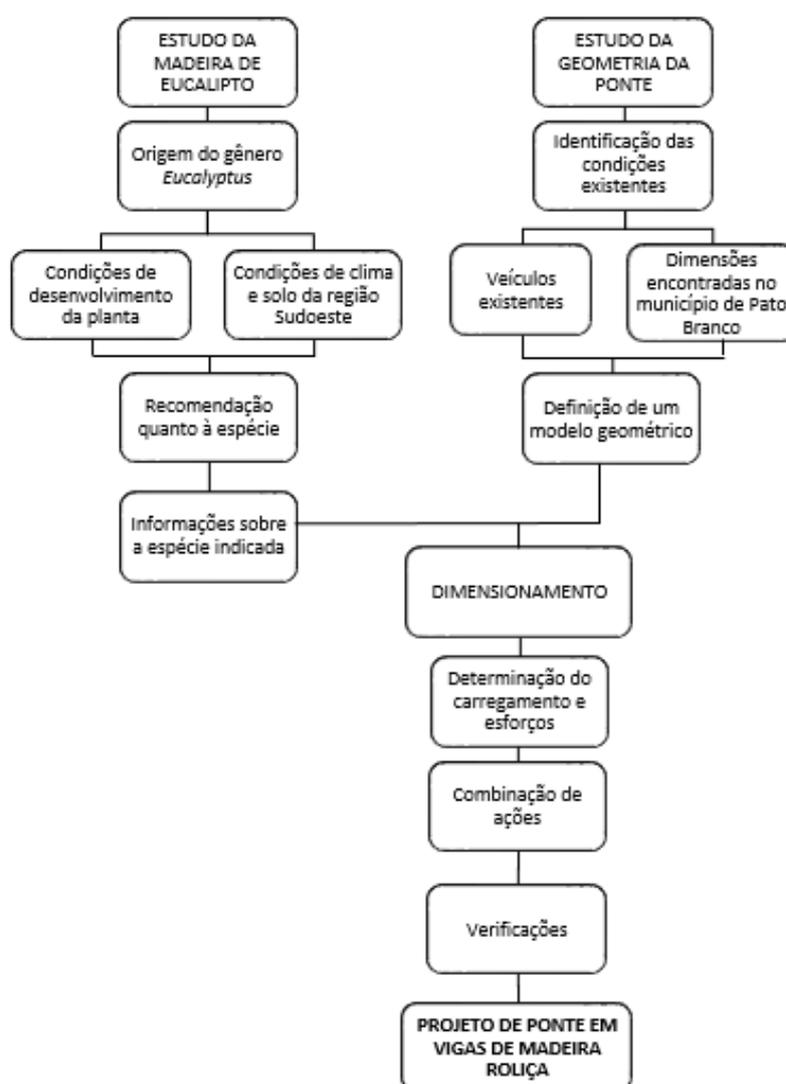


Figura 14: Diagrama das etapas da pesquisa
Fonte: Autores, 2015.

4 INDICAÇÃO DA ESPÉCIE DO GÊNERO *EUCALYPTUS*

O plantio de eucalipto, tanto em pequenas propriedades rurais quanto em grandes florestas plantadas, pode representar um investimento rentável, porém é preciso atenção e estudo no momento da escolha da espécie a ser plantada, de acordo com o objetivo de utilização e as condições da região. Para a Região Sul do Brasil, em número, são poucas as espécies que se adaptam às condições existentes. Focando no estado do Paraná, serão abordadas condições necessárias para *E. dunnii*, *E. benthamii*, *E. saligna*, *E. grandis* e *E. cloesiana* (PALUDZYSZYN FILHO et al, 2006).

Visando maior produtividade das florestas plantadas, surgiram os métodos de melhoramento de espécies. O Brasil pode ser considerado o grande laboratório do mundo no que diz respeito a pesquisas com o gênero *Eucalyptus*, onde universidades, institutos de pesquisa, empresas, laboratórios e associações colaboram entre si para o desenvolvimento do setor produtivo (FREITAS JUNIOR, 2011). De acordo com Oliveira (2014, pág. 17),

Os avanços tecnológicos nos processos de seleção de árvores, resgate de árvores superiores, avaliação de clones, produção de mudas e em práticas silviculturais adotadas na implantação e condução das florestas clonais garantem a elevada produtividade dos plantios de *Eucalyptus*.

Cardoso (2009) conta que o *E. benthamii* foi introduzido no Brasil pela Embrapa Florestas em 1988 como alternativa para florestas plantadas em regiões com grande ocorrência de geadas e as espécies do gênero têm sido muito utilizadas em programas de reflorestamento.

A espécie *E. cloesiana* representa uma árvore perene, de grande porte que pode atingir até 55m de altura e 1,5m de diâmetro. Ela se destaca devido a algumas características tecnológicas da sua madeira como durabilidade, densidade e resistência e pela capacidade da produção de toras com excelente aproveitamento. (OLIVEIRA, 2014). Porém IPEF (2014) afirma que a espécie não se adapta bem em regiões com grande deficiência hídrica e recomenda-se evitar locais com incidências de geadas e altitudes superiores a 1600m.

Atualmente o *E. dunnii* tem se destacado no sul do Brasil pelo rápido crescimento, tolerância às geadas, forma das árvores e uniformidade dos talhões (CARPANEZZI,1986). Segundo IPEF (2014), a espécie pode atingir 50m de altura e de 1 à 1,5 metros de DAP (Diâmetro à Altura do Peito), com fuste limpo de 30 a 35

metros. Reiner (2011) diz que é a espécie mais cultivada na região do município de Pato Branco, localizada no sudoeste do estado do Paraná.

De acordo com Paludzyszyn Filho et al (2006), o *E. grandis* é a espécie de eucalipto mais plantada em áreas tropicais e de transição para subtropicais no Brasil e em muitos outros países, apresenta rápido crescimento sob condições ambientais adequadas e um ótimo incremento volumétrico, boa forma de fuste, boa desrama natural, pequena quantidade de casca, elevado percentual de cerne e madeira apropriada para os mais variados usos.

O *E. Saligna* apresenta uma maior sensibilidade ao frio se comparado ao *E. dunnii*, sendo mais indicada para região de transição entre clima tropical e subtropical. A espécie apresenta crescimento menor que *E. grandis* em locais onde não ocorrem geadas de forte intensidade (PALUDZYSZYN FILHO et al, 2006).

De um modo geral, todas as espécies de eucalipto necessitam de uma boa disponibilidade de água e outros recursos naturais presentes no solo. O gênero tem por característica a fácil adaptação em diferentes climas e solos, sendo, no Brasil muito utilizado devido a isto. Porém, as informações sobre o clima da região são de extrema importância, principalmente na Região Sul onde as temperaturas são muito baixas e há grande ocorrência de geadas. Fenômeno ao qual são poucas as espécies de eucalipto que sobrevivem sem atraso no crescimento ou perda de qualidade (CARDOSO, 2009).

De acordo com um levantamento de dados no IAPAR, constatou-se que todo o estado é suscetível a geadas, podendo ocorrer de 10 a 25 vezes em um ano nas regiões de Curitiba, Campos Gerais e Sul, enquanto nas regiões Norte, Oeste e parte do Sudoeste este fenômeno é menos frequente. A Figura 15 trás um mapa esquemático do estado do Paraná com indicação da temperatura média observada historicamente em cada região, segundo o mesmo instituto.

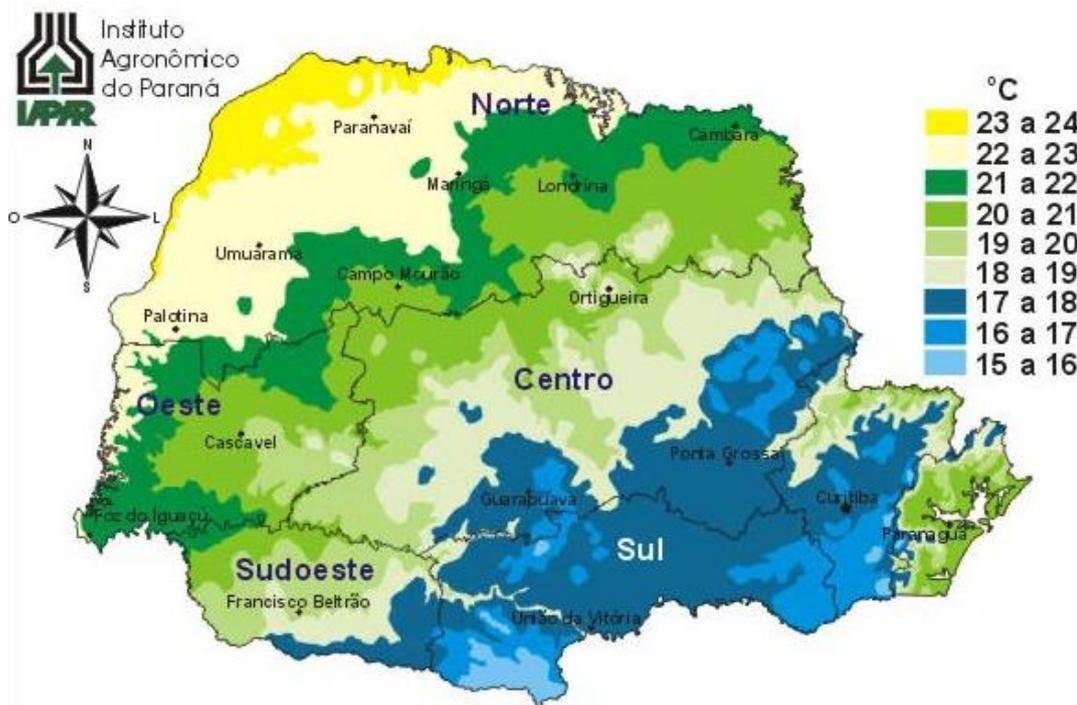


Figura 15: Temperatura média anual no estado do Paraná
 Fonte: IAPAR, 2014.

Em questão de índices pluviométricos o Paraná é um estado com chuvas uniformemente distribuídas durante os meses e as regiões. O mapa demonstrado na Figura 16 representa a precipitação média anual.

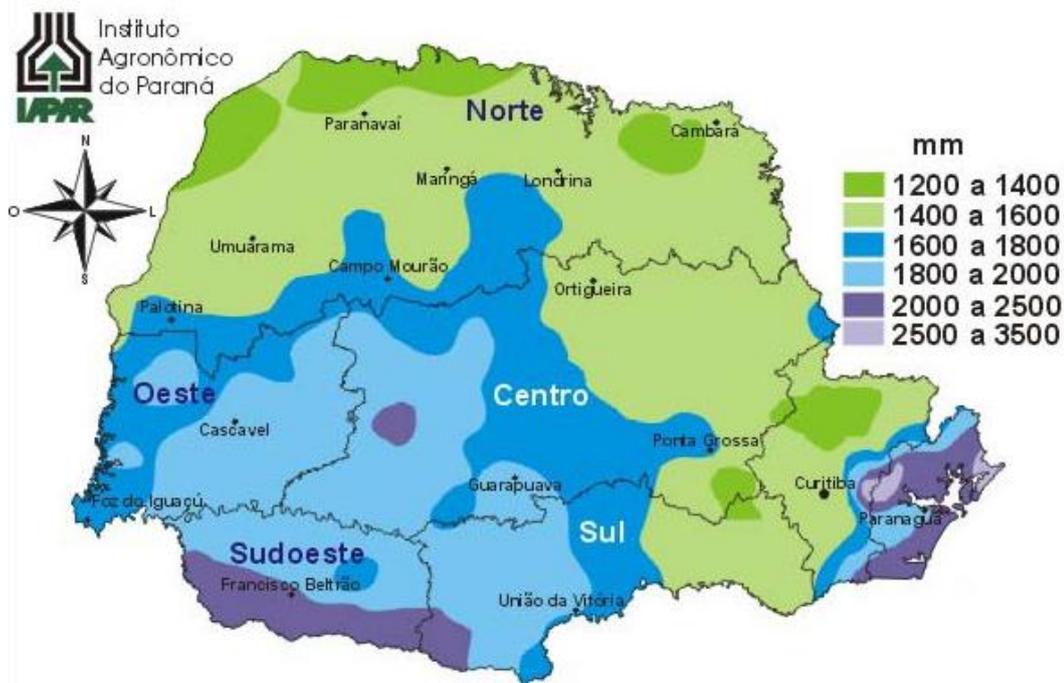


Figura 16: Precipitação média anual no estado do Paraná
 Fonte: IAPAR, 2014.

De acordo com Paludzyszyn Filho et al (2006) o aumento do plantio de eucalipto para fins comerciais e de pesquisa em vários continentes possibilitou ajustes em relação às variáveis climáticas de cada espécie. A Tabela 10 representa alguns parâmetros bioclimáticos necessários para cada espécie.

Tabela 10: Exigências climáticas ajustadas para cada espécie

Espécie	Precipitação média anual (mm)	Temperatura média das máximas do mês mais quente (°C)	Temperatura média das mínimas do mês mais frio (°C)	Temperatura média anual (°C)	Número de meses sem chuvas	Nº de geadas/ano suportadas sem danos
<i>E. dunnii</i>	845 a 1950	24 a 31	-1 a 17	12 a 22	0 a 5	22
<i>E. benthamii</i>	730 a 1010	26 a 30	-1 a 3	13 a 17	0 a 5	25
<i>E. saligna</i>	700 a 2300	23 a 34	-1 a 17	10 a 22	0 a 6	8
<i>E. grandis</i>	900 a 3730	22 a 34	0 a 16	12 a 25	0 a 5	0
<i>E. cloesiana</i>						0

Fonte: Adaptado de Paludzyszyn Filho, Santos e Ferreira (2006).

Devido ao objetivo final de utilização da madeira neste trabalho ser a confecção da superestrutura de pontes, o fator resistência mecânica também se torna decisivo na determinação da espécie mais indicada. Sendo assim, apresenta-se na Tabela 11 os valores de resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0}), que está diretamente relacionada com a situação crítica de dimensionamento.

Tabela 11: Características de resistência das espécies de Eucalipto

Nome Polular	Nome Científico	Resistência à geada	Solos	f_{c0} (Mpa) madeira seca	$\rho_{12\%}$ (kgf/m ³)
Eucalipto dunnii	<i>Eucalypto dunnii</i>	Tolerante	Profundos e férteis	48,9	690
Eucalipto benthamii	<i>Eucalypto benthamii</i>	Resistente	Profundos e férteis	37,5	não encontrado
Eucalipto saligna	<i>Eucalyptus saligna</i>	Moderada	Férteis, pesados e úmidos	49,2	731
Eucalipto grandis	<i>Eucalyptus grandis</i>	Moderada	Úmidos, bem drenados, férteis e profundos	40,3	640
Eucalipto cloesiana	<i>Eucalyptus cloeziana</i>	Moderada	Rasos e pedregosos	51,8	822

Fonte: Adaptado de MÜLLER et al, 2014; IPT, 2015 e ABNT, 1997.

Embora muito utilizado no país, o *E. grandis* não representa uma boa escolha em regiões com ocorrência de geadas e períodos de seca muito prolongados, sendo suscetível a doenças foliares e de tronco, além de apresentar defeitos na madeira serrada.

A pesar de a espécie *E. benthamii* apresentar ótima resistência a geadas – até 25 ocorrências por ano, segundo Tabela 10 – e às temperaturas da região, ela deixa a desejar no fator resistência mecânica, quando comparada com as demais

espécies estudadas. Indica-se o cultivo desta espécie para outros fins de utilização, como produção de lenha, por exemplo.

O *E. dunnii* é outra espécie bastante resistente a geadas. Esta se adapta bem ao clima e condições do estado do Paraná por não haver regiões com precipitações anuais acima da máxima indicada para espécie (Tabela 10), com exceção do litoral onde a média anual ultrapassa os 2000mm. (QUADROS et al., 2005). Destaca-se também a sobrevivência da espécie em períodos de estiagem, pois se desenvolve por até cinco meses sem chuvas. Além disso, o valor da resistência à compressão da madeira do *E dunnii* é consideravelmente alto, conforme pode-se observar na Tabela 08. Reiner et al (2011) afirma que é a espécie mais cultivada na região Sudoeste do Paraná.

O *E. cloesiana* seria a espécie mais indicada para a confecção das pontes, caso se analisasse somente o valor de sua resistência mecânica que, dentre as espécies aqui estudadas, é a maior (Tabela 11). Porém, ela não é resistente a geadas, sendo que uma ocorrência traz prejuízos para o desenvolvimento da planta.

Por fim, o *E. saligna* é uma espécie que se adapta em locais com precipitação média anual variáveis – de 700 a 2300mm por ano, conforme Tabela 10 – e apresenta uma ótima resistência mecânica (Tabela 11). Porém o fator geada pode provocar deficiências no desenvolvimento da espécie. Pode-se observar, ainda na Tabela 10, que esta espécie resiste a 8 geadas por ano, sendo, então, indicada para o plantio em regiões ao norte do estado do Paraná.

Levando-se em consideração os fatores climáticos acima abordados, que são determinantes para o desenvolvimento das diferentes espécies de eucalipto e analisando aspectos físicos como a resistência mecânica, necessária para o uso estrutural da madeira, recomenda-se o plantio da espécie *Eucalyptus dunnii* para a utilização na construção das pontes, objeto de estudo deste trabalho.

5 CONCEPÇÃO GEOMÉTRICA

Segundo Milani (2010) dentre as inúmeras causas das patologias encontradas em pontes do município de Pato Branco, pode-se destacar certa deficiência nos projetos, onde as cargas atuantes são muito maiores que as consideradas e as dimensões existentes não condizem com necessidades dos veículos que por ali trafegam.

A Figura 17 demonstra as larguras dos rodeiros das pontes de madeira existentes no município de Pato Branco, sendo essa largura considerada como a distância entre as bordas externas dos rodeiros como ilustrado na Figura 18.

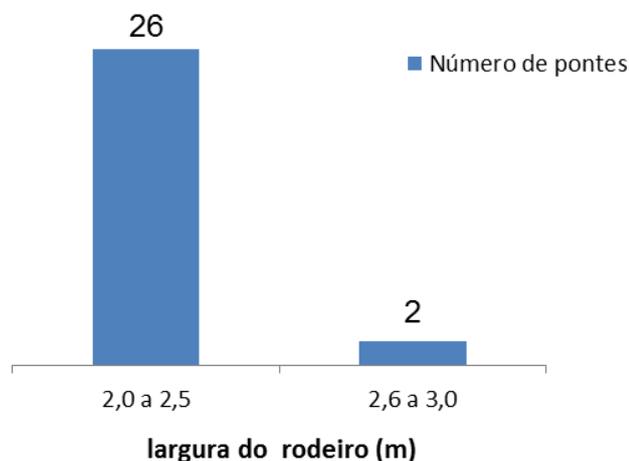


Figura 17: Largura do rodeiro das pontes de madeira do município de Pato Branco – PR
Fonte: Adaptado de Milani, 2010.



Figura 18: Representação da largura do rodeiro
Fonte: Adaptado Milani, 2010.

De acordo com pesquisa realizada através de catálogos das principais empresas fabricantes de maquinário agrícola, pôde-se observar que as maiores larguras advêm das colheitadeiras e são caracterizadas pela distância externa entre seus pneus dianteiros.

A Tabela 12 apresenta dados de largura e peso de algumas colheitadeiras disponíveis no mercado brasileiro de acordo com catálogos de especificações técnicas das empresas fabricantes. Dados contidos nesta tabela são ilustrados pela Figura 19.

Tabela 12: Dados de largura e peso de colheitadeiras modernas

Marca	Modelo	Tipo de pneu	Largura entre pneus dianteiros (extremidade externa (b)/ interna (a) em metros)	Peso (Kg)
CASE	AXIAL-FLOW 7120	Duplo-520/85R42	5,14 - 3,617	14943
CASE	AXIAL-FLOW 8120	Duplo-520/85R42	5,14 - 3,617	16488
MASSEY FERGUSON	MF- 9795	Duplo-520/85R42	5,23 - 2,53	19420
MASSEY FERGUSON	MF- 9895	Duplo-620/70R42	5,35 - 2,41	19540

Fonte: Case, 2015; Massey Ferguson, 2015.



Figura 19: Distância interna (a) e externa (b) entre pneus

Fonte: Massey Ferguson, 2015.

Ao se comparar a largura entre pneus (externamente) das colheitadeiras modernas e os dados fornecidos por Milani (2010) referente à largura dos rodeiros das pontes de madeira do município de Pato Branco, percebe-se que os mesmos não possuem a largura mínima para possibilitar o translado destes veículos. Muitos agricultores ao forçar a passagem, acabam danificando o tabuleiro das pontes, como pode ser visto nas Figuras 20 e 21.



Figura 20: Colheitadeira passando em ponte com parte dos pneus para o lado de fora
Fonte: Jornal do Oeste, 2014.



Figura 21: Ponte que quebrou durante a travessia de uma colheitadeira
Fonte: Veja Coronel, 2015.

As Figuras 22 e 23 a seguir evidenciam danos no tabuleiro de algumas pontes do município de Pato Branco provocados pela deficiência de projetos e pelo mau uso, visto que dimensões existentes não atendem às necessidades dos veículos que por ali trafegam.



Figura 22: Danos nos tabuleiros em pontes do município de Pato Branco (1)
Fonte: Milani, 2010.



Figura 23: Danos nos tabuleiros em pontes do município de Pato Branco (2)
Fonte: Milani, 2010.

Sendo assim a compra e utilização de alguns maquinários agrícolas na região acaba sendo limitada pela restrição de largura e qualidade das estradas, gerando prejuízos tanto para os agricultores que se limitam a equipamentos de menor porte, como para as indústrias que deixam de vender seus produtos de última geração com maior dimensão.

Deste modo os autores propõem um projeto da superestrutura de pontes em madeira roliça de Eucalipto para ser aplicado nas estradas vicinais da região Sudoeste.

5.1 DEFINIÇÃO DA LARGURA E DA DISPOSIÇÃO DO TABULEIRO E RODEIRO

Para determinação da largura do rodeiro levou-se em consideração a maior distância entre pneus dianteiros (externamente) das colheitadeiras que é de 5,35m, conforme Tabela 12. O modelo proposto pode ser visto na Figura 24 e possui uma largura externa entre rodeiros de 5,50m, sendo formado por uma faixa central livre de 1,0m definida para permitir que os automóveis possam transitar sobre o rodeiro e mais duas faixas laterais com 2,25m cada.

A largura total da ponte é de 6,50m acrescida do diâmetro do guarda-rodas.

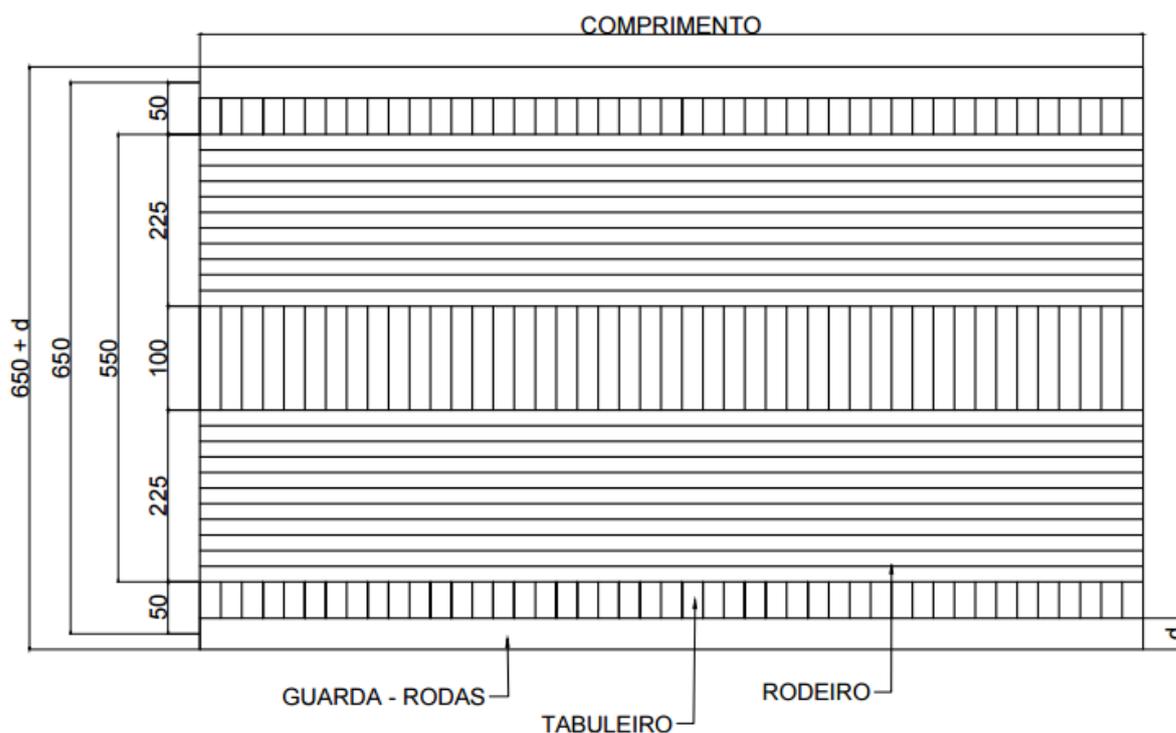


Figura 24: Definição da largura e disposição do tabuleiro, rodeiro e guarda-rodas
Fonte: Autores, 2015.

As dimensões propostas permitem que todos os tipos de veículos trafeguem com segurança e não danifiquem a superestrutura da ponte. A Figura 25 ilustra uma colheitadeira (maior veículo) sobre a ponte, enquanto que a Figura 26 demonstra o posicionamento de um automóvel comum.

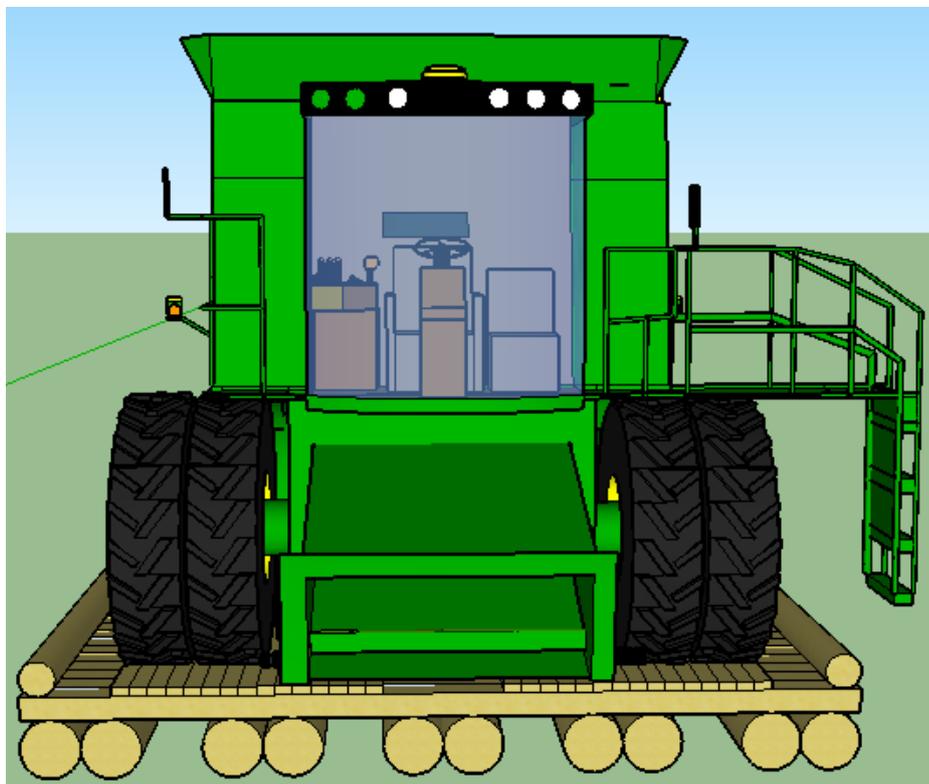


Figura 25: Posicionamento do maior veículo tipo sobre a ponte
Fonte: Autores, 2015.

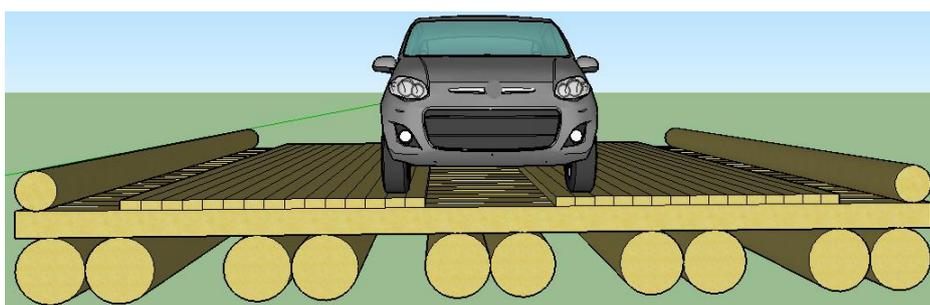


Figura 26: Automóvel posicionado sobre a ponte
Fonte: Autores, 2015.

5.2 DISPOSIÇÃO DAS LONGARINAS

As longarinas foram dispostas de forma que os espaçamentos entre cada duas peças fossem iguais e garantindo que em qualquer caso de posicionamento do veículo-tipo, a carga seja suportada por duas peças. Esta disposição pode ser vista na Figura 27, que representa a seção transversal da superestrutura da ponte.

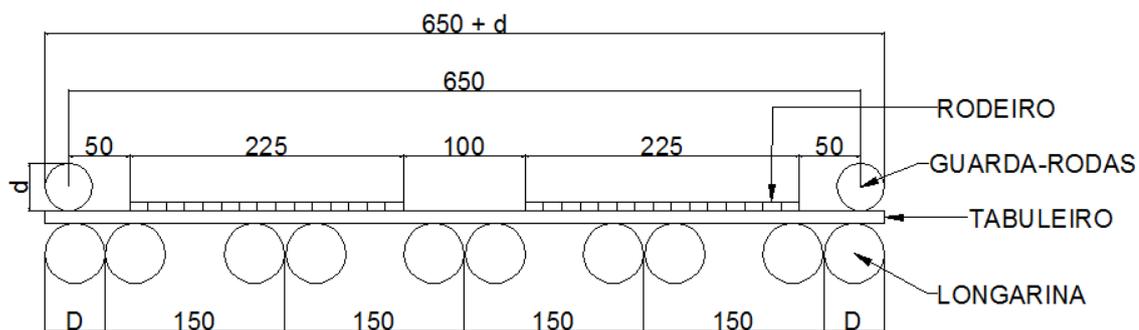


Figura 27: Seção transversal do modelo de superestrutura proposto
Fonte: Autores, 2015.

5.3 COMPRIMENTO

De acordo com Costa e Bessa (2013), em Pato Branco/PR há uma empresa que emprega o método de tratamento de impregnação por autoclave onde o equipamento utilizado possui 2 metros de diâmetro e comprimento total de 9 metros. A Figura 28 ilustra o tratamento de Eucalipto sendo realizado pela empresa.



Figura 28: Auto Clave – Tratamento de Eucalipto
Fonte: COSTA e BESSA, 2013.

Milani (2010) em sua pesquisa nas pontes do Município de Pato Branco detectou que apenas 3,70% das pontes de madeira possuem vão livre maior que 9 metros e que cerca de 81,5% compreende-se entre 5 e 9 metros, conforme explicitado na Figura 29.

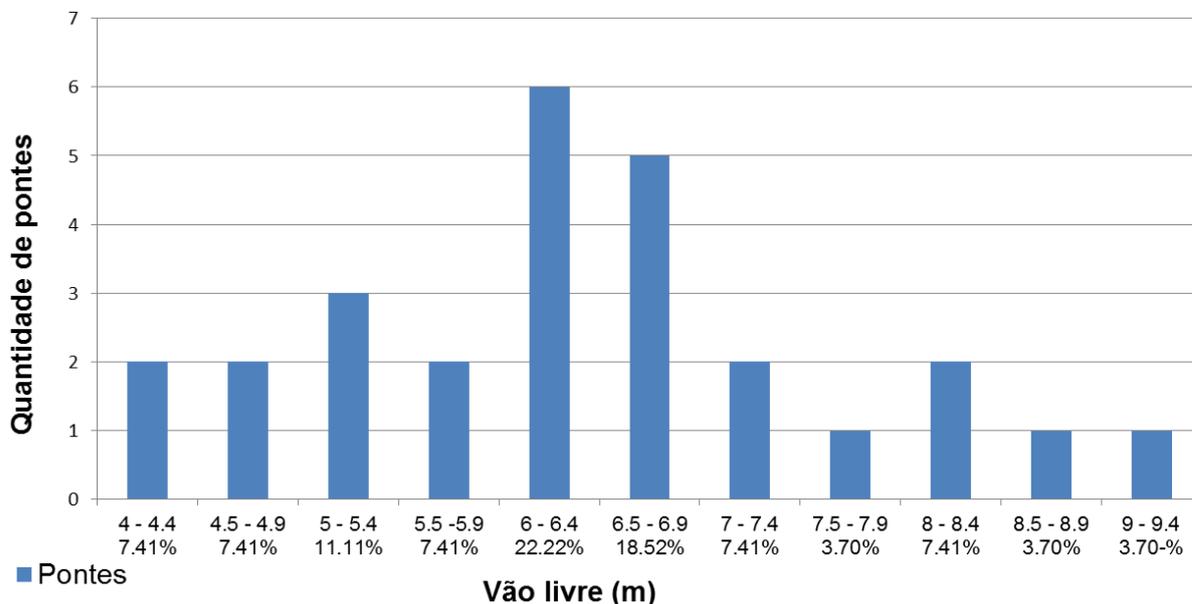


Figura 29: Vão livre das pontes de madeira do Município de Pato Branco/PR
Fonte: Adaptado de Milani, 2010.

Deste modo será realizado o dimensionamento para vãos livres de 5 a 9 metros buscando permitir que todas as peças utilizadas possam ser tratadas e abrangendo a grande maioria dos vãos a ser vencidos nas estradas vicinais.

Para vãos menores que 5 metros poderão ser adotados os diâmetros equivalentes a este comprimento. No caso de vãos maiores que 9 metros, deve-se estudar a implantação de um apoio intermediário, resultando num vão livre da superestrutura com metade do valor do comprimento da ponte.

6 DIMENSIONAMENTO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS

Este dimensionamento será realizado com base nos dados referentes à espécie *E. dunnii*, a qual foi indicada pelos autores no item 4. Portanto, a Tabela 13 traz os valores característicos de resistência da mesma.

Tabela 13: Valores de resistência característicos do *E dunnii* (Mpa), com 15 corpos de prova ensaiados

$f_{c0,k}$	$f_{v,k}$	$f_{t0,k}$	$E_{c0,m}$
48,9	9,8	139,2	18029

Fonte: Adaptado de NBR 7190 (ABNT, 1997).

Para a consideração das cargas será utilizado o maior trem tipo determinado pela NBR 7188 (ABNT, 2013). Embora na definição da geometria da ponte levou-se em consideração as dimensões das colheitadeiras, a carga do veículo tipo é muito maior que das mesmas, além disso, a área de contato dos pneus é menor. Para efeito de comparação, a Tabela 14 apresenta estes valores, anteriormente citados nas Tabelas 02 e 12.

Tabela 14: Comparação entre a maior colheitadeira e o trem tipo TB-450

	Carga por eixo (kN)	Largura de contato do pneu (m)
Colheitadeira	97,7	1,47
TB-450	150	0,50

Fonte: Adaptado da NBR 7188 (ABNT, 2013); Case, 2015 e Massey Ferguson, 2015.

6.1 RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO

Segundo apontado no item 2.3.3.1 deste trabalho, deve-se utilizar de coeficientes para a minoração da resistência de cálculo das madeiras. Para carregamentos normais, considera-se carregamento de longa duração (K_{mod1}). Considera-se umidade ambiente padrão ($U=12\%$), ou seja, classe de umidade 1 (K_{mod2}). Ainda têm-se a questão da qualidade da madeira (K_{mod3}), a respectiva norma (ABNT,1997) somente permite a consideração de madeira de primeira qualidade quando todas as peças forem classificadas como “isentas de defeitos” através de métodos normatizados, sendo assim adotou-se madeira de segunda categoria. Por conseguinte, a Tabela 15 apresenta os valores dos coeficientes de modificação utilizados.

Tabela 15: Valores adotados para os coeficientes de modificação

Coeficiente	Valor
$K_{mod,1}$	0,70
$K_{mod,2}$	1,00
$K_{mod,3}$	0,80
K_{mod}	0,56

Fonte: Autores, 2015.

Além do K_{mod} há o coeficiente de ponderação, este está definido também no item 2.3.3.1. De posse dos valores dos coeficientes acima citados é possível determinar os valores das resistências de cálculo (Tabela 16), conforme equações 10 e 11.

Tabela 16: Valores de resistência de cálculo (Mpa)

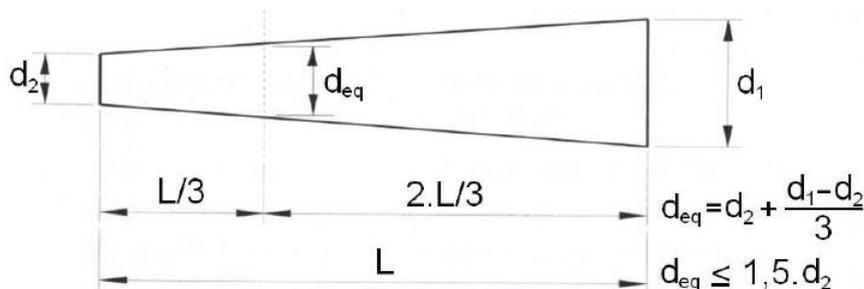
$f_{c0,d}$	$f_{v,d}$	$f_{t0,d}$	$E_{c0,ef}$
19,56	3,92	55,68	10096,24

Fonte: Autores, 2015.

6.2 DIMENSIONAMENTO DAS LONGARINAS

Assim como definido no Quadro 02 e ilustrado na Figura 09, as longarinas são formadas por peças roliças de madeira dispostas no sentido longitudinal e exercem a função de suportar o peso próprio da estrutura, bem como as cargas acidentais e seus efeitos dinâmicos. Desde modo, o dimensionamento das mesmas se dará segundo as seguintes hipóteses:

- O diâmetro de referência para o cálculo estrutural será o diâmetro equivalente à seção situada a distância de $1/3$ da extremidade mais delgada (d_{eq} , Figura 30);

**Figura 30: Diâmetro equivalente (d_{eq})**

Fonte: Calil Junior e Brito, 2010.

- Para cada roda do veículo-tipo, têm-se duas vigas para suportar as cargas;

- Apesar de o tabuleiro e rodeiro ajudarem na distribuição das cargas para as demais longarinas adjacentes, este efeito será desconsiderado.

6.2.1 Levantamento das cargas

6.2.1.1 Permanentes

O carregamento permanente constitui-se do peso próprio da longarina somado ao peso dos demais elementos fixos da ponte. Se tratando de uma viga, esta carga deverá ser linearmente distribuída, conforme representação da Figura 31. É obtida através da multiplicação do volume da madeira por seu peso específico (690 kgf/m³, conforme Tabela 06) e posterior divisão pelo vão.

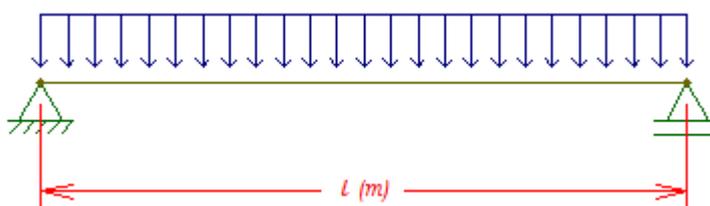


Figura 31: Disposição da carga permanente
Fonte: Autores, 2015.

Para a determinação do peso próprio, utilizou-se o diâmetro equivalente (d_{eq}) definido, para cada vão, por um pré-dimensionamento. A Equação do peso próprio é extremamente simples.

$$Pp = \frac{\rho \pi r^2 l}{l} \quad (13)$$

Onde:

Pp = peso próprio (kgf/m)

ρ = peso específico (kgf/m³)

r = raio; $d_{eq}/2$ (m)

l = vão (m)

Para encontrar o peso dos demais elementos da ponte, utilizou-se da faixa de maior carga, com 75 cm de largura, composta por rodeiro e tabuleiro com espessura estimada de 5 e 12,5 cm, respectivamente. Sendo assim, o peso dos elementos fixos da ponte é dado pela Equação 14.

$$Pe = \frac{\rho hbl}{l} \quad (14)$$

Onde:

P_e = peso dos elementos fixos (kgf/m)

ρ = peso específico (kgf/m³)

h = espessura do rodeiro + tabuleiro (m)

b = largura da faixa de carga (m)

Por conseguinte, a carga permanente será a soma destas duas cargas (P_p+P_e), representada por P e apresentada na Tabela 17 com seu respectivo valor para cada vão a ser dimensionado.

Vão (m)	d_{eq} (m)	ρ (kgf/m ³)	P_p (kgf/m)	P_e (kgf/m)	g (kN/m)
5,0	0,45	690	109,74	90,56	2,00
5,5	0,50	690	135,48	90,56	2,26
6,0	0,50	690	135,48	90,56	2,26
6,5	0,55	690	163,93	90,56	2,54
7,0	0,55	690	163,93	90,56	2,54
7,5	0,55	690	163,93	90,56	2,54
8,0	0,60	690	195,09	90,56	2,86
8,5	0,60	690	195,09	90,56	2,86
9,0	0,65	690	228,96	90,56	3,20

Fonte: Autores, 2015.

6.2.1.2 Acidentais

Definido no item 2.3.2.2, o carregamento acidental deve ser aplicado da forma mais crítica, de acordo com a teoria de linhas de influência (também abordada no item 2.3.5). Desta forma, para o dimensionamento da longarina, têm-se um pior caso para o momento fletor quando o trem-tipo está posicionado exatamente no meio do vão (Figura 32) e para o esforço cortante, quando o posicionamento se dá a $2d_{eq}$ do apoio, de acordo com Calil Junior (2006) e como mostra a Figura 33.

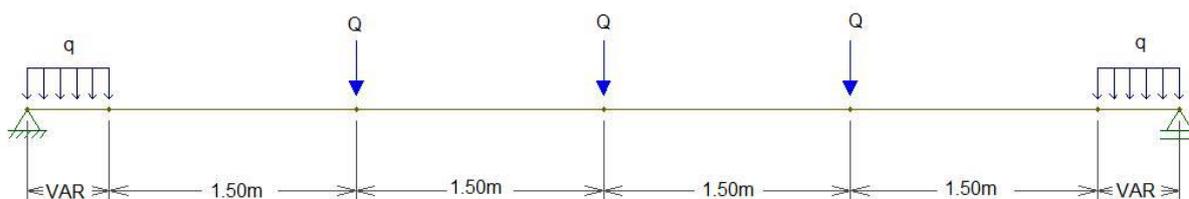


Figura 32: Posicionamento crítico do trem-tipo para o cálculo do momento fletor
Fonte: Autores, 2015.

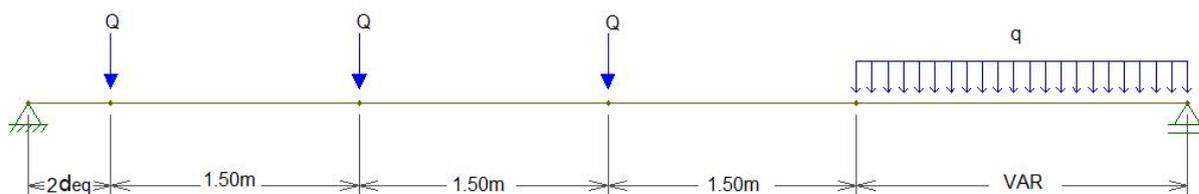


Figura 33: Posicionamento crítico do trem-tipo para o cálculo do esforço cortante
Fonte: Autores, 2015.

Ainda segundo item 2.3.2.2 é preciso majorar as cargas acidentais por três coeficientes: coeficiente de impacto vertical (CIV), coeficiente de número de faixas (CNF) e coeficiente de impacto adicional (CIA), conforme equações 01 e 02.

Devido ao vão máximo de 9,00 m, CIV=1,35. Sendo somente uma faixa de tráfego, CNF=1,05, conforme Equação 3. Considerando infraestrutura de concreto e superestrutura de madeira, temos ponte mista, ou seja, CIA=1,25. Desta forma, define-se o carregamento acidental (Equações 15 e 16).

$$Q = 75 \times 1,35 \times 1,05 \times 1,25 = 132,89 \text{ kN} \quad (15)$$

$$q = 5 \times 1,35 \times 1,05 \times 1,25 = 8,86 \text{ kN/m}^2 \quad (16)$$

A carga q está distribuída em área, deve-se transformá-la em uma carga linearmente distribuída em cada viga. Para isto, utiliza-se de uma faixa de carga de 75 cm a qual está demonstrada na Figura 34. Por conseguinte, a carga distribuída por metro é definida de acordo com a Equação 17 e não depende do vão.

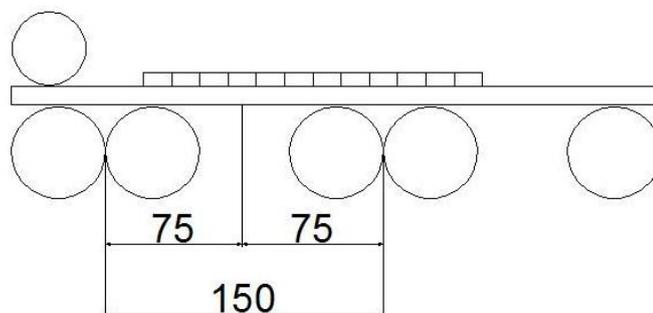


Figura 34: Faixa de carga para longarinas
Fonte: Autores, 2015.

$$q \text{ (kN/m)} = q \text{ (kN/m}^2) \times \frac{b \times l}{l} = 8,86 \times 0,75 = 6,65 \text{ kN/m} \quad (17)$$

De acordo com as hipóteses de cálculo, a carga Q é suportada por duas vigas, portanto ela deve ser dividida por 2. Sendo assim, $Q = 66,45 \text{ kN}$.

6.2.2 Esforços Máximos

A modelagem estrutural foi elaborada utilizando o *software* Ftool. A Figura 35 representa as curvas dos gráficos dos esforços de momento fletor e esforço cortante para as cargas acidentais e permanentes. Da mesma forma, a Tabela 18 apresenta os valores destes esforços para cada vão.

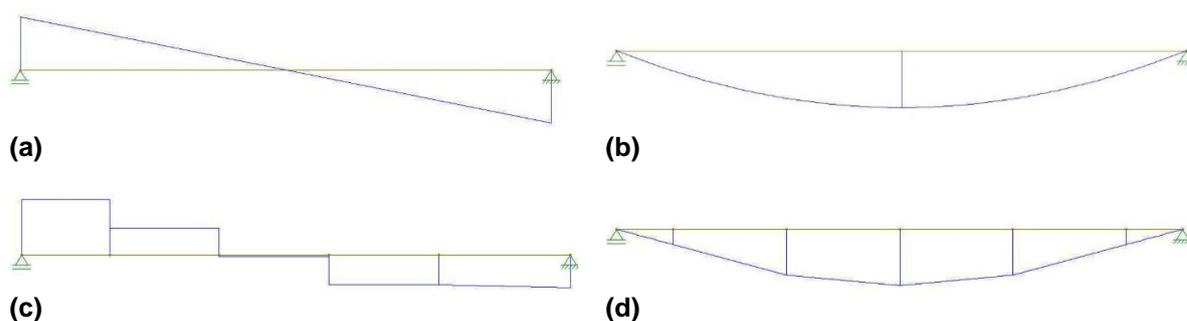


Figura 35: Formato dos gráficos (a) esforço cortante para carga permanente; (b) momento fletor para carga permanente; (c) esforço cortante para carga acidental; (d) momento fletor para carga acidental

Fonte: Autores, 2015.

Tabela 18: Esforços solicitantes

Vão (m)	Permanente		Acidental	
	EC (kN)	MF (kN.m)	EC (kN)	MF (kN.m)
5,0	5,01	6,26	99,67	149,51
5,5	6,22	8,55	105,11	174,43
6,0	6,78	10,17	113,05	199,35
6,5	8,27	13,44	116,87	224,48
7,0	8,91	15,59	123,26	250,02
7,5	9,54	17,89	129,02	275,98
8,0	11,43	22,85	134,27	302,35
8,5	12,14	25,80	136,53	329,14
9,0	14,38	32,35	141,11	356,34

Fonte: Autores, 2015.

6.2.2.1 Combinação de ações

Assim como abordado no item 2.3.3, a NBR 7190/1997 traz diretrizes para a combinação das ações em uma estrutura de madeira. Considerando combinação normal e ação de grande variabilidade, o coeficiente de majoração da carga permanente (γ_g) será de 1,4. Para a carga acidental, igualmente em situação de combinação normal o coeficiente de majoração (γ_q) também será igual a 1,4.

Sendo somente uma ação variável, não há a necessidade do fator de combinação de utilização (ψ_n). Porém, este carregamento acidental é considerado de curta duração, deste modo, a respectiva norma permite que se minore o valor desta ação a fim de que a resistência da madeira possa ser considerada como correspondente apenas à ação de longa duração (ação permanente). Será utilizado um coeficiente igual a 0,75 para este fim. Por conseguinte, a Tabela 19 apresenta os valores dos esforços combinados e majorados para cada vão.

Tabela 19: Esforços solicitantes combinados

Vão (m)	Vd (kN)	Md (kN.m)
5,0	111,66	165,75
5,5	119,07	195,12
6,0	128,20	223,56
6,5	134,29	254,52
7,0	141,89	284,34
7,5	148,83	314,83
8,0	156,98	349,46
8,5	160,35	381,71
9,0	168,30	419,45

Fonte: Autores, 2015.

6.2.3 Verificações

6.2.3.1 Momento fletor

Para a confirmação de que o diâmetro adotado será suficiente para resistir aos esforços solicitantes, é necessário que haja uma verificação onde a tensão atuante na peça não poderá ultrapassar a tensão admissível da madeira para tração e compressão. Ou seja:

$$\sigma_c \leq f_{cd} \quad (18)$$

$$\sigma_t \leq f_{td} \quad (19)$$

Onde:

f_{cd} = tensão admissível de compressão ($f_{c0,d}$ da Tabela 16)

f_{td} = tensão admissível de tração ($f_{t0,d}$ da Tabela 16)

$$\sigma_c = \frac{Md.yc}{I} \quad (20)$$

$$\sigma_t = \frac{Md.yt}{I} \quad (21)$$

M_d = esforço de momento fletor combinado e majorado (Tabela 19)

y_c = braço de alavanca de compressão (distância do centro de inércia até a borda mais comprimida)

y_t = braço de alavanca de tração (distância do centro de inércia até a borda mais tracionada)

y_c e y_t tem o mesmo valor, sendo ele $d_{eq}/2$. Desta forma, σ_c e σ_t também terão o mesmo valor. Para a comparação, será utilizada a força resistente de compressão, por ser a menor delas. A Tabela 20 traz o resultado da verificação dos esforços.

Tabela 20: Verificação do momento fletor

Vão (m)	d_{eq} (cm)	σ (Mpa)	$f_{c0,d}$ (Mpa)	$f_{c0,d} > \sigma$
5,0	45	18,53	19,56	Sim
5,5	50	15,90	19,56	Sim
6,0	50	18,22	19,56	Sim
6,5	55	15,58	19,56	Sim
7,0	55	17,41	19,56	Sim
7,5	55	19,27	19,56	Sim
8,0	60	16,48	19,56	Sim
8,5	60	18,00	19,56	Sim
9,0	65	15,56	19,56	Sim

Fonte: Autores, 2015.

6.2.3.2 Esforço cortante

Após a confirmação do diâmetro através da verificação do esforço de momento fletor ainda faz-se necessária a verificação das longarinas em relação ao cisalhamento, utilizando-se dos valores de esforço cortante. A verificação é dada através da Equação 22.

$$\tau d \leq f_{v0,d} \quad (22)$$

Onde:

$f_{v0,d}$ = tensão resistente ao cisalhamento (Tabela 16)

τd = tensão atuante em peças circulares: $\tau d = \frac{4Vd}{3A}$

V_d = Esforço cortante majorado (Tabela 19)

A = área da seção da peça resistente

Desta forma, a Tabela 21 apresenta os valores da tensão atuante e resistente, conforme vão.

Tabela 21: Verificação do cisalhamento

Vão (m)	τ (Mpa)	$F_{v,d}$ (Mpa)	$F_{v,d} > \tau$
5,0	0,94	3,92	Sim
5,5	0,81	3,92	Sim
6,0	0,87	3,92	Sim
6,5	0,75	3,92	Sim
7,0	0,80	3,92	Sim
7,5	0,84	3,92	Sim
8,0	0,74	3,92	Sim
8,5	0,76	3,92	Sim
9,0	0,68	3,92	Sim

Fonte: Autores, 2015.

Analisando as Tabelas 20 e 21, conclui-se que os diâmetros adotados no pré-dimensionamento são resistentes aos esforços solicitantes. Sendo assim, a Tabela 22 apresenta os valores de diâmetros referentes a cada vão.

Tabela 22: Diâmetros equivalentes conforme vão da ponte

Vão (m)	d_{eq} (cm)
5,0	45
5,5	50
6,0	50
6,5	55
7,0	55
7,5	55
8,0	60
8,5	60
9,0	65

Fonte: Autores, 2015.

6.3 DIMENSIONAMENTO DO TABULEIRO

O veículo tipo atua sobre o rodeiro; entretanto, o tabuleiro deve suportar a carga acidental no caso de o mesmo sair do rodeiro. De acordo com o Quadro 02, o tabuleiro é constituído por peças de madeira serrada, dispostas no sentido transversal. Este elemento estrutural pode ser observado nas Figuras 08 e 09. O dimensionamento do tabuleiro será realizado de acordo com as seguintes hipóteses:

- A estrutura considerada foi uma viga bi-apoiada, sendo que uma viga contínua não representa o pior caso para o momento fletor;

- O vão efetivo do tabuleiro é a distância entre as longarinas (CALIL JUNIOR, 2006) e será variável, dependendo do diâmetro adotado para a longarina;
- Considera-se que a carga será distribuída em toda a largura da peça, sendo esta, também variável conforme a necessidade do dimensionamento;
- Verificar-se-á apenas o momento fletor máximo devido a carga acidental e seus efeitos dinâmicos. Sendo desnecessária a verificação da reação, cortante e flecha (CALIL JUNIOR, 2006);
- Os efeitos do peso próprio podem ser desprezados, devido a pequena influência, quando comparado com a carga acidental.

6.3.1 Levantamento das cargas

A carga acidental para o dimensionamento do tabuleiro é a referente à uma roda do veículo tipo, distribuída de acordo com a largura da roda (50 cm, de acordo com Tabela 02). Esta carga Q , para o trem-tipo TB-450, majorada pelos coeficientes de impacto vertical (CIV), número de faixas (CNF) e impacto adicional (CIA) foi calculada no item 6.2.1.2. Sendo assim, segue a carga distribuída aplicada no tabuleiro. A Figura 36 representa o referido esquema estático.

$$Q = 132,89\text{kN} / 0,50\text{m} = 265,78\text{kN/m} \quad (23)$$

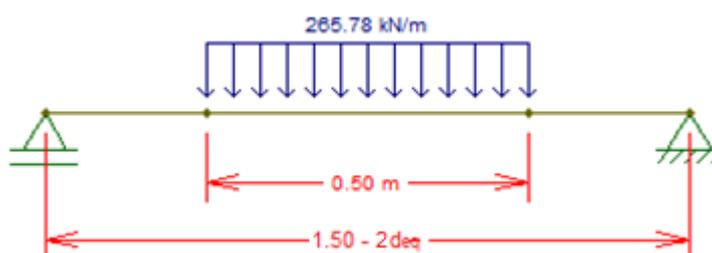


Figura 36: Disposição da carga acidental
Fonte: Autores, 2015.

6.3.2 Esforços máximos

Utilizando o *software* Ftool, obteve-se os valores do esforço de momento fletor para cada caso. A Tabela 23 traz estes valores enquanto a Figura 37 representa o formato do gráfico.



Figura 37: Diagrama de Momento Fletor
Fonte: Autores, 2015.

Tabela 23: Esforço atuante de Momento Fletor

d_{eq} (cm)	MF (kN.m)	MFd (kN.m)
45	11,63	12,21
50	8,3	8,72
55	5,32	5,59
60	2,99	3,14
65	1,33	1,40

Fonte: Autores, 2015.

De acordo com as hipóteses de cálculo, há somente uma ação. Neste caso, não é necessária a combinação de ações, somente a majoração, com $\gamma_q = 1,4$ e minoração por 0,75, assim como no item 6.2.2.1.

6.3.3 Verificações

A verificação do esforço de momento fletor é realizada da mesma forma que para a longarina. Segue a Tabela 24 de comparação da tensão atuante *versus* tensão resistente. Esta mesma Tabela apresenta os valores mínimos das dimensões da seção resistente de acordo com o diâmetro adotado para a longarina, sendo o primeiro valor a base e o segundo a altura (bXh).

Tabela 24: Verificação dos esforços e seção mínima resistente

d_{eq} (cm)	seção (cmXcm)	σ (Mpa)	$f_{c0,d}$ (Mpa)	$f_{c0,d} > \sigma$
45	25x12,5	18,76	19,56	Sim
50	20x12	18,16	19,56	Sim
55	20x10	16,76	19,56	Sim
60	15x10	12,56	19,56	Sim
65	15x7	11,40	19,56	Sim

Fonte: Autores, 2015.

Embora no item 6.2.1.1 tenha sido considerada espessura do tabuleiro de 12,5 cm para todo o dimensionamento da longarina, não será necessário refazê-lo pois a variação da carga é insignificante. A Tabela 25 apresenta as dimensões finais.

Tabela 25: Dimensão do tabuleiro de acordo com diâmetro equivalente (d_{eq}) das longarinas

d_{eq} (cm)	seção (cmXcm)
45	25x12,5
50	20x12
55	20x10
60	15x10
65	15x7

Fonte: Autores, 2015.

6.4 CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS

Como este trabalho trata somente do dimensionamento das peças que compõem a superestrutura da ponte, algumas considerações adicionais devem ser feitas para o entendimento total da estrutura.

Indica-se cabeceiras de concreto e ligações metálicas, estando-se atento para não efetuar nenhum corte nas peças, principalmente nas longarinas (entalhes), nem calços de madeira, necessitando uma confecção de cabeceiras que permitam o encaixe de todas as vigas. As longarinas devem ser colocadas alternando-se a disposição topo-base, como sugere Calil Jr (2006).

O guarda-rodas e o rodeiro são peças que não desempenham função estrutural, deste modo, indica-se peças de 15 x 5 cm para o rodeiro e vigas roliças de 30 cm de diâmetro equivalente para o guarda-rodas.

Por se tratar de passagens em zonas rurais, considera-se que o tráfego nas pontes será baixo. Sendo assim, a passagem de pedestres poderá ocorrer no mesmo local direcionado aos veículos, no momento em que estes não estiverem realizando a travessia. Deste modo pode-se descartar a colocação da defesa, considerando ainda que esta confinará o veículo na largura da ponte, ou seja, impedirá que colheitadeiras com implementos mais largos que as rodas passem pela estrutura, por exemplo. Ainda assim, indica-se a implantação de sinalização adequada.

Para evitar acúmulo de águas pluviais, Calil Jr (2006) indica um espaçamento entre peças do tabuleiro de 15 a 25 milímetros. Além disso, todas as peças de madeira deverão ser tratadas com CCA (conforme abordado no item 2.1.3 deste trabalho) e as ligações metálicas, tratadas com anticorrosão.

6.5 QUANTITATIVO

Visando fins futuros de aplicação deste trabalho, podendo ser compra, análise de viabilidade econômica, ou tratamento da madeira, optou-se por realizar um quantitativo representando as dimensões e quantidades de todas as peças necessárias para a composição da superestrutura das pontes, conforme dimensionadas para cada vão. O Quadro 04 apresenta este quantitativo em número de peças e em volume de madeira.

Vão (m)	Longarinas	Tabuleiro	Rodeiro	Guarda-rodas	VOLUME TOTAL (m ³)
5,0	10 pç deq = 45cm comp = 5,0m vol = 7,95m ³	19 pç comp = 4,0m 19 pç comp = 2,8m 25 x 12,5cm vol = 4,04m ³	60 pç 15 x 5cm comp = 2,5m vol = 1,13m ³	2 pç deq = 30cm comp = 5,0m vol = 0,71m ³	13,83
5,5	10 pç deq = 50cm comp = 5,5m vol = 10,80m ³	25 pç comp = 4,0m 25 pç comp = 2,8m 20 x 12cm vol = 4,08m ³	30 pç comp = 3,0m 30 pç comp = 2,5m 15 x 5cm vol = 1,24m ³	2 pç deq = 30cm comp = 5,5m vol = 0,78m ³	16,90
6,0	10 pç deq = 50cm comp = 6,0m vol = 11,78m ³	27 pç comp = 4,0m 27 pç comp = 2,8m 20 x 12cm vol = 4,41m ³	60 pç 15 x 5cm comp = 3,0m vol = 1,35m ³	2 pç deq = 30cm comp = 6,0m vol = 0,85m ³	18,39
6,5	10 pç deq = 55cm comp = 6,5m vol = 15,45m ³	29 pç comp = 4,0m 29 pç comp = 2,8m 20 x 10cm vol = 3,94m ³	30 pç comp = 3,0m 30 pç comp = 3,5m 15 x 5cm vol = 1,46m ³	2 pç deq = 30cm comp = 6,5m vol = 0,92m ³	21,77
7,0	10 pç deq = 55cm comp = 7,0m vol = 16,63m ³	32 pç comp = 4,0m 32 pç comp = 2,8m 20 x 10cm vol = 4,35m ³	60 pç 15 x 5cm comp = 3,5m vol = 1,58m ³	2 pç deq = 30cm comp = 7,0m vol = 0,99m ³	23,55
7,5	10 pç deq = 55cm comp = 7,5m vol = 17,82m ³	34 pç comp = 4,0m 34 pç comp = 2,8m 20 x 10cm vol = 4,62m ³	30 pç comp = 4,0m 30 pç comp = 3,5m 15 x 5cm vol = 1,69m ³	2 pç deq = 30cm comp = 7,5m vol = 1,06m ³	25,19
8,0	10 pç deq = 60cm comp = 8,0m vol = 22,62m ³	46 pç comp = 4,0m 46 pç comp = 2,8m 15 x 10cm vol = 4,69m ³	60 pç 15 x 5cm comp = 4,0m vol = 1,80m ³	2 pç deq = 30cm comp = 8,0m vol = 1,13m ³	30,24
8,5	10 pç deq = 60cm comp = 8,5m vol = 24,03m ³	49 pç comp = 4,0m 49 pç comp = 2,8m 15 x 10cm vol = 5,00m ³	60 pç comp = 3,0m 30 pç comp = 2,5m 15 x 5cm vol = 1,91m ³	2 pç deq = 30cm comp = 8,5m vol = 1,20m ³	32,14
9,0	10 pç deq = 65cm comp = 9,0m vol = 29,86m ³	52 pç comp = 4,0m 52 pç comp = 2,8m 15 x 7cm vol = 3,71m ³	90 pç 15 x 5cm comp = 3,0m vol = 2,03m ³	2 pç deq = 30cm comp = 9,0m vol = 1,27m ³	36,87

Quadro 04: Quantitativo de madeira para cada vão de ponte
Fonte: Autores, 2015.

Vale ressaltar que o volume de madeira foi calculado de acordo com o diâmetro equivalente (d_{eq}) dimensionado. Deve-se observar como é realizado o cálculo de volume de madeira roliça comercialmente.

6.6 DIMENSIONAMENTO SIMPLIFICADO

Conforme abordado no item 2.3.4, a NBR 7190/1997 classifica a madeira em classes de resistência. Embora a recomendação deste trabalho seja a utilização do *Eucalyptus dunnii*, optou-se também por dimensionar a estrutura em questão para outras espécies do gênero, enquadrando-as nestas classes, permitindo assim, a utilização destas, já desenvolvidas em algumas florestas plantadas, na confecção de pontes. O procedimento utilizado foi o mesmo tratado acima, para a espécie *Eucalyptus dunnii*.

Qualquer morador de zona rural poderá utilizar sua madeira e confeccionar sua própria ponte. Basta definir a classe de carregamento conforme o tráfego da via e observar as dimensões propostas para a espécie em questão. Para estradas vicinais, a NBR 7188/2013 dita que o trem-tipo mínimo a ser utilizado é o TB240.

Utilizando os valores encontrados na NBR 7190 (ABNT, 1997) a Tabela 26 apresenta as espécies de *Eucalyptus* classificadas nas classes de resistência da respectiva norma.

Tabela 26: Espécies e sua respectiva classe de resistência

Espécie	Classe de resistência
Eucalyptus alba	C 40
Eucalyptus camaldulensis	C 40
Eucalyptus citriodora	C 60
Eucalyptus cloeziana	C 40
Eucalyptus grandis	C 40
Eucalyptus maculata	C 60
Eucalyptus maidene	C 40
Eucalyptus saligna	C 40
Eucalyptus tereticornis	C 40
Eucalyptus triantha	C 40
Eucalyptus umbra	C 40
Eucalyptus urophylla	C 40

Fonte: Adaptado da NBR 7190 (ABNT, 1997).

As tabelas abaixo apresentam os resultados obtidos no dimensionamento das pontes conforme vão, classe de resistência da madeira e trem-tipo. A Tabela 27

traz o diâmetro equivalente (d_{eq}) das longarinas enquanto a Tabela 28, a seção transversal das peças que compõem o tabuleiro.

Tabela 27: Diâmetro equivalente das longarinas (cm)

Vão (m)	TB-240		TB-300		TB-450	
	C 40	C 60	C 40	C 60	C 40	C 60
5,0	40	35	45	40	50	45
5,5	45	40	45	40	50	45
6,0	45	40	45	40	55	50
6,5	45	40	50	45	55	50
7,0	50	45	50	45	60	50
7,5	50	45	55	45	60	55
8,0	50	45	55	50	60	55
8,5	55	45	55	50	65	55
9,0	55	50	60	50	65	60

Fonte: Autores, 2015.

Tabela 28: Seção transversal das peças do tabuleiro em função do diâmetro equivalente (d_{eq}) adotado para a longarina (cm X cm)

d_{eq} (cm)	TB-240		TB-300		TB-450	
	C 40	C 60	C 40	C 60	C 40	C 60
40	20x15	20x12,5	25x15	20x12,5	25x15	20x15
45	20x12,5	20x10	25x12,5	20x12,5	20x15	20x12,5
50	20x10	15x10	20x12,5	20x10	20x12,5	20x12,5
55	15x10	15x10	20x10	15x10	20x10	15x10
60	15x7,5	15x7	15x10	15x7	15x10	15x7,5
65	15x7	15x7	15x7	15x7	15x7	15x7

Fonte: Autores, 2015.

Após uma breve análise dos resultados, pode-se afirmar que é vantajoso escolher um diâmetro maior para as longarinas, mesmo sem necessidade estrutural, visando diminuir a espessura das peças do tabuleiro.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na realização deste trabalho, objetivou-se chegar em um projeto de ponte que atendesse às necessidades específicas de uma região, contribuísse para o desenvolvimento da mesma, sem impactar a mata nativa, sugerindo ainda uma espécie de eucalipto ideal a ser plantada para este fim.

Neste contexto, buscou-se informações sobre as espécies de eucalipto diante de pesquisas atuais de grandes institutos, dados de veículos em catálogos de empresas fabricantes e situação constatada por pesquisadores regionais. O dimensionamento foi realizado seguindo todas as recomendações das normas técnicas da ABNT.

O resultado final consiste na indicação da espécie *Eucalyptus dunnii* (para plantio com objetivo de utilização nas pontes), de acordo com as propriedades desejadas para a madeira e características de clima, solo da Região Sudoeste do Paraná e conseqüente projeto geométrico e estrutural da superestrutura de pontes de madeira em vigas roliças com vãos de 5 a 9 metros. Na concepção da configuração geométrica levou-se em consideração as dimensões dos veículos e implementos que trafegam nas estradas vicinais da região e considerou-se a maior classe de carregamento TB-450 de acordo com NBR 7188. Apresentou-se também um breve quantitativo em número de peças e volume de madeira.

Seguindo metodologia semelhante, estendeu-se o dimensionamento para diferentes classes de carregamento e espécies de eucalipto. Este, foi apresentado em formato de tabela para uso prático.

Este estudo se mostrou relevante e de grande contribuição, visto que apresenta um modelo de superestrutura de pontes para estradas vicinais possível de ser implantado diante às condições existentes, apresenta um sistema construtivo simples e de fácil execução, oferece segurança e utiliza madeira de reflorestamento do gênero eucalipto, que quando tratada, apresenta durabilidade satisfatória. Além disso é uma madeira abundante na região de estudo e possui um rápido crescimento. Sua utilização evita o consumo de madeiras nobres que são escassas e de outros materiais construtivos de maior custo ou que geram danos ao meio ambiente.

O dimensionamento dos elementos da superestrutura foi realizado através de aproximações razoáveis. O comportamento estrutural exato dos elementos integrados pode ser determinado através de análises estruturais precisas, utilizando

ferramentas e *softwares* existentes para este fim. Deste modo, acredita-se na possibilidade de redução da seção de algumas peças.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN WOOD PROTECTION ASSOCIATION. AWWA. **FloridaCenter for Solid & Hazardous Waste Management**. 1996. Disponível em: <<http://www.awpa.com>>. Acesso em 30 jun. 2015.

ARAUJO, H. J. B.; MAGALHÃES, W. L. E.; OLIVEIRA, L. C. **Durabilidade de madeira de eucalipto citriodora (*Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson) tratada com CCA em ambiente amazônico**. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Amapá, 2012. Disponível em: <<http://submission.scielo.br/index.php/aa/article/view/45507/5740>>. Acesso em: 02 jul. 2015.

ARMAZÉM DO EUCALIPTO. **Autoclave – Tratamento do Eucalipto**. São Paulo. Disponível em: <<http://www.armazemdoeucalipto.com.br/autoclave-tratamento-do-eucalipto/>>. Acesso em: 02 jul. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **Conheça a ABNT**. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/abnt/conheca-a-abnt>>. Acesso em: 31 mar. 2015.

_____. ABNT. NBR 7188/2013. **Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre**. Rio de Janeiro, 2013.

_____. ABNT. NBR 7190/1997. **Projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRESERVADORES DE MADEIRA. ABPM. **Frequent Asked Questions**. Disponível em: <<http://www.abpm.com.br/faq>>. Acesso em: 30 jun. 2015. São Paulo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. ABRAF. **Anuário estatístico ABRAF 2013 ano base 2012**. Brasília, 2013.

ASSOCIAÇÃO DOS MUNICÍPIOS DO SUDOESTE DO PARANÁ. AMSOP. **Municípios Integrantes**. Disponível em: <<http://www.amsop.com.br/municipios.php>>. Acesso em: 02 jun. 2015.

BERTOLA, A. **Eucalipto – 100 anos de Brasil “Falem mal, mas continuem falando de mim!”**. Disponível em: <http://www.facebook.com/l.php?u=http%3A%2F%2Fwww.celso-foelkel.com.br%2Fartigos%2Foutros%2FEucalipto_100%2520anos%2520de%2520Brasil_Alexandre_Bertola.pdf&h=WAQGORrIX>. Acesso em: 11 set. 2014.

BORSATTI, D. S. **Subsídios Para o Diagnóstico das Patologias de Pontes de Madeira do Município de Ampére – PR**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2013.

CALIL JUNIOR, C; BRITO, L. D. **Manual de Projeto e Construção de Estruturas com Peças Roliças de Madeira de Reflorestamento**. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2010.

CALIL JUNIOR, C. **Manual de Projeto e Construção de Pontes de Madeira**. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2006.

CALIL JUNIOR, C.; GÓES, J. L. N. **Programa Emergencial das Pontes de Madeira para o Estado de São Paulo**. Minerva. São Paulo, 2014.

CARDOSO, M. P. S. **Eucalipto Benthamii: alternativa para áreas sujeitas a geadas**. Embrapa Florestas, 2009. Disponível em: <<http://hotsites.sct.embrapa.br/diacampo/programacao/2009/eucalipto-benthamii-alternativa-para-areas-sujeitas-a-geadas>>. Acesso em: 11 fev. 2015.

CARPANEZZI, A. A. et al. **Zoneamento ecológico para plantios florestais no Estado do Paraná**. Embrapa-CNPf, 1986.

CASE. **Catálogo de colheitadeiras**. Disponível em: <<http://www.caseih.com/latam/pt-br>>. Acesso em: 24 mar. 2015.

COSTA, B. P. D.; BESSA, F. C. **Concepção e Dimensionamento de Pontes em Madeira Roliça para Estradas Vicinais na Região Sudoeste do Paraná**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2013.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico. Divisão de Capacitação Tecnológica. **Manual de projeto de obras-de-arte especiais**. Rio de Janeiro, 1996.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT. (010/2004 - PRO). **Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido – Procedimento**. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação do Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro, 2004.

FREITAS JUNIOR, G. **A História Ambiental Dos Eucaliptos: Austrália, Brasil E Vale Do Paraíba Paulista**. Universidade de Taubaté – UNITAU & Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo – FATEC (Campus de Jacareí), 2011. Disponível em: <http://www.historiaambiental.org/biblioteca/eucaliptos_gerson.doc>. Acesso em: 03 fev. 2015.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4ª ed. Editora Atlas S.A., São Paulo, 2002.

GRESHAM, Gordon E. **Mercado de madeira de florestas plantadas**. Seminário Internacional de Utilização da Madeira de Eucalipto para Serraria. São Paulo, 1995. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/seminario_serraria/>. Acesso em: 15 nov. 2014.

GRODZKI, L.; CARAMORI, P. H.; BOOTSMA, A.; OLIVEIRA, D.; GOMES, J. **Riscos de ocorrência de geada no Estado do Paraná**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 93-99, 1996.

HIGA, R.C.V.; MORA, A.L.; HIGA, A.R. **Plantio de eucalipto na pequena propriedade rural**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. IAPAR. **Cartas Climáticas do Paraná – Mapas de Precipitação**. Londrina, 2014. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=856>>. Acesso em: 11 fev. 2015.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. IAPAR. **Cartas Climáticas do Paraná – Mapas de Temperaturas**. Londrina, 2014. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=860>>. Acesso em: 11 fev. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. **Área Territorial Brasileira (Consulta por Unidade da federação)**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/areaterritorial/principal.shtm>>. Acesso em: 15 set. 2014.

INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS. IPEF. **Chave de Identificação de Espécies Florestais (CIEF): Eucalyptus dunnii Maiden**. Piracicaba, 2014. Disponível em: <<http://www.ipef.br/identificacao/cief/especies/dunnii.asp>>. Acesso em: 12 fev. 2015.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. IPT. **Informações sobre madeiras – Eucalipto saligna**. São Paulo, 2015. Disponível em: <http://www.ipt.br/informacoes_madeiras/60.htm>. Acesso em: 12 fev. 2015.

JORNAL DO OESTE. **Ponte estreita coloca moradores em risco no interior de Toledo**. Disponível em: <<http://www.jornaldoeste.com.br/oeste-rural/2014/02/ponte-estreita-coloca-produtores-em-risco-no-interior-de-toledo/898191/>>. Acesso em: 30 jun. 2015. Publicado em: 21 fev. 2014.

LANGOWSKI, E. et al. **Processo de ocupação do solo e desmatamento no município de Cianorte-PR**. Paraná Florestal, Curitiba, 1984.

LEÃO, R. M. **A floresta e o homem**. Editora da Universidade de São Paulo: Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais. São Paulo, 2000.

MALINOVSKI, R. A. **Reflorestamento em Áreas Limítrofes de Propriedades Rurais em São José dos Pinhais (PR): Análise de Percepção e de Viabilidade Econômica**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2002.

MARCHETTI, O. **Pontes de Concreto Armado**. Editora Blucher. São Paulo, 2008.

MARTHA, L. F. **Análise de Estruturas: Conceitos e Métodos Básicos**. Rio de Janeiro. Elsevier, 2010.

MASSEY FERGUSON. **Catálogos de colheitadeiras**. Disponível em: <<http://www.massey.com.br/>>. Acesso em: 24 mar. 2015.

MILANI, C. J. **Subsídios para o Diagnóstico das Pontes do Sistema Viário do Município de Pato Branco – Paraná**. Dissertação (Mestrado). Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo, 2010.

MORA, A. L. & GARCIA, C. H. **A Cultura do Eucalipto no Brasil**. Sociedade Brasileira de Silvicultura, São Paulo – SP, 2000.

MÜLLER, B. V.; ROCHA, M. P.; CUNHA, A. B.; KLITZKE, R. J.; NICOLETTI, M. F. **Avaliação das Principais Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage**. Floresta e Ambiente, 2014. Disponível em: <http://www.floram.org/files/v0n0/aop_floram_050413.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2015.

OLIVEIRA, L. S. **Propagação de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell**. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2014.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P. E. T.; FERREIRA, C. A. **Eucaliptos indicados para plantio no Estado do Paraná**. Colombo: Embrapa Florestas, 2006.

PAPPALARDO JR, A. **Cargas Móveis**. Faculdade de Engenharia de São Paulo. FESP. São Paulo, 2011. Disponível em: <http://sesp.edu.br/sesp_2010/wp-content/plugins/download-monitor/download.php?id=562>. Acesso em: 09 jun. 2015.

PEREIRA, J. C. D.; STURION, J. A.; HIGA, A. R.; HIGA, R. C. V.; SHIMIZU, J. Y. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000.

QUADROS, M. F. L. de; MACHADO, L. H. R. M.; CALBETE, S.; BATISTA, N. N. M.; OLIVEIRA, G. S. de. **Climatologia de precipitação e temperatura**. Climanálise, Cachoeira Paulista, 2005. Edição comemorativa de 10 anos. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/chuesp.html>>. Acesso em: 9 fev. 2015.

REINER, D. A.; SILVEIRA, E. R.; SZABO, M. S. **O Uso do Eucalipto em Diferentes Espaçamentos como Alternativa de Renda e Suprimento da Pequena Propriedade na Região Sudoeste do Paraná**. Synergismus scyentifica UTFPR. Pato Branco, 2011.

SANTOS FILHO, A. **As principais consequências do desenvolvimento e uso do solo no Estado do Paraná**. Revista Floresta, Curitiba, 1980.

SGAI, R. D. **Fatores que afetam o tratamento para preservação de madeiras**. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2000.

SILVA, J. C. **Madeira preservada – Os impactos ambientais**. Revista da Madeira. Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais, 2006. Disponível em:

<http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=985&subject=Preserva%C3%A7%C3%A3o&title=Madeira%20preservada%20%E2%80%93%20Os%20impactos%20ambientais>. Acesso em: 30 jun. 2015.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES FLORESTAIS. SNIF. **As Florestas Plantadas**. Serviço Florestal Brasileiro. Brasília, DF, 2010. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/snif/recursos-florestais/as-florestas-plantadas>>. Acesso em: 03 fev. 2015.

VEJA CORONEL. **Parte de ponte cede e colheitadeira quase caiu no rio em Coronel Vivida**. Disponível em: <<http://www.vejacoronel.com.br/2015/03/parte-de-ponte-cede-e-colheitadeira.html>>. Acesso em: 30 jun. 2015. Publicado em: 12 mar. 2015.

WREGGE, M. S. et al. **Ocorrência da primeira geada de outono e última de primavera no Estado do Paraná**. Revista Brasileira de Agrometeorologia. Santa Maria, 2004.

WILCKEN, C. F.; LIMA, A. C. V.; DIAS, T. K. R.; MASSON, M. V.; FERREIRA FILHO, P. J.; POGETTO, M. H. F. A. D. **Guia Prático de Manejo de Plantações de Eucalipto**. Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais. Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2008.