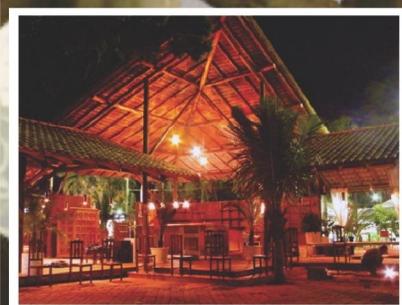


Carlito Calil Junior
Leandro Dussarrat Brito

Manual de Projeto e Construção de Estruturas com Peças Rolíceas de Madeira de Reflorestamento



1934 | 2009





LaMEM LABORATÓRIO DE MADEIRAS E DE ESTRUTURAS DE MADEIRA

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ESTRUTURAS

MANUAL DE PROJETO E CONSTRUÇÃO DE ESTRUTURAS COM PEÇAS ROLIÇAS DE MADEIRA DE REFLORESTAMENTO

Prof. Tit. Dr. Carlito Calil Junior
Eng.º Civil MSc. Leandro Dussarrat Brito

FINANCIAMENTO



São Carlos
2010

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

C153m Calil Junior, Carlito
Manual de projeto e construção de estruturas
com peças roliças de madeira de reflorestamento /
Carlito Calil Junior, Leandro Dussarrat Brito. --
São Carlos : EESC/USP, 2010.
[332 p.]
ISBN 978-85-8023-000-0

1. Estruturas de madeira. 2. Sistemas
estruturais e construtivos. 3. Ligações entre
elementos estruturais. 4. Peças roliças de
madeira tratada. 5. Construções sustentáveis.
I. Brito, Leandro Dussarrat. II. Título.

EDITORES



Carlito Calil Junior é professor Titular da Escola de Engenharia de São Carlos do Departamento de Engenharia de Estruturas da Universidade de São Paulo. Formado em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia de Piracicaba em 1975, mestre em Engenharia de Estruturas pela EESC/USP em 1978, Doutor em Engenharia Industrial pela Universidade Politécnica de Catalunia – Espanha em 1982. Realizou estágio de pós-doutorado nas Universidades de Twente-Holanda (1988), Braunschweig – Alemanha (1988) e no Forest Products Laboratory (2000-2001) e (2008).

Prof. Calil é diretor do Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira (LaMEM), coordenador da Comissão de Estudos CE 02:126.10 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, Presidente por dois mandatos e membro fundador do Instituto Brasileiro de Madeira e das Estruturas de Madeira, e o representante do Brasil na International Association of Wood Products Societies (IAWPS) – Japan e na International Association for Bridge and Structural Engineering – USA.



Leandro Dussarrat Brito é Engenheiro Civil, Mestre em Engenharia de Estruturas. Formado em Engenharia Civil pela Pontifícia Universidade Católica de Poços de Caldas em 2001. Pós-graduado Lato Sensu em Saneamento Ambiental pela PUC-Minas em 2004. Pós-graduado Lato Sensu em Engenharia de Estruturas pela PUC-Minas em 2006. Mestre em Engenharia de Estruturas pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo em 2010, com o tema da dissertação, “**Recomendações para o projeto e construção de estruturas com peças roliças de madeira de reflorestamento**”.

Participou dos congressos, Fórum Nacional das Águas em junho de 2003 em Poços de Caldas – MG; XI EBRAMEM, Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, em julho de 2008 em Londrina – PR; 51 CBC IBRACON, Congresso Brasileiro do Concreto, em outubro de 2009 em Curitiba – PR. Desde a graduação, profissionalmente atua na área de desenvolvimento de Projetos Arquitetônicos e Estruturais de edificações residenciais, comerciais e industriais.

PREFÁCIO

Este manual apresenta recomendações para o projeto e a construção de estruturas de madeira utilizando elementos estruturais com peças roliças de madeira de reflorestamento, particularmente os eucaliptos e os pinus.

Além de um banco de dados de propriedades de resistência e rigidez de peças roliças de eucalipto e de pinus, também são apresentados os sistemas de classe de uso e métodos de tratamento da madeira para garantir a durabilidade, os tipos de ligações usuais entre os elementos estruturais, os tipos de sistemas estruturais e construtivos, com os exemplos de dimensionamento de coluna, de terça com viga roliça e tabelas de pré-dimensionamento de pontes em viga roliça, pontes em placa mista de madeira roliça e concreto armado, e galpões tipo pórtico rígido.

No final são apresentadas várias fichas técnicas de projetos e obras construídas no Brasil e no exterior utilizando peças roliças como exemplos de projetos de arquitetura e de engenharia, com ênfase no potencial da utilização deste nobre material como uma alternativa sustentável para a construção civil.

São Carlos, junho de 2010

Calil e Leandro

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	NORMAS TÉCNICAS	3
1.2	CLASSIFICAÇÃO DAS ÁRVORES	4
1.3	FASES DE CRESCIMENTO DA ÁRVORE	5
1.4	EVOLUÇÃO DAS FLORESTAS PLANTADAS DE EUCALIPTO E PINUS NO BRASIL	6
1.5	PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS	8
2	CLASSIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL	11
2.1	CLASSIFICAÇÃO ESTRUTURAL	11
2.1.1	Classificação visual	12
2.1.1.1	Curvatura	14
2.1.1.2	Sinuosidade	15
2.1.1.3	Fendas	16
2.1.1.4	Rachas	17
2.1.1.5	Nós ou cordões	17
2.1.1.6	Veios inclinados ou espiralados	18
2.1.1.7	Razão crescimento nas coníferas	19
2.1.1.8	Abertura entre os anéis de crescimento	20
2.1.2	Classificação mecânica	20
2.1.2.1	Ensaio estático	21
2.1.2.2	Ensaio pela vibração transversal	25
2.2	CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL	27
2.2.1	Ensaio à compressão de peças roliças estruturais	27
2.2.3	Ensaio de peças roliças estruturais realizados no LaMEM	28
2.2.3.1	Caracterização da espécie de Eucalipto Alba ($d_m=7\text{cm}$)	29
2.2.3.2	Caracterização da espécie de Eucalipto Alba ($d_m=7,5\text{cm}$)	30
2.2.3.3	Classificação da espécie de Eucalipto Citriodora ($d_m=7\text{cm}$)	30
2.2.3.4	Caracterização da espécie de Eucalipto Citriodora ($d_m=26,4\text{cm}$)	32
2.2.3.5	Classificação da espécie de Eucalipto Citriodora ($d_m=34,3\text{cm}$)	33
2.2.3.6	Caracterização da espécie de Pinus Oocarpa ($d_m=42\text{cm}$)	34
2.2.3.7	Caracterização da espécie de Eucalipto Camaldulensis	34
2.2.3.8	Caracterização da espécie de Eucalipto Cloeziana	38

3	DURABILIDADE E TRATAMENTO DA MADEIRA.....	39
3.1	DETERIORAÇÃO DA MADEIRA	40
3.2	SISTEMA DE CLASSES DE USO E PRESERVAÇÃO DA MADEIRA	44
3.2.1	Sistema de Classe de Uso	45
3.2.2	Seleção da espécie da madeira	47
3.2.3	Quanto ao uso e tratamento de madeiras de reflorestamento	47
3.2.4	Escolha do método de tratamento e do produto preservativo	49
3.2.4.1	Produtos preservativos	50
3.2.4.2	Métodos de tratamento	51
3.2.4.3	Penetração e retenção do produto preservativo	52
3.2.4.4	Precauções gerais	54
3.3	SECAGEM DA MADEIRA.....	55
4	LIGAÇÕES	57
4.1	LIGAÇÕES POR ENTALHES	59
4.2	LIGAÇÕES COM CAVILHAS DE MADEIRA	59
4.3	LIGAÇÕES COM BARRAS ROSQUEADAS, ARRUELAS E PORCAS.....	60
4.4	LIGAÇÕES COM BARRA ROSQUEADA E PINO METÁLICO (DOWEL-NUT).....	61
4.5	LIGAÇÕES COM CHAPAS METÁLICAS EXTERNAS PARAFUSADAS	62
4.6	LIGAÇÕES COM CHAPAS METÁLICAS INTERNAS PARAFUSADAS	63
4.7	LIGAÇÕES COM CONSOLES METÁLICOS PERFURADOS E PARAFUSADOS	64
4.8	LIGAÇÕES COM CHAPAS METÁLICAS GALVANIZADAS PERFURADAS E PREGADAS ...	64
4.9	CHAPAS METÁLICAS GALVANIZADAS COM DENTES ESTAMPADOS	66
4.10	LIGAÇÕES PARA NÓS DE TRELIÇAS ESPACIAIS	67
4.11	LIGAÇÕES COM CINTAS METÁLICAS ENTRELAÇADAS.....	70
4.12	LIGAÇÕES COM ANÉIS, BARRAS DE AÇO, ARRUELAS E PORCAS.....	71
4.13	LIGAÇÕES COM CONECTORES DE AÇO PARA ESTRUTURAS MISTAS	75
4.14	LIGAÇÕES NA INTERFACE DA ESTRUTURA DE MADEIRA COM A ALVENARIA	75
4.15	LIGAÇÕES DE SISTEMAS PARA CONSTRUÇÕES DE PAREDES AUTOPORTANTES.....	76
4.16	LIGAÇÕES EM PEÇAS COMPRIMIDAS	76
4.17	LIGAÇÕES NAS BASES DAS COLUNAS.....	79
5	SISTEMAS ESTRUTURAIS E CONSTRUTIVOS.....	86
5.1	POSTES DE LINHA DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	86

5.2	EDIFICAÇÕES RURAIS	87
5.3	FUNDAÇÕES COM ESTACAS DE MADEIRA ROLIÇA.....	88
5.4	SISTEMAS ESTRUTURAIS DE MUROS DE CONTENÇÕES DE TERRA	90
5.5	SISTEMAS ESTRUTURAIS E CONSTRUTIVOS DE BARREIRAS ACÚSTICAS	91
5.6	SISTEMAS ESTRUTURAIS DE DEFENSAS	92
5.7	SISTEMAS ESTRUTURAIS E CONSTRUTIVOS DE PONTES E PASSARELAS	94
5.7.1	Pontes compostas por vigas.....	95
5.7.2	Pontes compostas por vigas treliçadas	97
5.7.3	Pontes compostas por pórticos.....	98
5.7.4	Pontes em placas mistas de madeira roliça e concreto armado.....	99
5.7.5	Pontes pênses	101
5.7.6	Passarelas estaiadas.....	103
5.7.7	Passarelas compostas por pórticos e treliças.....	104
5.7.8	Passarelas rainbow bridge	105
5.8	SISTEMAS ESTRUTURAIS E CONSTRUTIVOS DE EDIFICAÇÕES	106
5.8.1	Sistemas estruturais de viga-coluna para edificações	107
5.8.2	Sistemas estruturais de pórticos para edificações.....	109
5.8.3	Sistemas estruturais compostos por painéis de paredes autoportantes....	112
5.9	SISTEMAS ESTRUTURAIS E CONSTRUTIVOS DE COBERTURAS.....	114
5.9.1	Coberturas compostas por treliças planas.....	114
5.9.2	Coberturas compostas por tensoestruturas	115
5.9.3	Coberturas compostas por treliças espaciais (tridimensionais)	115
5.9.4	Coberturas do tipo parabolóide hiperbólica	116
5.9.5	Coberturas de pontos de ônibus de linhas urbanas.....	116
5.10	SISTEMAS ESTRUTURAIS E CONSTRUTIVOS DE TORRES	117
5.10.1	Torres compostas por estruturas em treliças.....	117
5.10.1.1	Torre de diagonal única, parafusada ou pregada (a)	118
5.10.1.2	Torre de diagonais cruzadas, parafusadas ou pregadas (b)	118
5.10.1.3	Torre com semi-diagonais dispostas em forma de triângulo equilátero com as bases horizontais (c).....	119
5.10.1.4	Torre com diagonais em losango (d).....	119
5.10.1.5	Torre treliçada estaiada (e)	120
5.11	SISTEMAS ESTRUTURAIS DE CIMBRAMENTOS	120

6	CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO	123
6.1	CLASSIFICAÇÃO GEOMÉTRICA DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS.....	123
6.1.1	Elementos estruturais	123
6.1.1.1	Elementos estruturais lineares (estruturas reticuladas)	123
6.1.1.2	Elementos estruturais de superfície (estruturas laminares)	124
6.1.1.3	Elementos estruturais de volume (estruturas volumétricas)	125
6.2	CRITÉRIOS PARA O DIMENSIONAMENTO	125
6.2.1	Propriedades de Resistência e Rigidez	126
6.2.2	Propriedades a serem consideradas no Projeto Estrutural	127
6.2.3	Critério de cálculo para o dimensionamento da seção da peça roliça	131
6.2.4	Propriedades geométricas da seção transversal de peças roliças.....	132
6.2.5	Limites de Esbeltez para peças de madeira	137
6.2.6	Peças submetidas à flexão	137
6.3	EXEMPLOS DE APLICAÇÃO	139
6.3.1	Exemplo de peça roliça solicitada por compressão axial	139
6.3.2	Exemplo de uma terça de madeira roliça de seção variável	147
7	DIRETRIZES PARA PROJETO.....	150
7.1	PONTE EM VIGAS COM PEÇAS ROLIÇAS DE MADEIRA.....	150
7.1.1	Esquema geral da ponte	151
7.1.2	Hipóteses de cálculo	152
7.1.3	Etapas de dimensionamento.....	153
7.1.4	Tabelas práticas de pré-dimensionamento	159
7.1.5	Recomendações construtivas	160
7.2	PONTE EM PLACA MISTA DE MADEIRA ROLIÇA E CONCRETO ARMADO	161
7.2.1	Esquema geral da ponte	162
7.2.2	Hipóteses de cálculo	163
7.2.3	Etapas de dimensionamento.....	164
7.2.4	Tabela prática de pré-dimensionamento.....	172
7.2.5	Recomendações construtivas	172
7.3	PROJETO DE GALPÃO TIPO PÓRTICO RÍGIDO.....	173
7.3.1	Esquema geral do modelo de galpão tipo pórtico rígido	173
7.3.2	Hipóteses de cálculo	178
7.3.3	Etapas de dimensionamento.....	179

7.3.4	Tabelas práticas de pré-dimensionamento	183
7.3.5	Recomendações construtivas.....	188
8	ANEXO: FICHAS TÉCNICAS DE PROJETOS E CONSTRUÇÕES.....	189
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	302

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABPM - Associação Brasileira de Preservadores de Madeira
ABRAF - Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas
ANSI - American National Standards Institute
ASTM - American Society for Testing Materials
BCE - Beaudette Consulting Engineers Inc.
CCA - Cobre Cromo Arsênio
CCB - Cobre Cromo Boro
CP - Corpo-de-prova
CPs - Corpos-de-prova
EBRAMEM - Encontro Brasileiro da Madeira e das Estruturas de Madeira
EC5 - Eurocode 5
EESC - Escola de Engenharia de São Carlos
ELS - Estado Limite de Serviço
ELU - Estado Limite Último
EPFL - École Polytechnique Fédérale de Lausanne
FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations
FPL - Forest Products Laboratory
IBAMA - Instituto Brasileiro de Aparo ao Meio Ambiente
IBDF - Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal
IBRAMEM - Instituto Brasileiro da Madeira e das Estruturas de Madeira
INMET - Instituto Nacional de Meteorologia
IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
LaMEM - Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira
LPF - Laboratório de Pesquisas Florestais
LPSA - Light Post-tensioned Segmented Arch
MEL - Método dos Estados Limites
NBR - Norma Brasileira Registrada
PDA - Pile Driving Analyser
SET - Departamento de Engenharia de Estruturas
STCP - Engenharia de Projetos Ltda.
UPM - Usina de Preservação de Madeira
USDA - United States Department of Agriculture
USP - Universidade de São Paulo

LISTA DE SÍMBOLOS

Letras romanas maiúsculas

A - Área da seção transversal; linha de afloramento, ponto de superfície do poste na seção superior do engastamento; linha de afloramento, ponto médio na seção superior do engastamento

B - topo do poste, aresta; topo do poste, ponto médio

C - circunferência na seção de engastamento; comprimento de barras de aço; classe de resistência da madeira; centro; nomenclatura de coluna

CG - Centro de Gravidade

$C_{máx}$ - curvatura máxima

CO₂ - Dióxido de Carbono

CV - coeficiente de variação

D - é o diâmetro do topo ou da base para determinar abertura de racha; amortecimento; diâmetro do furo da broca de fundação; diâmetro inicial estimado da viga roliça de madeira

$D_{mím}$ - diâmetro mínimo

D_s - Diâmetro da seção média das partes sinuosas

E - módulo de elasticidade; módulo de deformação longitudinal.

E_c - módulo de elasticidade secante à compressão do concreto, NBR 6118:2003

E_{c0} - módulo de elasticidade longitudinal pelo ensaio de compressão paralelo às fibras

$(E_L)_{eq}$ - módulo de elasticidade à flexão longitudinal da placa ortotrópica equivalente

$(E_T)_{eq}$ - módulo de elasticidade à flexão transversal da placa ortotrópica equivalente

$E_w = E_{M,ef}$ - módulo de elasticidade à flexão efetivo da madeira

F - ações (em geral); forças (em geral)

F_a - força de empuxo ativo

F_d - valor de cálculo das ações

F_E - força de euler

F_k - valor característico das ações

F_p - força de empuxo passivo

F_w - força de ação do vento

G - ação permanente; módulo de deformação transversal

G_d - valor de cálculo da ação permanente

G_k - valor característico da ação permanente

$(G_{LT})_{eq}$ - módulo de elasticidade à torção da placa ortotrópica equivalente

GPa - Giga Pascal

H - altura

$H_{m\acute{a}x}$ - altura máxima

H_u - comprimento útil do poste (altura total descontada da área de engastamento e aplicação da carga)

Hz - Hertz

I - momento de inércia

K - constante; rigidez da mola; módulo de deslizamento da ligação

K_E - parâmetro de flambagem da barra em função das vinculações impostas nas extremidades

K_{ser} - módulo de deslizamento da ligação para verificar o estado limite de servio

K_u - módulo de deslizamento da ligação para verificar os estado limite timo

L - vão; comprimento (em substituição a I para evitar confusão com o número 1)

L/d - relação vo pelo diâmetro

L_m - comprimento médio

L_0 - comprimento de flambagem da barra

M - momento (em geral, momento fletor); massa da mola

M_d - momento de cáculo

M_{gk} - momento característico devido à carga permanente

$M_{Lg,k}$ - momento fletor máximo longitudinal devido à carga permanente da pavimento asfáltica

$M_{Lq,k}$ - momento fletor máximo longitudinal devido à carga acidental

M_{qk} - momento característico devido à carga acidental

$M_{r,d}$ - momento resistente de cáculo

$M_{T1q,k}$ - momento fletor máximo positivo transversal devido à carga acidental

$M_{T2q,k}$ - momento fletor máximo negativo transversal devido à carga acidental

$M_{x,d}$ - momento de cáculo em relação ao eixo x

M_{1d} - momento de cáculo devido à carga permanente

M_{2d} - momento de cáculo devido à carga variável

MOE - Módulo de elasticidade longitudinal obtido no ensaio  flexão

MOR - Módulo de resistência obtido no ensaio  flexão

MPa - Mega Pascal

N - força normal (N_d , N_k , N_u); Newton

N_d - Força Normal de cáculo

P - carga de ruptura; carga concentrada; perímetro

P_0 - força de estação igual a zero
 Q - carga concentrada de ação variável
 $Q_{g,k}$ - cortante máxima devido à carga permanente
 $Q_{q,k}$ - cortante máxima devido à carga acidental
 R_d - valor de cálculo da resistência; reação de apoio de cálculo
 $R_{g,k}$ - reação de apoio devido à carga permanente
 $R_{q,k}$ - reação de apoio devido à carga acidental
 S - comprimento do trecho onde existe sinuosidade; momento estático
 S_d - valor de cálculo da solicitação
 S_3 - fator probabilístico da NBR 6123:1988
 U - umidade
 U_{amb} - umidade relativa do ambiente
 U_{eq} - umidade de equilíbrio da madeira
 V - cortante; velocidade de deformação
 V_d - cortante de cálculo
 V_{gk} - cortante característica devido à carga permanente
 V_{qk} - cortante característica devido à carga acidental
 $V_{y,d}$ - cortante de cálculo em relação ao eixo y
 V_0 - velocidade básica conforme a NBR 6123:1988
 X_d - valor de cálculo da amostra
 X_k - valor característico da amostra
 X_m - valor médio da amostra
 W - carga do vento, módulo de resistência à flexão; massa da viga

Letras romanas minúsculas

a - comprimento
 b - largura
 c - conicidade; circunferência no ponto de aplicação de carga
 cm - centímetro
 cm/m - centímetro por metro
 cm/min - centímetro por minuto
 d - diâmetro; desvio entre eixos
 daN - deca Newton

d_{base} - é o diâmetro da base das peças roliças de madeira com seção variável, calculado em função do comprimento da circunferência na base do poste

d_{eq} - é o diâmetro equivalente de cálculo das peças roliças de madeira com seção variável, situado à $L/3$ da extremidade mais delgada da peça, desde que $d_{eq} \leq 1,5 \cdot d_2$

$d_{eq,c}$ - corresponde ao diâmetro equivalente da coluna

$d_{eq,v}$ - corresponde ao diâmetro equivalente da viga

$d_{eq,t}$ - corresponde ao diâmetro equivalente da terça

d_m - diâmetro médio das peças roliças de madeira com seção variável, calculado em função do comprimento da circunferência da tora em $(L/2)$

$d_{m\acute{a}x}$ - corresponde ao diâmetro máximo (base da peça roliça)

$d_{m\acute{i}n}$ - corresponde ao diâmetro mínimo (topo da peça roliça)

d_p - distância entre pórticos

d_{topo} - é o diâmetro do topo das peças roliças de madeira com seção variável, calculado em função do comprimento da circunferência no topo do poste

dt - variação em relação ao tempo

dx - variação em relação à coordenada x

d_1 - é o diâmetro da base das peças roliças de madeira com seção variável, calculado em função do comprimento da circunferência na base do poste (maior diâmetro da peça), alguns autores o denominam como $d_{m\acute{a}x}$

d_2 - é o diâmetro do topo das peças roliças de madeira com seção variável, calculado em função do comprimento da circunferência no topo do poste (menor diâmetro da peça), alguns autores o denominam como $d_{m\acute{i}n}$

e - excentricidade; comprimento de engastamento

e_a - excentricidade acidental mínima

e_c - excentricidade suplementar de primeira ordem que representa a fluência da madeira

e_d - excentricidade de cálculo

e_i - excentricidade de primeira ordem decorrente da situação de projeto

$e_{1,ef}$ - excentricidade efetiva de primeira ordem

f - abertura da racha

f_{c0} - resistência à compressão paralela às fibras

$f_{c0,d}$ - resistência de cálculo à compressão paralela às fibras

$f_{c0,k}$ - resistência característica à compressão paralela às fibras

$f_{ck,28}$ - resistência à compressão característica do concreto aos 28 dias

f_r - frequência de ressonância

f_v - resistência ao cisalhamento

f_{v0} - resistência ao cisalhamento paralelo às fibras
 $f_{v0,d}$ - resistência de cálculo ao cisalhamento paralelo às fibras
 f_{yk} - resistência característica de escoamento do aço
 g - aceleração da gravidade de 9,8 m/s²; carga distribuída permanente
 h - altura
 ha - hectare
 h_u - braço de alavanca
 h_1 - altura da cobertura
 i - raio de giração
 i_{mim} - raio de giração mínimo
 kg - quilograma
 kgf - quilograma força (MKS)
 kg/m^3 - quilogramas por metro cúbico
 k_{mod} - coeficiente de modificação
 $k_{mod,1}$ - leva em conta a classe de carregamento e o tipo de material empregado conforme apresentado na tabela 6.4
 $k_{mod,2}$ - leva em conta a classe de umidade, que pode ser analisado conforme o mapa da figura 6.7 e o tipo de material empregado na tabela 6.5
 $k_{mod,3}$ - leva em conta a categoria da madeira utilizada
 kN - quilo Newton
 l - vão; comprimento; (pode ser substituído por L para evitar confusão com o número 1)
 m - metro
 mm - milímetros
 mm/h - milímetros por hora
 n - número de corpos-de-prova da amostra ensaiados
 n_v - número de vigas de madeira roliça
 q - carga acidental distribuída
 t - tempo de aplicação da força; espessura de elementos delgados
 t_{eq} - espessura da placa equivalente
 $u_{g,k}$ - flecha máxima característica, devido à carga permanente
 u_{Lim} - deslocamento limite
 u_y - deslocamento em relação ao eixo y
 x - coordenada longitudinal
 y - posição linha neutra

Letras gregas minúsculas

α (alfa) – ângulo; coeficiente

β (beta) – ângulo; coeficiente, razão

γ (gama) - coeficiente de segurança; peso específico; (pode ser substituído por g); deformação tangencial específica

γ_g - coeficiente de majoração das ações permanentes

γ_q - coeficiente de majoração das ações variáveis

γ_w - coeficiente de minoração da resistência da madeira

γ_{wc} - coeficiente de minoração da resistência da madeira à compressão paralela às fibras

γ_{wt} - coeficiente de minoração da resistência da madeira à tração paralela às fibras

γ_{wv} - coeficiente de minoração da resistência da madeira ao cisalhamento paralelo às fibras

δ (delta) – coeficiente de variação

$\delta_{g,k}$ - flecha máxima devido à carga permanente

$\delta_{q,k}$ - flecha máxima devido à carga acidental

λ (lambda) - índice de esbeltez = L_0/i

π (pi) - emprego matemático $\sim 3,1416$

ρ (ro) - massa específica (densidade)

$\rho_{12\%}$ - massa específica a 12% de umidade

σ (sigma) - tensão normal ($\sigma_d, \sigma_k, \sigma_u$)

σ_F - limite de resistência da madeira na seção de engastamento

σ_{Nd} - tensão normal de cálculo

σ_{Md} - tensão máxima de cálculo devido à componente de flexão

$\sigma_{Mx,d}$ - tensão máxima de cálculo devido à componente de flexão, em relação ao eixo x

$\sigma_{1wg,k}$ - tensão normal máxima de compressão característica na face superior da viga de madeira roliça, devido à carga permanente, no instante inicial com concreto fresco

$\sigma_{2wg,k}$ - tensão normal máxima de tração característica na face inferior da viga de madeira roliça, devido à carga permanente, no instante inicial com concreto fresco

τ (tau) - tensão tangencial (τ_d, τ_k, τ_u)

τ_d - tensão tangencial de cálculo

ω (omega) - freqüência de estação igual a zero

φ - coeficiente de impacto vertical

Φ (fi) - diâmetro de barras de aço

- espessura de chapa de aço

1 INTRODUÇÃO

A utilização de elementos estruturais de madeira no Brasil tem crescido ao longo dos últimos anos em virtude das pesquisas realizadas, no sentido de torná-la um material mais competitivo com relação a outros materiais empregados com função estrutural, tais como o aço e o concreto. A madeira é abundante, versátil e facilmente obtida. Sem ela, a civilização como conhecemos teria sido impossível. Quase metade da área do Brasil é coberta por floresta. Se tecnologicamente manipulada e protegida de desastres naturais causados por fogo, erosões, insetos e doenças, as florestas irão garantir condições de sobrevivência para as gerações futuras.

O plantio e o abate de árvores reflorestadas são efetuados em processo de ciclo de regeneração. Conforme as árvores mais velhas são retiradas, elas são substituídas por árvores novas para reabastecer a oferta de madeira para as gerações futuras. O ciclo de regeneração, pode facilmente superar o volume que está sendo utilizado, garantindo a sustentabilidade.

Há a necessidade de se desenvolver estudos para encontrar alternativas de materiais viáveis economicamente e que atendam os requisitos da construção sustentável. As construções com peças roliças de madeira, usadas em construções civis, construções rurais, pontes, passarelas, defensas e postes de linha de transmissão de energia elétrica, aparecem como opção a este grande desafio por conciliar aspectos de sustentabilidade social, econômica e ambiental.

Embora a madeira seja suscetível ao apodrecimento e ao ataque de insetos sob condições específicas, ela é um material muito durável quando utilizada com tecnologia, pois pode ser efetivamente protegida contra deterioração por período de 50 anos ou mais. Além disso, a madeira tratada com preservativos requer pouca manutenção e pinturas.

Neste estudo, são abordadas as principais características de madeiras de reflorestamento com peças roliças tratadas, os principais tipos de caracterização, classificações, propriedades de resistência e elasticidade, e as classes de tratamento de preservação da madeira, para garantir o aumento da vida útil das estruturas. Também são apresentados os principais tipos de ligações usuais entre os elementos estruturais com peças roliças. E por fim, são apresentadas por meio de catalogações em 124 fichas técnicas, possíveis alternativas na área de estruturas e

na construção civil, de sistemas estruturais e construtivos utilizando madeiras com peças roliças, tais como estacas de fundações, passarelas, pontes, quiosques, galpões rurais, edificações residenciais, estabelecimentos comerciais, hotelarias, igrejas, instituições de ensino, sedes de parques ecológicos e ambientais, estruturas de locais de eventos, coberturas especiais, estruturas de arquibancadas, parques turísticos e com brinquedos infantis, terminal de aeroporto, torres de observação, estruturas provisórias de cimbramentos para formas de estruturas de concreto, defensas de rodovias, barreiras acústicas, entre outros, construídos no Brasil e no exterior.

Grande parte das construções com peças roliças de madeira no Brasil não são projetadas e construídas por técnicos e construtores especializados em madeiras. Isso resulta em estruturas caras, inseguras e de baixa durabilidade refletindo num quadro negativo no uso da madeira como um material estrutural. A utilização tecnológica da madeira como material para a construção civil apresenta inúmeras vantagens, por mais que ainda persista a equivocada idéia de que a madeira tem pequena vida útil. A resistência da madeira roliça, baixo peso, baixo consumo energético para processamento, sua disponibilidade e seu fácil manuseio fazem com que ela se torne um material altamente competitivo e sustentável. A baixa densidade da madeira, se comparada com outros materiais, traz um alívio às estruturas de fundações assim como sua resistência faz com que as estruturas sejam mais esbeltas. Ela é capaz de suportar sobrecargas de curta duração sem efeitos nocivos. Sua disponibilidade, baixo consumo energético e fácil manuseio fazem com que os custos sejam reduzidos, que seja desnecessário o emprego de mão-de-obra altamente especializada e a execução de sua construção seja efetivamente rápida.

Este trabalho tem como objetivo a apresentação de recomendações para o projeto e construção de estruturas com peças roliças de madeira de reflorestamento, a fim de oferecer a estudantes e profissionais das áreas de Engenharia Civil e Arquitetura, informações tecnológicas para projeto e construção de diversos sistemas estruturais e construtivos utilizando peças roliças de madeira.

1.1 NORMAS TÉCNICAS

As normas técnicas referentes às especificações tem o intuito de fornecer uma base comum para a comunicação entre compradores e produtores de madeiras roliças de reflorestamento. Já as normas de tratamento para preservação e conservação, servem de subsídios para garantir o uso adequado do tratamento químico da madeira para assegurar a durabilidade. As normas de projeto oferecem procedimentos para que os projetistas possam promover a imagem dos elementos estruturais de engenharia e assegurar uma boa performance com o tempo, garantindo a segurança e durabilidade de acordo com o sistema estrutural envolvido. Na América do norte, as referências normativas mais utilizadas para madeira roliça são publicadas pela American Society for Testing Materials (ASTM):

- ASTM D2899, Standard methods for establishing design stress for round timber piles;
- ASTM D25-99 (2005), Standard specification for round timber piles;
- ASTM D3200-94, Method for establishing recommended design stress for round timber construction poles;
- ASTM D3957-80, Establishing stress grade for structural members in log buildings.
- ASTM D198-97. Standard Test Methods of Static Tests of Lumber in Structural Sizes.

Também são utilizadas normas da American National Standards Institute (ANSI):

- ANSI O5.1-1992, American national standard for wood poles: specification and dimensions;
- ANSI C2, National electric safety code, Institute of Electrical and Electronics Engineers.

Segundo WOLF e HERNANDEZ (1999), dentre essas a ASTM 25-98 e ANSI O5 publicaram especificações de madeira roliça, recomendando requisitos mínimos de qualidade e classificações de tamanho para aplicações em fundações e postes respectivamente.

Já, no Brasil, pesquisas com madeira roliça, são estudos ainda recentes, não existindo uma norma específica para projetos e construções com peças roliças de madeira de reflorestamento. No entanto, as referências normativas existentes para madeira roliça, publicadas na ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, são:

- ABNT, NBR 6231:1980 - Postes de madeira - Resistência à flexão – Método de ensaio;
- ABNT, NBR 6232:1973 - Penetração e retenção de preservativo em postes de madeira;
- ABNT, NBR 8456:1984 - Postes de eucalipto preservado para redes de distribuição de energia elétrica – Especificação;
- ABNT, NBR 8457:1984 - Postes de eucalipto preservado para redes de distribuição de energia elétrica – Dimensões;
- ABNT, NBR 7190:1997 – Projeto de estruturas de madeira. Esta norma está fundamentada essencialmente às madeiras serradas em geral. Porém é válida para o dimensionamento das peças roliças de madeira de seção variável, com indicativos especiais, no item 7.2.8 para o critério de cálculo do diâmetro equivalente (d_{eq}).

1.2 CLASSIFICAÇÃO DAS ÁRVORES

Botanicamente as árvores são classificadas como Fanerogamas, que constituem um grupo de plantas superiores, de elevada complexidade anatômica e fisiológica. O grupo das Fanerogamas se subdivide em Gimnospermas e Angiospermas, CALIL et al (2009).

Dentro do grupo das Gimnospermas destacam-se as Coníferas, conhecidas internacionalmente como madeiras moles ou “**softwoods**”. Constituem principalmente no hemisfério norte por grandes florestas e fornecem madeiras das mais empregadas na indústria e na construção civil. Na América do Sul destacam-se os Pinus e a Araucária.

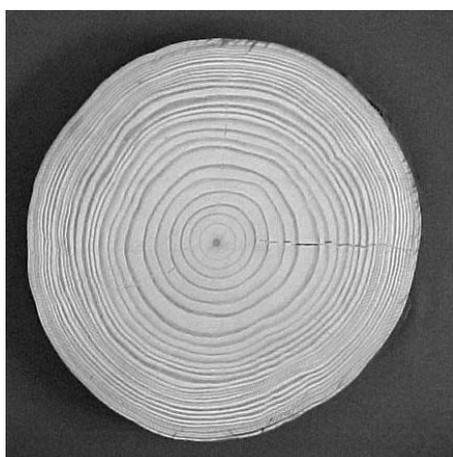
O grupo das Angiospermas se divide em duas categorias: Monocotiledôneas e Dicotiledôneas.

Na categoria das Monocotiledôneas encontram-se as palmas e gramíneas. As palmas são madeiras que não apresentam boa durabilidade, mas podem ser utilizadas de modo satisfatório em estruturas temporárias, como escoramentos e cimbramentos. Nas gramíneas destaca-se o bambu, que não é madeira no sentido usual da palavra, mas tendo em vista a sua boa resistência mecânica associada à sua baixa densidade, presta-se para a construção leve.

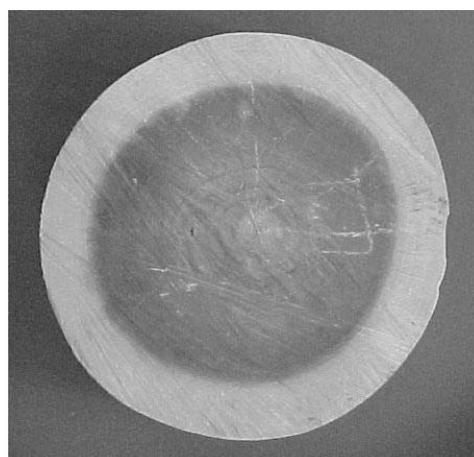
Já as Dicotiledôneas são usualmente designadas como madeira dura ou “**hardwoods**”. Nesta categoria encontram-se as principais espécies utilizadas na construção civil no Brasil, atualmente, CALIL et al (2009).

1.3 FASES DE CRESCIMENTO DA ÁRVORE

O crescimento principal da árvore ocorre verticalmente. Esse crescimento é contínuo, apresentando variações em função das condições climáticas e da espécie da madeira. Além desse crescimento vertical, ocorre também um aumento do diâmetro do tronco devido ao crescimento das camadas periféricas responsável pelo crescimento horizontal (câmbio), CALIL et al (2009). No corte transversal de um tronco de árvore estas camadas aparecem, anualmente, como anéis de crescimento. Em cada anel, existe uma madeira mais clara, que é menos densa e resistente, proveniente do crescimento mais acelerado que ocorre na primavera/verão, ao contrário da madeira de outono/inverno. Como pode ser observado na figura 1.1, esta diferença é mais pronunciada para a conífera, por ser proveniente de regiões nas quais as diferenças entre as estações do ano são bem pronunciadas. Nesta figura, também pode ser observado, que o cerne, região mais escura formada pelo depósito de substâncias ao longo da vida da árvore, é mais pronunciado no caso das dicotiledôneas (folhosas).



(a) conífera



(b) dicotiledônea (folhosa)

Figura 1.1 - Exemplos de seções transversais de troncos de árvore. Fonte: CALIL et al (2009).

A figura 1.2 mostra as diversas camadas constituintes da seção transversal, do ponto de vista macroscópico.

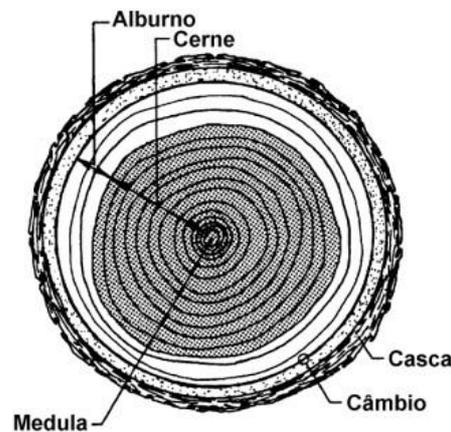


Figura 1.2 - Elementos macroscópicos da seção de uma árvore (fonte: RITTER, 1990).

Podem ser observadas as seguintes características: medula, que é a madeira proveniente da fase inicial do crescimento da árvore, geralmente a madeira mais fraca ou defeituosa; lenho, formado pelos anéis de crescimento, se apresentando recoberto por um tecido especial chamado casca; entre a casca e o lenho existe uma camada extremamente delgada, aparentemente fluida, denominada câmbio.

A seiva bruta, retirada do solo, sobe pela camada periférica do lenho, o alburno, até as folhas, onde se processa a fotossíntese produzindo a seiva elaborada que desce pela parte interna da casca, o floema, até as raízes. Parte desta seiva elaborada é conduzida radialmente até o centro do tronco por meio dos raios medulares.

As substâncias não utilizadas pelas células como alimento são lentamente armazenadas no lenho. A parte do lenho modificada por essas substâncias é designada como cerne, geralmente mais densa, menos permeável a líquidos e gases, mais resistente ao ataque de fungos apodrecedores e de insetos. Em contraposição, o alburno, menos denso, constituído pelo conjunto das camadas externas do lenho, mais permeáveis a líquidos e gases está mais sujeito ao ataque de fungos apodrecedores e insetos.

1.4 EVOLUÇÃO DAS FLORESTAS PLANTADAS DE EUCALIPTO E PINUS NO BRASIL

No Brasil, a partir de 1966, o governo instituiu um programa de incentivos fiscais para aumentar a área plantada de Eucalipto e Pinus no país. Em poucos anos, a área com plantações de Eucalipto saltou de 400 mil para 3 milhões de hectares. Atualmente, no país, existe uma grande disponibilidade destas espécies. A tabela 1.1 apresenta as áreas de florestas plantadas com Eucalipto e Pinus em alguns estados no Brasil no período entre 2004 e 2008.

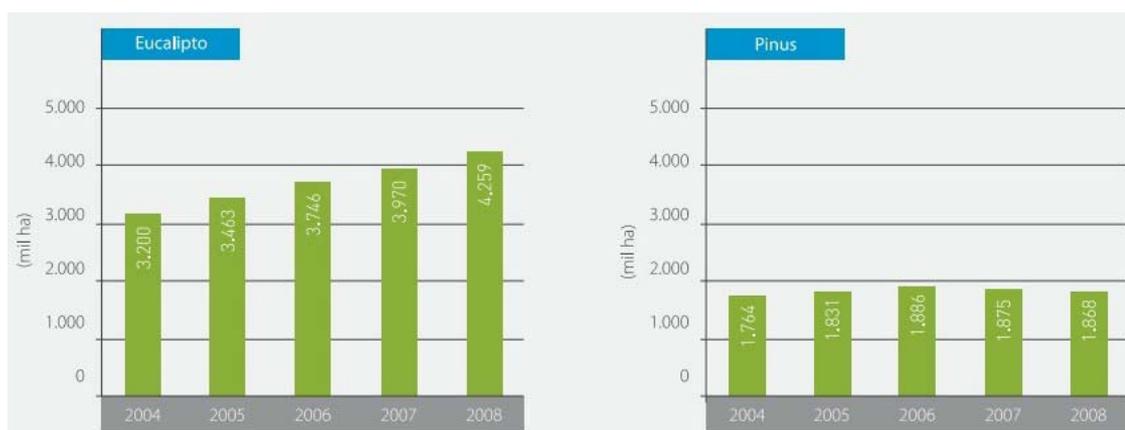
Tabela 1.1 - Área de florestas plantadas com Eucalipto e Pinus no Brasil (2004 a 2008).

Estado	EUCALIPTO (ha)					PINUS (ha)					TOTAL (ha)				
	2004	2005	2006	2007	2008	2004	2005	2006	2007	2008	2004	2005	2006	2007 ^a	2008
MG ¹	1.040.048	1.119.129	1.181.429	1.218.212	1.278.212	150.000	149.915	146.000	143.395	145.000	1.190.048	1.269.174	1.327.429	1.361.607	1.423.212
SP ²	747.347	798.522	915.841	911.908	934.360	140.655	148.020	214.491	209.621	207.840	888.002	946.542	1.130.332	1.121.529	1.142.199
PR	111.966	114.996	121.908	123.070	142.434	662.552	677.772	686.453	701.578	714.893	774.518	792.768	808.361	824.648	857.328
SC	60.000	61.166	70.341	74.008	77.436	513.398	527.079	530.992	548.037	551.219	573.398	588.245	601.333	622.045	628.655
BA	481.543	527.386	540.172	550.127	587.606	52.122	54.746	54.820	41.221	35.090	533.665	582.132	594.992	591.348	622.696
RS	152.689	179.690	184.245	222.245	277.316	169.766	185.080	181.378	182.378	173.163	322.455	364.770	365.623	404.623	450.480
MS	98.846	113.432	119.319	207.687	265.254	27.871	38.909	28.500	20.697	18.797	126.717	152.341	147.819	228.384	284.051
ES	179.213	204.035	207.800	208.819	210.409	4.554	4.898	4.408	4.093	3.991	183.767	208.993	212.208	212.912	214.399
PA	100.793	106.033	115.806	12.6286	136.294	0	149	149	101	11	100.793	106.182	115.955	126.387	136.305
MA	57.852	60.745	93.285	106.802	11.1.117	0	0	0	0	0	57.852	60.745	93.285	106.802	111.117
AP	57.226	60.087	58.473	58.874	63.309	26.516	27.841	20.490	9.000	1.620	83.742	87.928	78.963	67.874	64.929
GO	44.114	47.542	49.637	51.279	56.881	12.692	13.330	14.409	13.828	15.198	56.806	60.872	64.046	65.107	72.079
MT	42.417	42.417	46.146	57.151	58.580	42	43	7	7	7	42.459	42.460	46.153	57.158	58.587
Outros	25.762	27.409	41.392	53.244	59.496	3.527	3.703	4.189	700	850	29.289	31.112	45.581	46.186	60.346
total	3.199.816	3.462.719	3.745.794	3.969.711	4.258.704	1.763.695	1.831.485	1.886.286	1.874.656	1.867.680	4.963.511	5.294.204	5.632.080	5.836.610	6.126.384

Fonte: ABRAF (2009).

Com destaque histórico, as áreas de florestas plantadas no Brasil acumularam em 2008 o total estimado de 6.126.000 ha com eucalipto e pinus. Este total representa um acréscimo de cerca de 282.000 ha plantados em relação ao total estimado do ano anterior (5.844.367 ha). Consta-se crescimento de 7,3% na área plantada com eucalipto e queda de 0,4% no pinus, o que resulta em aumento de 4,38% da área com florestas plantadas acumulada até 2008, em relação a 2007, conforme estatística da ABRAF (2009).

O gráfico 1.1 retrata a evolução da área com florestas plantadas no Brasil entre 2004 e 2008, por espécie, com suas respectivas taxas anuais de crescimento e no período. Observa-se que a área plantada com pinus apresenta pequena queda a partir de 2007, enquanto o eucalipto está em contínuo crescimento.



Eucalipto: Taxa média de Crescimento Anual de 7,4%.
Taxa de Cresc. de 33,1% no Período de 2004 a 2008.

Pinus: Taxa média de Crescimento Anual de 1,4%.
Taxa de Cresc. de 5,9% no Período de 2004 a 2008.

Gráfico 1.1: Evolução da área com florestas plantadas de Eucalipto e Pinus no Brasil (2004-2008).

Fonte: ABRAF e STCP (2009).

No gráfico 1.2 observa-se o percentual da distribuição das florestas plantadas, entre Eucalipto e Pinus, nos principais estados brasileiros.



Gráfico 1.2: Distribuição das florestas plantadas com Eucalipto e Pinus no Brasil por estado em 2008. Fonte: ABRAF e STCP (2009).

Na atualidade, a utilização da madeira de reflorestamento Eucalipto e Pinus para fins estruturais na construção civil, como uma alternativa às espécies tropicais é uma solução adequada. As peças estruturais são normalmente utilizadas roliças ou serradas com tratamento preservativo.

1.5 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS

A utilização de peças roliças de madeira de reflorestamento como material para a construção civil apresenta inúmeras vantagens, por mais que ainda persista a equivocada idéia de que a madeira tem pequena vida útil. A resistência da madeira roliça, o baixo peso, o baixo consumo energético para processamento, a sua disponibilidade e o seu fácil manuseio fazem com que ela se torne um material altamente competitivo, com custos reduzidos e de maneira sustentável. Seu baixo peso traz um alívio às estruturas de fundações assim como sua relação peso versus resistência faz com que as estruturas sejam mais esbeltas. Ela é capaz de suportar sobrecargas de curta duração sem efeitos nocivos.

Para a execução da estrutura com madeira roliça torna-se desnecessário o emprego de mão-de-obra altamente especializada e a execução de sua construção torna-se efetivamente rápida.

A utilização da madeira de reflorestamento por contar com espécies apropriadas à construção civil, rápido crescimento se comparado ao das “madeiras de lei”, e adequação a várias regiões do solo brasileiro, possibilita ainda, o seu cultivo próximo aos grandes centros, diminuindo assim, o custo com transporte e prejuízos ecológicos, PARTEL (1999).

As estruturas projetadas com peças de madeira roliça apresentam grandes vantagens quando comparadas com as de peças de madeira serrada,

correlacionando, sustentabilidade econômica e ambiental. No processo de industrialização das Peças de Madeira Roliças Tratadas, há uma grande redução de custo, pois requer menos investimento em equipamentos e maquinários, gerando redução na mão-de-obra, menor consumo de energia e menos desperdícios dos recursos naturais e matéria prima. Durante os processos de cortes das Madeiras Serradas, geram-se resíduos da ordem de 60% a 70% da peça original, para garantir a planicidade das peças e conseqüentemente, as peças estruturais apresentarão menores dimensões transversais, diminuindo a resistência e a rigidez da peça CALIL (2007). A figura 1.3 representa um comparativo de aproveitamento entre a peça de madeira roliça e a madeira serrada.

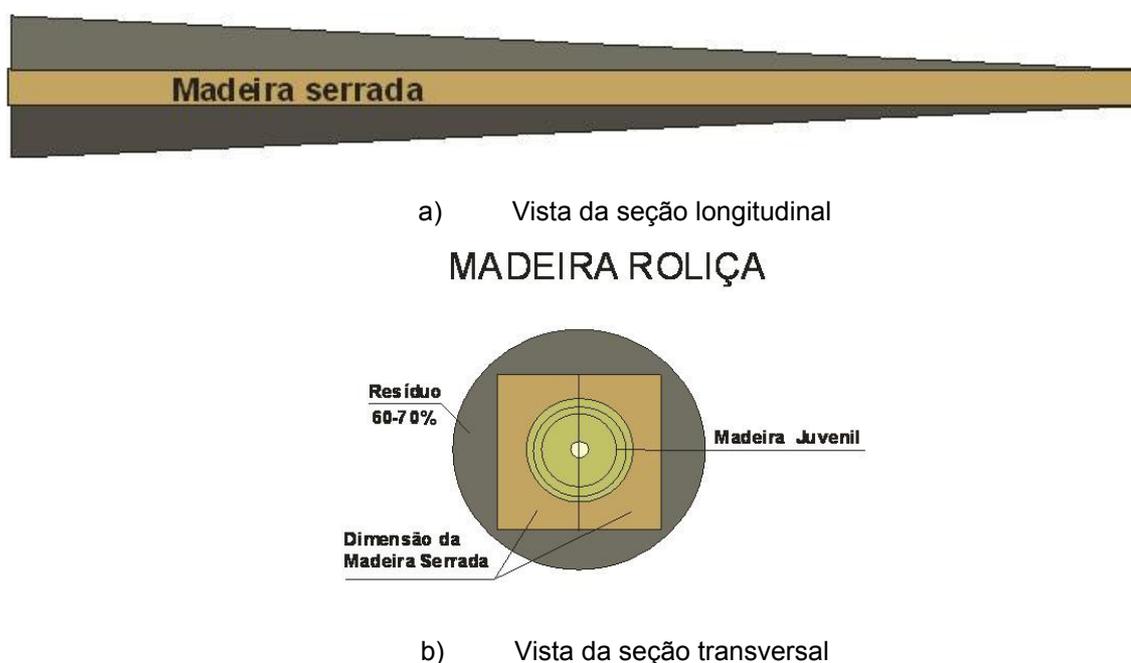


Figura 1.3: Comparativo de aproveitamento entre a Peça de Madeira Roliça e a Madeira Serrada.
Fonte: CALIL (2007).

Para o desenvolvimento de pesquisas na aplicação da madeira em sua forma roliça, podem ser citadas as seguintes vantagens; melhoria da estabilidade, principalmente das espécies reflorestadas; melhoria das características mecânicas, porque o material é deixado na sua forma natural e as fibras longitudinais não são cortadas como na madeira serrada, PARTEL (1999). Desta forma, às características físicas, das Peças de Madeira Roliça, apresentam maior resistência média, maior rigidez e menor variação que as Peças Serradas. Este fato ocorre devido à utilização eficiente de toda seção transversal, sem sofrer grandes mudanças das propriedades das peças.

As principais desvantagens das peças roliças de madeira, devido às características geométricas, estão em garantir a aquisição de peças retilíneas e a variabilidade dimensional. O principal fator relacionado com a variabilidade dimensional é a diminuição de 1% a 3%, por metro, da resistência ao momento fletor, ao longo da altura da peça referente à conicidade, sendo que a porção da madeira juvenil aumenta esta relação e a região com nós tem um efeito amplificador deste fenômeno, CALIL (2007).

Outra vantagem importantíssima na atualidade, para a utilização em construções de estruturas com peças roliças de madeira, além do fato de que estas madeiras são sempre provenientes de árvores reflorestadas, preservando as florestas nativas, tem a questão do seqüestro de dióxido de carbono (CO_2). Apesar dos reflorestamentos de eucaliptos e pinus serem monoculturas (ecossistemas pobres), estas plantações apresentam um grande benefício ambiental compensador. O importante fator positivo é o grande potencial de seqüestro de dióxido de carbono (CO_2), ARRUDA et al (2006). As árvores jovens de grande produção de biomassa e de curto ciclo necessitam de grandes quantidades de CO_2 para promover à fotossíntese. O potencial de seqüestro de CO_2 é considerado pela maioria dos pesquisadores um dos principais critérios na avaliação do benefício eco-ambiental de uma planta. A elevada produção de biomassa e a alta rotação transformam o eucalipto em um campeão de seqüestro de gás carbônico sendo este o principal causador de efeito estufa, REVISTA DA MADEIRA (2007). Em florestas virgens nativas essa relação de seqüestro de CO_2 está em equilíbrio. Os grandes devoradores de CO_2 são as árvores em fase de crescimento. Quanto maior sua rotatividade mais eficiente é o processo. O engenheiro e professor Eugen Stumpp *apud* REVISTA DA MADEIRA (2007), pesquisador da Universidade de Caxias do Sul, em sua tese de doutorado citou muitos pesquisadores e baseou suas informações com muito destaque ao Eucalipto. O pesquisador da USP Aziz Ab'Saber *apud* REVISTA DA MADEIRA (2007) procurou introduzir no Brasil as florestas sociais, ou seja, o aproveitamento de solos pobres para o plantio de árvores de alta rotação, reconhecendo que o eucalipto seria uma das espécies que melhor se enquadraria na proposta.

2 CLASSIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL

2.1 CLASSIFICAÇÃO ESTRUTURAL

A classificação estrutural é um processo de selecionar as peças de madeira roliça com base na estimativa de suas propriedades mecânicas. A única maneira de saber o valor real da resistência da madeira é romper cada peça, o que não viável. Portanto, é necessário estimar as propriedades estruturais pela relação com outros indicadores das propriedades CALIL et al (2003).

O processo de classificação estrutural é realizado pela escolha de algumas características da madeira que são razoavelmente bem correlacionadas com todas as propriedades estruturais. Devido à natural variabilidade das propriedades da madeira, há uma grande faixa de resistência e rigidez em cada classe ou grupo CALIL et al (2006).

O agrupamento das propriedades estruturais é realizado utilizando-se:

- **Resistência:** o mais próximo do menor valor esperado em cada grupo ou classe. Tipicamente é tomado como um valor característico da resistência, baseado no valor do quantil de 5% da distribuição estatística, dividido por um coeficiente de segurança. As propriedades de resistência são usadas para avaliar a capacidade última dos elementos estruturais, pela análise do Estado Limite Último (ELU), envolvendo o risco de vida dos usuários da edificação ou da estrutura.

- **Rigidez:** a característica de rigidez é baseada no valor médio do módulo de elasticidade das peças. Esta é apropriada para uso em pisos, pórticos e sistemas onde ocorre a divisão da carga entre elementos paralelos. É também apropriado para predeterminar os deslocamentos da estrutura. As propriedades de rigidez são usadas na avaliação dos Estados Limites de Serviço (ELS) da estrutura, os quais estão relacionados com a funcionalidade da estrutura.

Outro parâmetro importante considerado para o dimensionamento de postes de eucalipto é a conicidade (c) da árvore, que corresponde à variação do diâmetro da seção ao longo do comprimento.

Segundo CHRISTOFORO (2007), os documentos normativos da atualidade que tratam da determinação das propriedades de rigidez e resistência para elementos roliços estruturais de madeira não levam em consideração em seus modelos matemáticos a influência das irregularidades existentes na geometria dessas peças.

Para os postes de eucalipto, a variação na conicidade, pode ser adotada como aproximação simplificada, com valores entre $5\text{mm/m} < c < 10\text{mm/m}$, PARTEL (1999).

A Norma brasileira apresenta dois tipos de classificação: a visual e a mecânica. Na classificação visual, os postes de madeira devem cumprir os critérios para aceitação e rejeição de postes de madeira conforme os critérios da NBR 8456:1984. A classificação mecânica dos postes de madeira é feita através de ensaio direto realizado por amostragem aleatória efetuada 20 dias após a retirada de postes da autoclave.

A NBR 7190:1997 determina que as peças devem ser classificadas como de segunda categoria quando não houver a aplicação simultânea de classificação visual e mecânica e enquadradas segundo as classes de resistência das madeiras. As classes de resistência das madeiras têm, por objetivo, o emprego de madeiras com propriedades padronizadas, orientando a escolha do material para elaboração de projetos estruturais.

A especificação da madeira a ser utilizada em qualquer estrutura deve ser feita por profissional que tenha conhecimento dos princípios da classificação estrutural.

As peças roliças de madeira são classificadas através de dois critérios: a classificação visual e a classificação mecânica.

2.1.1 Classificação visual

A classificação visual é baseada na premissa de que as propriedades mecânicas de uma peça de madeira diferem das propriedades mecânicas da madeira isenta de defeito devido às características de crescimento, e tais características podem ser vistas e julgadas pelo olho humano. Com o auxílio de regras de classificação, as características de crescimento são usadas para selecionar a madeira em classes de qualidade.

Portanto, como o indicador deste processo de classificação é a presença de características visuais discerníveis, todas as peças de madeira roliça são examinadas por um classificador treinado no conhecimento de elementos que diminuem a resistência e rigidez da madeira, tais como: nós ou cordões, fendas, rachas, inclinação das fibras, etc.

As principais particularidades para classificação visual, descritas pela NBR 8456:1984, para aceitação de postes preservados devem possuir características padrão, ser isentos de defeitos inaceitáveis, apresentar características de defeitos aceitáveis respeitando certas limitações, e ter acabamento.

Conforme o item “4.5.2 Defeitos inaceitáveis” da NBR 8456:1984, os postes devem:

- ser isentos de sinais de apodrecimento, principalmente no cerne, figura 2.1b;
- avarias no albarno provenientes do corte ou transporte;
- fraturas transversais;
- depressões acentuadas;
- orifícios, pregos, cavilhas ou quaisquer peças metálicas, não especificamente autorizadas.

Segundo a ASTM D25-99 (2005), os principais defeitos naturais de degradação, proibitivos para estruturas, em peças roliças de madeira após o abate, expostas ao meio de agressividade ambiental são:

- sinais de apodrecimento ao redor do nó, figura 2.1a;
- sinais de apodrecimento da medula e do cerne, figura 2.1b.
- separação devido às propriedades diferenciais de retração e fibras retorcidas, figura 2.2.



a) Sinais de apodrecimento ao redor do Nó



b) Sinais de apodrecimento da medula e do Cerne.

Figura 2.1: Sinais de apodrecimento. Fonte: CALIL (2007).

Madeira juvenil exposta /
madeira reação ao redor do nó

Separação devida as
propriedades diferenciais de
retração e fibras retorcidas

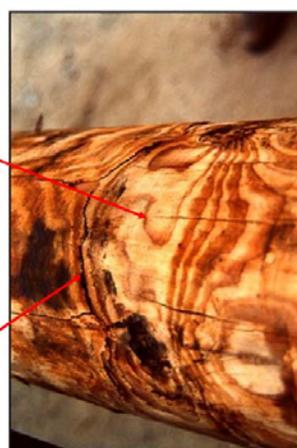


Figura 2.2: Separação devida às propriedades diferenciais de retração e fibras retorcidas. Fonte: CALIL (2007).

No item “4.5.3 Defeitos Aceitáveis” da NBR 8456:1984, são tolerados os seguintes defeitos com extensão limitada:

- curvatura, figuras 2.3 e 2.4;
- sinuosidade em qualquer trecho, figuras 2.6, 2.7 e 2.8;
- fendas¹ no topo, corpo e base, figura 2.9;
- rachas² no topo e na base e com profundidade máxima de 5 cm, figura 2.10;
- nós ou orifícios de nós existentes em qualquer trecho de 30 cm, figura 2.11;
- veios inclinados ou espiralados, conforme figura 2.12.

Os subitens a seguir descrevem as conformidades para aceitação de postes preservados, de peças roliças de madeira de reflorestamento, conforme a NBR 8456:1984.

2.1.1.1 Curvatura

Conforme descrito na NBR 8456:1984, curvatura é o desvio de direção longitudinal do poste.

Os critérios de curvaturas máximas toleráveis em postes são:

- Curvatura Simples, conforme figura 2.3;
- Curvatura Dupla, conforme figura 2.4.



Figura 2.3: Curvatura Simples, um plano e uma direção. Fonte NBR 8456:1984

Onde, para Curvatura Simples:

A – linha de afloramento, ponto de superfície do poste na seção superior do engastamento.

B – topo do poste, aresta

$C_{máx}$ – curvatura máxima, e deve ser igual ou inferior a 1,4 cm p/ cada metro de distância entre os pontos A e B.

e – comprimento de engastamento

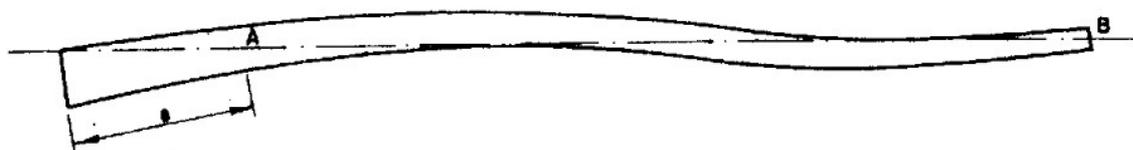


Figura 2.4: Curvatura Dupla, dois planos ou em duas direções no mesmo plano. Fonte NBR 8456:1984

Onde, para Curvatura Dupla:

A – linha de afloramento, ponto médio na seção superior do engastamento

B – topo do poste, ponto médio

e – comprimento de engastamento

Conforme NBR 8456:1984, a linha imaginária que passa pelos pontos A e B não deve ultrapassar a superfície externa do poste.

¹ Fenda é a separação do tecido lenhoso, ao longo das fibras, em geral transversalmente aos anéis de crescimento, podendo se estender de um lado ao outro do poste, e nesse caso é denominada fenda diametral. Fonte: NBR 8456:1984.

² Racha é a separação dos tecidos lenhosos, ao longo das fibras, entre dois anéis de crescimento. Fonte: NBR 8456:1984.

Na figura 2.5, pode ser observado um poste com curvatura simples acentuada.



Figura 2.5: Poste com curvatura simples acentuada. Fonte: CALIL (2007).

2.1.1.2 Sinuosidade

Conforme descrito na NBR 8456:1984, sinuosidade é o desvio de direção do poste, medido em um comprimento definido.

A NBR 8456:1984 divide os critérios de sinuosidade máximas admitidas em postes de eucalipto, em três tipos:

- Sinuosidade com eixos de referência aproximadamente paralelos, conforme figura 2.6;
- Sinuosidade com eixos de referência praticamente coincidentes, conforme figura 2.7;
- Sinuosidade com eixos de referência não paralelos, conforme figura 2.8.

CrITÉRIOS anÁlogos a estes, estão descritos na ASTM D25-99 (2005).

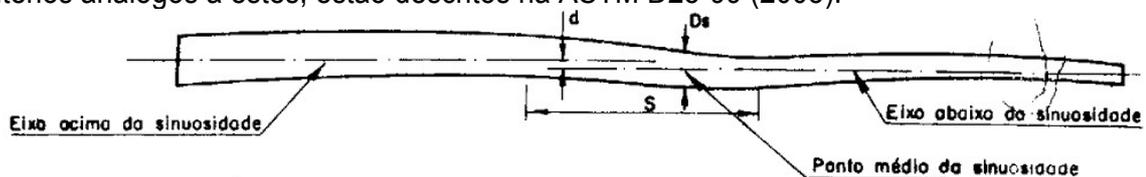


Figura 2.6: Sinuosidade com eixos de referência aproximadamente paralelos. Fonte: NBR 8456:1984.

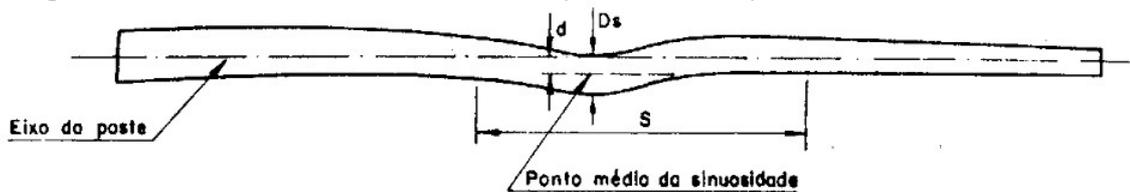


Figura 2.7: Sinuosidade com eixos de referência praticamente coincidentes. Fonte: NBR 8456:1984.

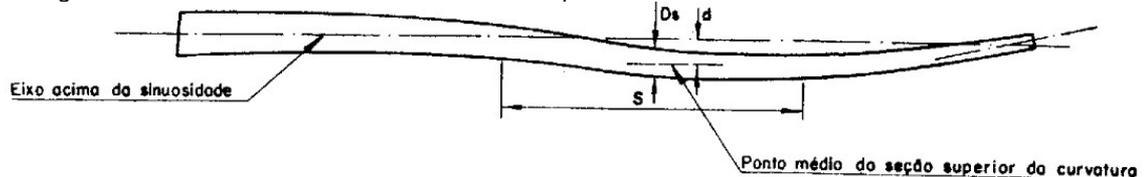


Figura 2.8: Sinuosidade com eixos de referência não paralelos. Fonte: NBR 8456:1984.

Onde:

S – Comprimento do trecho onde existe sinuosidade

D_s – Diâmetro da seção média das partes sinuosas

d – Desvio entre eixos

Conforme a NBR 8456:1984, deve-se verificar, simultaneamente: $S > 1,5 \text{ m}$
 $d < D_s/2$

2.1.1.3 Fendas

Conforme descrito na NBR 8456:1984, fenda é a separação do tecido lenhoso, ao longo das fibras, em geral transversalmente aos anéis de crescimento, podendo se estender de um lado ao outro do poste, e nesse caso é denominada fenda diametral.

As fendas surgem nas peças roliças de madeira, oriundas do processo de secagem natural, ou artificial devido ao efeito de retração que provocam o fendilhamento. Podem ocorrer em todo o comprimento da peça.

A ocorrência predominante nas peças é transversalmente na direção radial e tendem ao crescimento na direção longitudinal. Na tabela 2.1 são apresentadas as dimensões máximas das fendas, toleráveis para peças estruturais, referentes aos procedimentos para realizar este tipo de classificação visual. E a figura 2.9 detalha estes procedimentos.

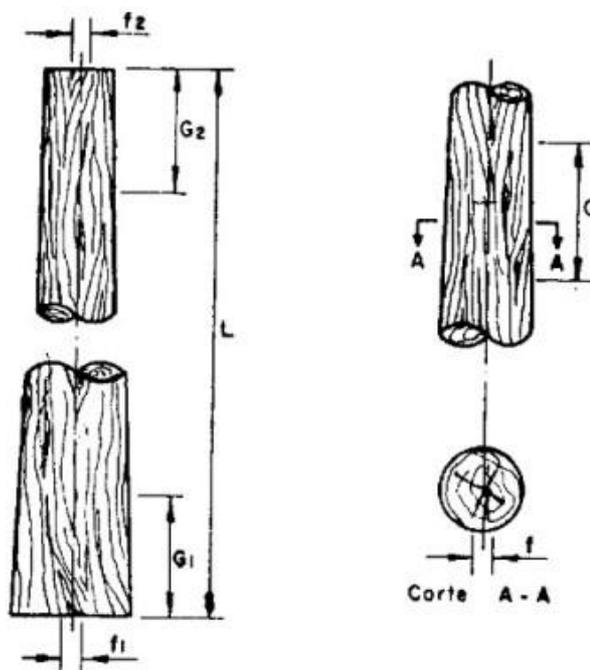


Figura 2.9: Dimensões Máximas das Fendas. Fonte: NBR 8456:1984.

Tabela 2.1: Comprimentos Máximos das Fendas.

L (m)	Topo		Corpo		Base	
	G2 (cm)	f2 (cm)	G (cm)	f (cm)	G1 (cm)	f1 (cm)
<10	30	1	100	1	30	1
>10	30	1	200	0,5	75	1

Fonte: NBR 8456:1984.

Notas:

- no corpo do poste as fendas não podem ter profundidade superior a 2 cm.
- no topo do poste não se admite fenda diametral.

2.1.1.4 Rachas

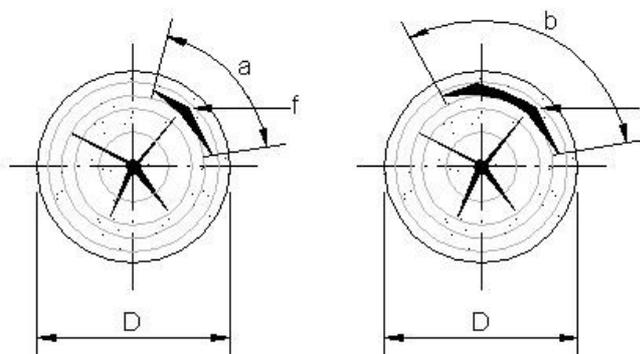
Conforme descrito na NBR 8456:1984, racha é a separação dos tecidos lenhosos, ao longo das fibras, entre dois anéis de crescimento.

As rachas surgem nas peças roliças de madeira, oriundas do processo de secagem natural, ou artificial, também devido ao efeito retração. Podem ocorrer no topo ou na base das peças, com ocorrência predominante transversalmente na direção tangencial aos anéis de crescimento nas coníferas ou tangenciais ao cerne nas dicotiledôneas, e tendem ao crescimento na direção longitudinal.

Para utilização de elementos estruturais com peças roliças de madeira, as dimensões máximas toleráveis das rachas no topo e na base com profundidade máxima de 5 cm, devem atender as seguintes relações:

- a) rachas com ângulo de até 90° : $f = 0,10 \cdot D$
- b) rachas com angulo superior a 90° : $f = 0,05 \cdot D$

A figura 2.10 detalha as especificações das dimensões máximas das rachas, toleráveis para peças estruturais, referentes aos procedimentos para realizar este tipo de classificação visual.



a) Rachas c/ ângulo de até 90° b) Rachas c/ ângulo superior a 90°
 Figura 2.10: Dimensões Máximas das Rachas. Fonte: NBR 8456:1984.
 Onde: f é a abertura; D é o diâmetro do topo ou da base

2.1.1.5 Nós ou cordões

Conforme descrito na NBR 8456:1984, nó é a parte inicial de um galho, remanescente no poste. Os nós ou cordões são defeitos naturais das peças, oriundos das regiões onde existiam galhos nas árvores e surgem transversalmente nas peças. A tabela 2.2 apresenta as dimensões máximas de nós ou cordões, aceitáveis para peças estruturais, referentes aos procedimentos para realizar a classificação visual. A figura 2.11 detalha com clareza estes procedimentos.

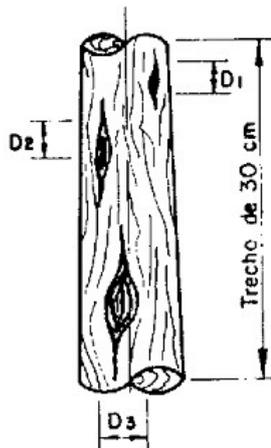


Figura 2.11: Dimensões Máximas de Nós ou Cordões. Fonte: NBR 8456:1984.

Tabela 2.2: Dimensões Máx. de Nós ou Cordões.

L (m)	Dimensões Máx. de Nó ou Cordão	Somat. Diâmetros num trecho de 30 cm
	D (cm)	ΣD (cm)
<14	8,50	20,00
>14	13,00	25,00

Fonte: NBR 8456:1984.

Notas:

- Não devem ser considerados nós ou orifícios de nós com diâmetro D igual ou inferior a 1,5cm.
- Protuberância ou nó fechado não constitui defeito, não devendo, portanto, ser levado em conta, quando aparecer na superfície do poste.

Recomendações conforme descrito na ASTM D25-99 (2005):

- não deve ser aceito Nó com dimensão maior que um sexto (1/6) da circunferência do poste localizado na seção onde ocorre o nó;
- Nós de agrupamento são considerados como um único nó, e o agrupamento inteiro não pode ser maior que a dimensão permitida para um único nó.
- A soma dos diâmetros dos nós em qualquer trecho de 304 mm, ao longo do comprimento do poste, não poderá exceder um terço (1/3) da circunferência na região onde eles ocorrem.

2.1.1.6 Veios inclinados ou espiralados

Conforme descrito na NBR 8456:1984, veio é a disposição na direção longitudinal dos elementos constitutivos da madeira. Pode ser expresso como veio reto, inclinado, entrelaçado, etc. Veio inclinado, é o desvio angular em relação ao eixo longitudinal do poste. A figura 2.12 detalha com clareza estes procedimentos.

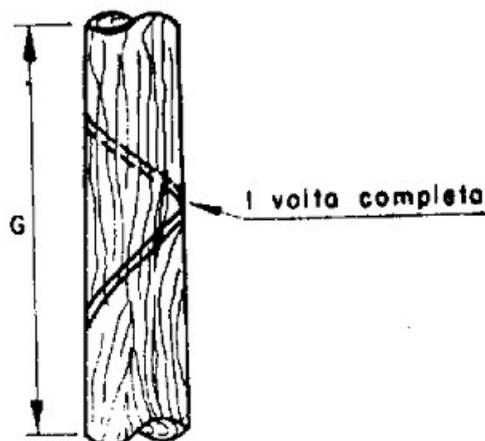


Figura 2.12: Veios inclinados. Fonte: NBR 8456:1984.

Tabela 2.3: Veios inclinados

Torção máxima em 1 volta			
L (m)	< 10	10 e 14	> 14
G (m)	3	4	6

Fonte: NBR 8456:1984

Os veios inclinados, também conhecidos como grã-espiralada, é determinada pela orientação espiral dos elementos axiais constituintes da madeira em relação ao fuste da árvore. Em árvores vivas, sua presença pode ser muitas vezes visualizada pela aparência espiralada da casca, podendo, no entanto, estar oculta sob uma casca de aspecto normal.

A existência de grã-espiralada traz sérias conseqüências para a utilização da madeira, como a diminuição da resistência mecânica, aumento das deformações de secagem e dificuldade para se conseguir um bom acabamento superficial. Além das conseqüências citadas, quando ocorre uma volta completa do elementos axiais em menos de 10 m de comprimento do fuste, a madeira apresenta sérias limitações quanto à sua utilização, sobretudo para fins estruturais. Conforme descrito na ASTM D25-99 (2005), a grã-espiralada não poderá exceder 180 deg de torção, medido em qualquer trecho de 6,1 metros, ao longo do comprimento do poste.

2.1.1.7 Razão crescimento nas coníferas

Segundo a ASTM D25-99 (2005), a razão de crescimento para postes, deve ser admitida pelo menos de 6 anéis por polegada, nos 50% do raio externo no topo do poste e com 33% de madeira de verão. Exceção: Postes com menos de 6 anéis por polegada são aceitáveis se a média for de 50% ou mais de madeira de verão e apresentam dentro de 50% do raio externo, no topo do poste.



Figura 2.13: Razão crescimento nas coníferas. Fonte: CALIL (2007).

2.1.1.8 Abertura entre os anéis de crescimento

Conforme a ASTM D25-99 (2005), a abertura entre os anéis de crescimento (Shake), figura 2.14, é definido como sendo uma separação circunferencial dos anéis de crescimento, proveniente do descolamento entre os anéis. A dimensão de qualquer abertura entre os anéis de crescimento ou combinação de aberturas entre os anéis de crescimento, da extremidade a metade do raio ao centro do poste, quando medido ao longo da curva do anel de crescimento, não deve exceder um terço da circunferência do poste.

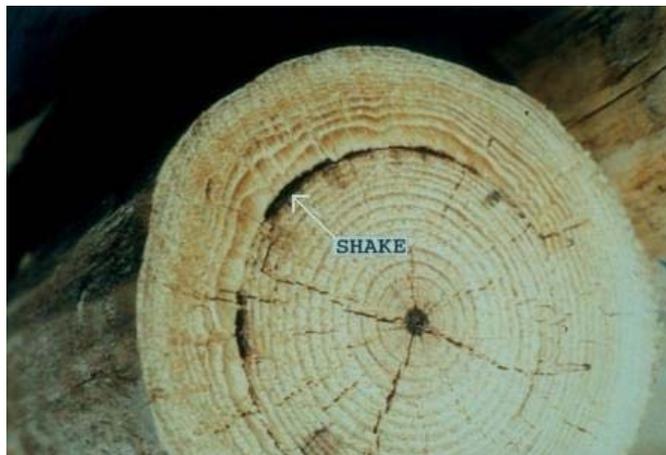


Figura 2.14: Abertura entre os anéis de crescimento. Fonte: CALIL (2007).

2.1.2 Classificação mecânica

Os principais ensaios de classificação Mecânica para elementos estruturais com peças roliças de madeira são: o ensaio estático e a técnica da vibração transversal. Estes processos de ensaios envolvem os testes de todos os corpos de prova, usando alguns parâmetros de fácil medida para correlacionar com as propriedades de resistência e rigidez.

2.1.2.1 Ensaio estático

Segundo ZANGIACOMO (2007), com base nas análises dos resultados de ensaios realizados com peças roliças estruturais versus corpos-de-prova isentos de defeitos, conclui-se que há diferenças significativas entre os valores de módulos de elasticidade obtidos em ensaios de flexão estática, em elementos estruturais, e em corpos-de-prova de dimensões reduzidas, há diferenças significativas entre os valores de módulos de elasticidade obtidos em ensaios de compressão paralela às fibras em elementos estruturais e em corpos-de-prova de dimensões reduzidas, e também há diferenças significativas entre os valores de resistência obtidos em ensaios de compressão paralela às fibras em elementos estruturais e em corpos-de-prova de dimensões reduzidas.

Diante das diferenças significativas resultantes de ensaios com peças roliças estruturais versus corpos-de-prova isentos de defeitos, ZANGIACOMO (2007) recomenda o estabelecimento de metodologia de ensaio específica para peças estruturais roliças, sendo proposta a de ensaios de flexão estática com força concentrada aplicada no meio do vão.

Neste método de classificação, um carregamento conhecido é aplicado sobre a peça biapoiada, flexionando a mesma. Com o objetivo de reduzir a influência do esforço cortante no deslocamento vertical e com isso determinar de forma mais precisa o módulo de elasticidade é recomendado uma relação L/d_{eq} maior ou igual a 20. Para analisar os resultados dos deslocamentos utilizam-se os relógios comparadores com sensibilidade de um centésimo de milímetro. A figura 2.15 apresenta o esquema estático bi-apoiado para o ensaio à flexão de peças estruturais.

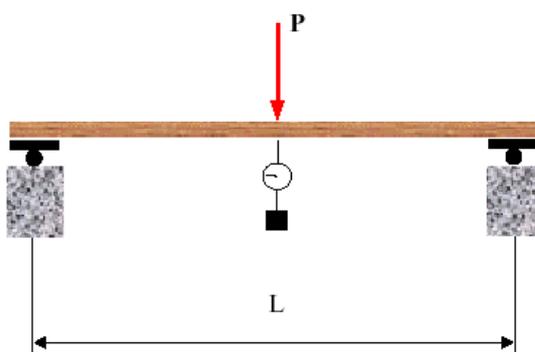


Figura 2.15: Esquema estático do ensaio à flexão de peças estruturais (vigas). Fonte: Base de Dados LaMEM.

Onde: L é comprimento entre apoios da peça, vão da peça (m) e d_{eq} é o diâmetro equivalente da peça (m).

A NBR 6231:1980 Postes de madeira – Resistência à Flexão, prescreve apenas o método pelo qual deve ser feito o ensaio de resistência à flexão de postes de madeira, supondo a

peça engastada na base e livre no topo, figura 2.16, simulando o sistema estrutural de postes de eletrificação.

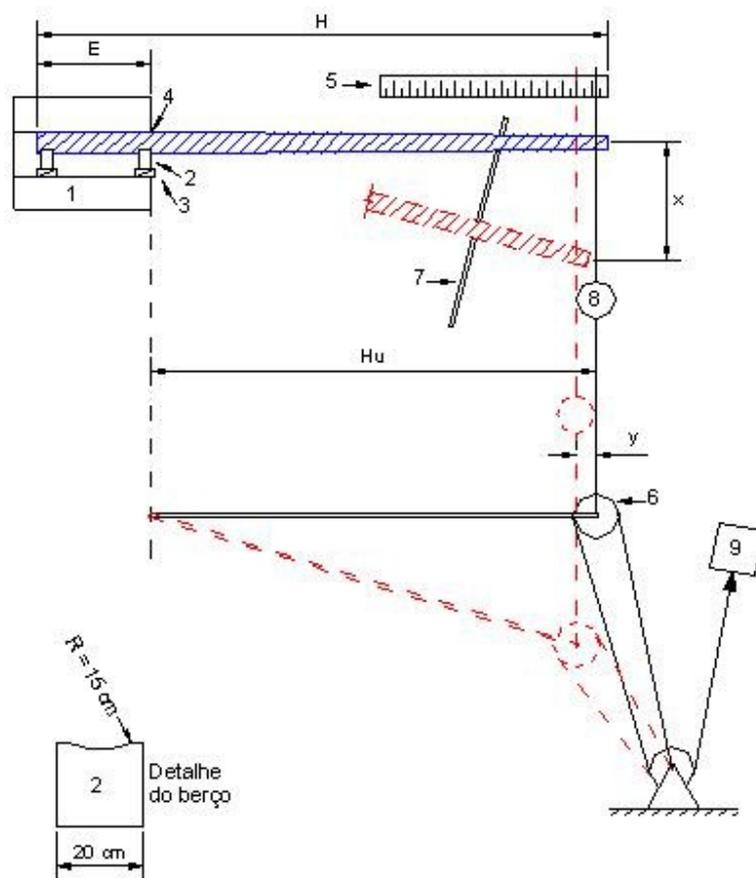


Figura 2.16: Dispositivo para ensaios de postes. Fonte: (NBR 6231:1980).

O procedimento de execução do ensaio conforme a NBR 6231:1980, determina que seja aplicada uma carga continuamente a 30 cm do topo do poste, até ocorrer à ruptura, de tal forma que a velocidade de deformação seja constante e igual ao valor dado pela expressão:

$$V = K \cdot \frac{h_u}{C}$$

Onde: V é a velocidade de deformação em cm/min;

h_u é o braço de alavanca em cm;

C é a circunferência na seção de engastamento em cm;

K é igual à constante 0,00146.

A medida das forças deve ser efetuada através de um dinamômetro ou dispositivo equivalente, com erro inferior a 5% e cujo mostrador apresente indicador de presença no ponto de carga máxima aplicada após a ruptura do corpo-de-prova.

A medida da flecha (x), no ponto de aplicação de carga, deve ser feita na direção do esforço. Igualmente deve ser medido o deslocamento do ponto de aplicação de carga (y) em direção a base do poste, em consequência da deformação do mesmo.

O limite de resistência da madeira na seção de engastamento deve ser calculado através da expressão:

$$\sigma_F = \frac{32 \cdot \pi^2 \cdot p \cdot \ell}{C^3}$$

Onde: σ_F é o limite de resistência da madeira na seção de engastamento em MPa;

P é a carga de ruptura em N;

ℓ é a distância da seção de engastamento ao ponto de aplicação da carga menos o valor de (y) em cm;

C é a circunferência na seção de engastamento em cm.

O Módulo de Elasticidade da madeira roliça deve ser calculado pela expressão:

$$E = \frac{64 \cdot \pi^3 \cdot \ell^2}{3 \cdot C^3 \cdot c} \cdot \frac{\Delta_p}{\Delta_v}$$

Onde: E é o Módulo de Elasticidade da madeira roliça em MPa

ℓ é a distancia da seção de engastamento ao ponto de aplicação da carga menos o valor de (y) em cm

C é a circunferência na seção de engastamento

c é a circunferência no ponto de aplicação de carga

Arruda et al (2006), realizaram um estudo sobre a caracterização de postes de madeira roliça, utilizados em linha de transmissão de energia, através de ensaios de flexão e compressão.

Os ensaios de flexão foram realizados segundo a norma: NBR 6231:1980 – Postes de Madeira – Resistência à Flexão. Os postes foram fixos na altura do engastamento em um berço plano. A carga foi então aplicada continuamente até a ruptura, Arruda et al (2006).

Os ensaios de resistência à flexão foram realizados em dois postes de cada uma das espécies estudadas. Os parâmetros e resultados do ensaio estão demonstrados na tabela 2.4, onde se pode observar uma considerável variabilidade entre postes da mesma espécie, indicando que uma amostragem de dois postes por espécie é insuficiente para testar a resistência de um lote de nove postes.

Tabela 2.4 - Ensaio de Flexão de postes segundo a NBR6231/1980. Parâmetros e resultados obtidos.

CP	X	P	Hu	C	c	δf	Ef
E. Grandis	200	1.000	820	77	61	556	78.320
E. Grandis	160	1.300	818	89	79	476	64.570
E. Saligna	160	1.800	770	89	80	620	78.230
E. Saligna	230	1.180	792	74	70	728	75.040
E. Citriodora	267	1.650	811	72	58	1.132	124.190
E. Citriodora	228	1.350	818	68	53	1.109	157.260

Fonte: ARRUDA et al (2006).

Parâmetros do ensaio, ARRUDA et al (2006): X : Flecha em cm; P : Carga de ruptura, em kg; Hu : Comprimento útil do poste (altura total descontada da área de engastamento e aplicação da carga), em cm; C : Circunferência do poste na região de engastamento, em cm; c : Circunferência do poste na região de aplicação da carga, em cm. Resultados : δf : Limite de resistência à flexão, em Kgf/cm².; Ef : Módulo de elasticidade à flexão, em kgf/cm².

Os valores obtidos de densidade aparente e do teor de umidade foram comparados com os valores de densidade padrão para cada espécie estudada, retirados do banco de dados do IPT e os valores médios presentes no anexo E da NBR 7190:1997. A média dos resultados de cada espécie, comparando com o banco de dados do IPT (valores para madeira verde), são apresentados na tabela 2.5. A espécie Eucalipto Citriodora apresentou resultados muito próximos aos valores teóricos (IPT), porém, as espécies de menor densidade apresentaram uma variação de até (47%) para o módulo de elasticidade.

Tabela 2.5 - Testes de flexão comparados com o banco de dados do IPT para madeira verde.

Corpos de Prova	δf (Experimental)	Ef (Experimental)	δf (IPT)	Ef (IPT)
<i>Eucalyptus citriodora</i>	1.120	140.730	1.140	136.000
<i>Eucalyptus saligna</i>	674	76.640	789	121.100
<i>Eucalyptus grandis</i>	516	71.450	549	98.800

δf : Limite de resistência à flexão, em Kgf/cm² ; Ef : Módulo de elasticidade à flexão, em Kgf/cm².

Fonte: ARRUDA et al (2006).

Arruda et al (2006), constatou a superioridade mecânica do Eucalipto Citriodora, não apenas pelo resultado do ensaio, mas também observando o modo de ruptura durante o ensaio de flexão, apresentado na figura 2.17. O Eucalipto Grandis apresentou uma ruptura “lisa”, o Eucalipto Saligna uma ruptura “fibrosa” ao longo de seu comprimento enquanto o Eucalipto Citriodora uma ruptura “fibrosa” na região de engastamento.

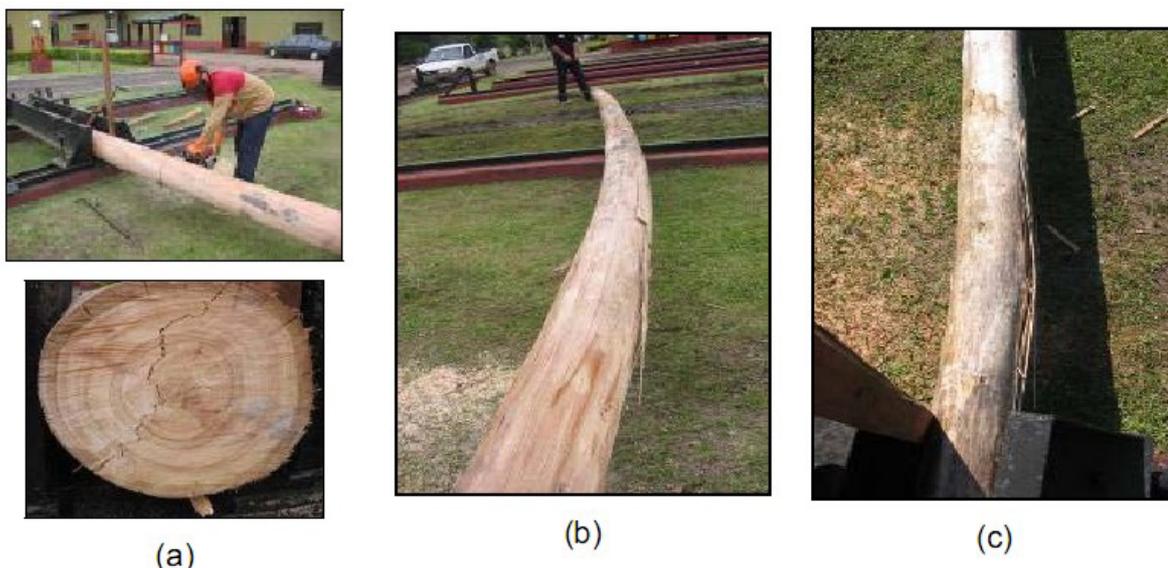


Figura 2.17 : Diferentes modos de ruptura observadas após ensaio de flexão: (a) Eucalipto Grandis – ruptura lisa, (b) Eucalipto Saligna – ruptura fibrosa ao longo do poste e (c) Eucalipto Citriodora – ruptura fibrosa na base.

Fonte: ARRUDA et al (2006).

2.1.2.2 Ensaio pela vibração transversal

Esta técnica de ensaio onde o indicador da classe é a rigidez obtida por vibração transversal. Todas as peças são classificadas pela imposição de um impacto, através de um martelo, e pela medida da propagação transversal da onda, relacionando-a com a rigidez do material CARREIRA (2003). A figura 2.18, retrata ensaio de peças roliças pela técnica da vibração transversal, realizados no LaMEM.



Figura 2.18: Ensaio de Peças Roliças pela Técnica da Vibração Transversal. Peças simplesmente apoiadas em Tripés. Fonte: Ensaio realizado no LaMEM, CALIL (2007).

O método da vibração transversal faz-se uma analogia do comportamento da vibração de uma viga com a vibração de uma massa M apoiada sobre uma mola CARREIRA (2003).

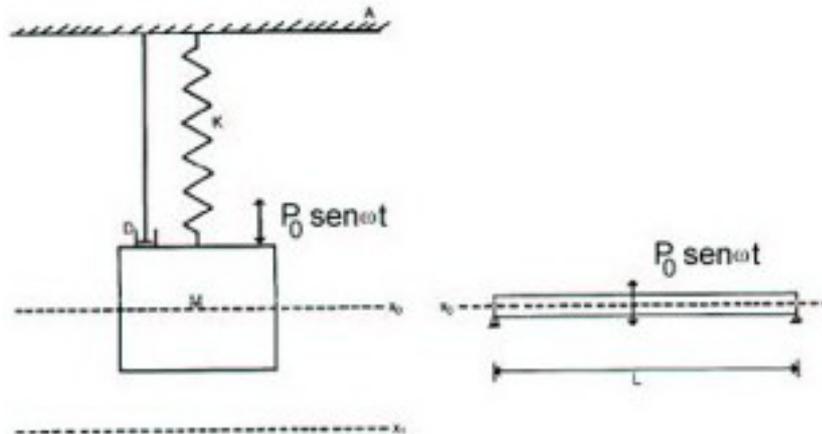


Figura 2.19: Sistema massa-mola e viga vibrando transversalmente. Fonte: CARREIRA (2003).

Equação da massa M, quando é colocada em vibração, pode ser expressa por:

$$M \cdot \left(\frac{d^2x}{dt^2} \right) + D \cdot \left(\frac{dx}{dt} \right) + K \cdot x = P_0 \cdot \text{sen} \omega \cdot t$$

Onde: D é o amortecimento;
 K é a rigidez da mola;
 M é massa da mola;
 P_0 é a força de excitação igual a zero;
 ω é a frequência de excitação igual a zero;
 t é o tempo de aplicação da força;
 x é a coordenada longitudinal;
 dx é a variação em relação à coordenada x;
 dt é a variação em relação ao tempo.

A equação pode ser resolvida em K e D; solução em K leva a seguinte expressão do módulo de elasticidade (MOE) para uma viga simplesmente apoiada nas extremidades:

$$\text{MOE} = \frac{f_r^2 \cdot W \cdot L^3}{2,46 \cdot I \cdot g}$$

Sendo: f_r é a frequência de ressonância em hz;
 W é a massa da viga em kgf;
 L é o vão da peça em metros;
 I é o momento de inércia da seção transversal em cm^4 ;
 g é a aceleração da gravidade de $9,8 \text{ m/s}^2$.

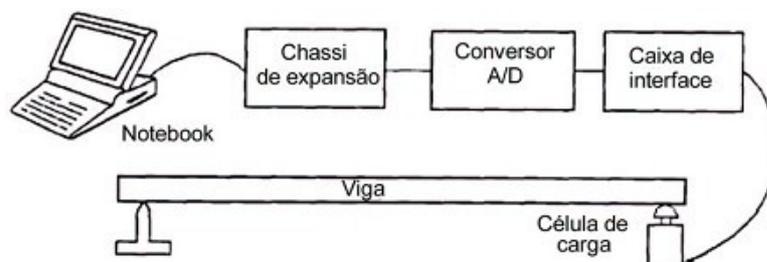


Figura 2.20: Esquema de um equipamento de vibração transversal. Fonte: CARREIRA (2003).

As principais vantagens deste tipo de ensaio consistem em técnicas simples e que não danificam as peças, porém com a desvantagem de que a conicidade e nós influenciam nos resultados, levando a imprecisões numéricas.

2.2 CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL

Entendendo-se por caracterização a determinação das propriedades físicas, de resistência e rigidez das peças roliças de madeira, a fim de elaborar tabelas específicas apresentando os valores médios destas propriedades de algumas espécies de madeira roliça de reflorestamento, para o dimensionamento de elementos estruturais.

Com a finalidade de obter os subsídios para o projeto de estruturas com peças roliças de madeira de reflorestamento no Brasil, torna-se fundamental a criação de tabelas de caracterização de vários diâmetros e de várias espécies de madeira roliça de reflorestamento, considerando efetivamente a seção circular das peças, e que poderão ser anexadas a uma futura revisão da NBR 7190.

Os ensaios usuais para caracterização estrutural de peças roliças de madeira são:

- ensaios à compressão;
- ensaios à flexão.

2.2.1 Ensaios à compressão de peças roliças estruturais

No ensaio à compressão através de uma prensa hidráulica, a peça estrutural é submetida a uma carga uniformemente distribuída sobre a superfície do corpo de prova, numa direção paralela ao eixo longitudinal das fibras da madeira, e a carga é distribuída uniformemente ao longo da amostra, mantendo o carregamento até a ruptura, sem que ocorra flambagem.

O objetivo deste método experimental envolve a determinação das propriedades de resistência e rigidez de peças submetidas à compressão. A figura 2.21 ilustra ensaios à compressão de corpos de prova, e os modos de ruptura de peças roliças de pequeno diâmetro.



a) Prensa hidráulica



b) Corpos de prova: Modos de ruptura.

Figura 2.21: Ensaio à compressão do Eucalipto Alba: fco e Eco. Fonte: CALIL (2007).

2.2.2 Ensaio à flexão de peças roliças estruturais

O objetivo deste método de ensaio cobre a determinação das propriedades de resistência e rigidez de vigas estruturais submetidas à flexão. A peça estrutural é submetida a um momento fletor apoiando-a próxima às suas extremidades, em locais denominados apoios, e aplicando cargas transversais simetricamente impostas entre estes apoios. A viga é deformada em uma taxa pré-determinada, e as observações das cargas e das deformações são feitas até que ocorra a ruptura, figura 2.22.



Figura 2.22: Ensaio estático de flexão com relógios comparadores de deslocamentos. Fonte: LaMEM. Fonte: Ensaio realizado no LaMEM em 2008, BRITO (2010).

A grande vantagem destes tipos de ensaios é que os resultados são precisos, porém como são ensaios destrutivos, apresentam a desvantagem de danificar as peças estruturais que são submetidas ao carregamento até que ocorra à Ruptura.

2.2.3 Ensaio de peças roliças estruturais realizados no LaMEM

Para o estudo proposto nesse trabalho, foram inicialmente avaliados todos os materiais envolvidos em ensaios com peças roliças de madeira de reflorestamento, com base no banco de dados de vários trabalhos já desenvolvidos no Laboratório de Madeira e Estruturas de Madeira (LaMEM), para caracterização e ou classificação das peças roliças utilizadas para fins estruturais na construção civil.

A caracterização segue as recomendações da ASTM D198-97 (Standard Test Methods of Static Tests of Lumber in Structural Sizes).

2.2.3.1 Caracterização da espécie de Eucalipto Alba ($d_m=7\text{cm}$)

Na tabela 2.6, são apresentados resultados de ensaios de compressão, com relógios comparadores de deslocamentos, realizados em 42 (corpos-de-prova) peças de madeira roliça de Eucalipto Alba com pequeno diâmetro ($d_m=7\text{cm}$).

Tabela 2.6: Ensaio à compressão da espécie de Eucalipto Alba: f_{co} e E_{co}

Corpos-de-prova	Densidade ρ (kg/m^3)	Cerne (%)	umidade (%)	E_{co} (MPa)	f_{co} (MPa)
1	848,05	36,73	9,4	12914	59,09
2	782,51	39,06	13,2	15791	54,06
3	742,72	31,64	13,3	16552	45,38
4	755,99	51,66	19,5	18694	47,33
5	709,24	40,11	21,5	18843	45,19
6	872,04	36,41	10,8	22048	57,27
7	814,18	25,00	20,0	14331	54,17
8	614,27	25,71	19,7	17548	38,06
9	633,79	1,00	19,4	15771	44,97
10	798,90	49,83	10,6	24605	46,68
11	764,70	45,96	10,1	15236	52,82
12	762,21	48,50	9,5	15163	45,63
13	668,61	7,67	9,7	7999	40,30
14	648,88	0,00	9,9	10205	45,74
15	764,70	63,46	19,8	17327	46,62
16	843,80	65,24	18,2	23580	56,32
17	751,90	67,82	11,0	18605	43,22
18	775,15	57,55	13,0	21711	54,89
19	836,15	26,08	14,0	9892	54,82
20	753,96	57,27	13,8	15693	47,44
21	773,22	50,71	18,6	19719	53,95
22	698,46	37,73	24,2	16781	39,15
23	856,98	26,89	20,5	14773	60,86
24	779,53	41,33	9,9	19052	46,01
25	673,63	31,36	9,8	14270	48,12
26	727,57	12,76	11,4	23236	53,28
27	795,88	0,00	10,7	13250	55,16
28	783,53	59,17	8,7	21385	45,38
29	831,50	64,57	9,9	22962	55,44
30	773,58	46,14	9,8	16054	51,65
31	844,06	50,28	9,3	13690	59,33
32	730,93	34,03	8,5	8021	49,79
33	754,24	56,96	9,9	11800	47,81
34	852,04	51,97	9,4	18785	60,09
35	832,17	32,92	10,7	16778	51,67
36	763,44	19,56	9,5	23270	53,51
37	799,78	38,03	14,2	15982	51,41
38	717,88	27,61	10,7	19630	43,86
39	811,55	2,22	10,3	21145	60,43
40	769,25	31,64	13,7	21723	47,03
41	790,18	22,35	10,8	26598	57,61
42	764,70	60,79	10,3	25657	47,77
Média	768,23	37,52	13,029	17549	50,460
Desvio padrão	61,37	18,93	4,342	4598	5,992
Coeficiente de variação				26,20	11,87
Valor característico				10008	41
Intervalo de confiança (90%)				(16382;18716)	(49; 52)

Fonte: CALIL (2007) *apud* CALIL e MOLINA (2010).

2.2.3.2 Caracterização da espécie de Eucalipto Alba ($d_m=7,5\text{cm}$)

Na tabela 2.7, são apresentados os resultados dos ensaios estáticos de flexão e com relógios comparadores de deslocamentos, para a caracterização, de 25 peças roliças de madeira da espécie de Eucalipto Alba com comprimento de 2,5 m e diâmetro médio d_m de 7,5 cm. A figura 2.23b ilustra um destes ensaios.



a) 25 peças roliças de Eucalipto Alba



b) Ensaio estático de flexão

Figura 2.23: Ensaio de flexão com peças roliças de Eucalipto Alba: $L=2,5\text{m}$ e $d_m=7,5\text{cm}$. Fonte: CALIL (2007).

Tabela 2.7: Caracterização da espécie de Eucalipto Alba: $L = 2,5\text{ m}$ e $d_m = 7,5\text{ cm}$

Peças estruturais	Densidade ρ (kg/m^3)	Cerne (%)	Umidade (%)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	
1	1003,40	36,73	13,5	15856	109	
2	1081,72	44,44	15,3	15392	71	
3	1028,83	47,72	15,2	15423	115	
4	1102,13	46,08	14,3	14210	101	
5	1036,35	32,11	13,1	13699	98	
6	1062,10	9,18	27	10299	75	
7	1015,99	41,87	25,2	13723	84	
8	1035,38	41,87	20,8	13255	81	
9	1070,05	4,79	21,4	12312	77	
10	992,30	52,44	13,7	14511	86	
11	1034,15	54,07	14,7	13171	88	
12	1007,57	32,11	16,3	11562	79	
13	1018,97	54,29	15,2	13775	92	
14	1104,24	28,22	15,4	15712	102	
15	1047,14	32,65	16,1	12862	87	
16	1053,97	3,70	18,2	15741	96	
17	1032,78	58,78	17,7	14251	84	
18	1063,70	44,44	15,5	15358	92	
19	1049,67	32,65	14,4	15910	112	
20	1018,09	51,84	15,3	17124	99	
21	1069,83	23,31	16,8	15008	98	
22	722,85	33,71	16,5	6380	52	
23	1068,04	20,10	20,8	14953	89	
24	893,59	34,36	17,8	12108	83	
25	947,21	67,82	17,3	9650	83	
Média	1022,40	37,17	17,10	13690	89	
Desvio Padrão	77,22	16,33	3,50	2366	13,70	
Fonte: CALIL (2007) <i>apud</i> CALIL e MOLINA (2010).				Coefficiente de variação	17,28	15,35
				Valor característico	9809,76	66,81
				Intervalos de confiança a 90%	(12911;14468)	(84,77;93,78)

2.2.3.3 Classificação da espécie de Eucalipto Citriodora ($d_m=7\text{cm}$)

Na tabela 2.8, são apresentados os resultados dos ensaios realizados no LaMEM, com Técnica da Vibração Transversal, para a caracterização, de 66 peças roliças de madeira de pequenos diâmetros da espécie de Eucalipto Citriodora com comprimento de 4,5 m e de 7 cm de diâmetro em média. Os valores do Módulo Dinâmico foram calculados pela equação de MOE apresentada no subitem 2.1.2.2.

Tabela 2.8: Classificação da espécie de Eucalipto Citriodora: L = 4,50 m e $d_m = 7$ cm. CALIL (2007).

Nº Peca	Peso (N)	Frequência fr (Hz)	Diâmetro da Base (cm)	Diâmetro do Topo (cm)	Diâmetro Médio d_m (cm)	Inércia (cm ⁴)	Módulo Dinâmico (GPa)
1	173,80	6,95	9,00	6,50	7,75	177,08	16,75
2	199,00	7,55	8,50	7,00	7,75	177,08	22,63
3	164,90	6,71	7,75	6,00	6,88	109,66	23,92
4	161,60	6,71	8,25	6,75	7,50	155,32	16,55
5	109,80	6,46	7,00	5,50	6,25	74,90	21,62
6	197,40	7,64	8,50	7,00	7,75	177,08	22,99
7	166,10	6,75	8,50	6,25	7,38	145,22	18,41
8	133,00	6,78	7,75	6,00	6,88	109,66	19,70
9	134,80	5,91	8,25	5,50	6,88	109,66	15,17
10	171,00	6,89	8,25	6,25	7,25	135,62	21,15
11	159,80	6,56	9,00	5,75	7,38	145,22	16,73
12	157,80	6,23	8,00	6,25	7,13	126,51	17,11
13	215,20	7,33	9,50	7,25	8,38	241,50	16,92
14	159,30	6,85	7,75	6,50	7,13	126,51	20,88
15	157,10	6,08	9,00	5,75	7,38	145,22	14,13
16	178,20	6,55	8,25	6,00	7,13	126,51	21,35
17	136,10	5,91	7,75	5,75	6,75	101,90	16,48
18	145,30	6,51	7,25	6,00	6,63	94,56	23,01
19	171,30	6,63	8,75	6,00	7,38	145,22	18,32
20	182,50	7,08	9,00	7,00	8,00	201,06	16,08
21	149,60	6,30	8,00	6,25	7,13	126,51	16,58
22	159,80	6,38	8,25	5,75	7,00	117,86	19,50
23	166,50	6,82	7,75	6,50	7,13	126,51	21,63
24	174,00	6,55	8,00	6,50	7,25	135,62	19,45
25	133,90	7,06	7,75	6,00	6,88	109,66	21,50
26	151,20	6,53	9,00	6,75	7,88	188,79	12,07
27	164,30	6,61	8,50	6,50	7,50	155,32	16,33
28	143,80	6,71	8,00	5,75	6,88	109,66	20,86
29	151,40	6,00	9,00	6,00	7,50	155,32	12,40
30	132,90	6,35	8,00	5,75	6,88	109,66	17,27
31	130,90	6,41	7,50	5,50	6,50	87,62	21,69
32	124,20	6,17	8,50	5,25	6,88	109,66	15,23
33	121,30	5,38	8,25	5,75	7,00	117,86	10,53
34	169,70	6,60	8,75	6,75	7,75	177,08	14,75
35	155,50	6,42	8,00	6,00	7,00	117,86	19,21
36	218,20	7,54	9,00	6,50	7,75	177,08	24,75
37	119,90	6,12	6,50	5,25	5,88	58,48	27,13
38	152,60	6,30	7,75	6,00	6,88	109,66	19,52
39	167,40	7,36	8,25	6,25	7,25	135,62	23,63
40	122,80	6,05	7,25	5,25	6,25	74,90	21,20
41	124,90	5,69	6,60	5,20	5,90	59,48	24,02
42	165,90	6,57	7,90	6,10	7,00	117,86	21,47
43	142,70	6,23	7,50	5,90	6,70	98,92	19,78
44	143,50	6,14	9,40	5,70	7,55	159,50	11,98
45	177,60	7,41	8,50	6,90	7,70	172,56	19,97
46	172,80	7,37	8,40	6,90	7,65	168,12	19,73
47	156,80	6,73	9,00	6,50	7,75	177,08	14,17
48	166,10	6,82	7,70	6,40	7,05	121,26	22,51
49	135,90	6,21	7,60	5,90	6,75	101,90	18,17
50	133,20	6,22	7,70	5,50	6,60	93,14	19,55
51	129,30	5,92	8,50	6,50	7,50	155,32	10,31
52	151,60	7,09	7,80	6,30	7,05	121,26	22,21
53	146,00	6,20	8,00	6,20	7,10	124,74	15,90
54	148,30	6,84	8,20	6,00	7,10	124,74	19,65
55	134,80	5,79	8,00	5,80	6,90	111,27	14,35
56	117,20	6,10	7,60	5,50	6,55	90,35	17,05
57	144,90	6,12	8,00	5,70	6,85	108,08	17,74
58	162,90	6,90	8,20	6,00	7,10	124,74	21,97
59	153,30	6,80	8,00	6,20	7,10	124,74	20,08
60	135,40	6,15	7,50	5,80	6,65	96,00	18,85
61	164,70	6,52	8,50	6,10	7,30	139,40	17,75
62	185,00	7,45	8,90	6,90	7,90	191,20	18,98
63	148,00	6,62	7,80	6,10	6,95	114,53	20,01
64	138,80	6,31	8,80	6,20	7,50	155,32	12,57
65	143,60	6,28	8,00	6,10	7,05	121,26	16,50
66	173,80	6,45	8,50	6,10	7,30	139,40	18,33
Média	154,26	6,56	8,16	6,12	7,14	130,88	18,62

2.2.3.4 Caracterização da espécie de Eucalipto Citriodora ($d_m=26,4\text{cm}$)

Na tabela 2.9, são apresentados os resultados dos ensaios estáticos de flexão e com relógios comparadores de deslocamentos, para a caracterização, de 25 peças roliças de madeira da espécie de Eucalipto Citriodora com comprimento de 6,01 m e diâmetro médio d_m de 26,4 cm.



Figura 2.24: Ensaio de flexão com peças roliças c/ Eucalipto Citriodora: $L = 6,01\text{ m}$ e $d_m = 26,4\text{ cm}$. Modo de ruptura: fratura fibrosa “dúctil”, no centro da viga. Fonte: CALIL (2007).

Tabela 2.9: Caracterização da espécie de Eucalipto Citriodora: $L = 6,01\text{ m}$ e $d_m = 26,4\text{ cm}$.

Peça	L (cm)	d_m (cm)	ρ (kg/m ³)	MOE (MPa)	MOR (MPa)
1	600	28.5	1062	16083	103
2	605	26.9	928	16287	102
3	603	27.4	1070	20713	105
4	603	27.7	1013	18549	107
5	603	25.9	1034	18371	96
6	590	26.6	988	17416	103
7	607	25.3	1047	25354	123
8	610	25.4	1042	23817	118
9	606	28.9	1009	13401	82
10	603	27.7	1054	19946	106
11	603	26.1	1055	22861	134
12	605	26.3	930	19817	130
13	615	25.7	1085	19055	121
14	600	25.1	1032	21089	114
15	594	26.3	885	16181	84
16	590	26.2	990	18920	106
17	590	27.8	1010	15336	81
18	604	29.9	975	15562	92
19	604	25.7	1055	25729	128
20	608	25.8	1016	17018	120
21	573	25.2	1011	15262	100
22	602	23.7	1039	20359	119
23	608	24.0	1037	23758	109
24	608	26.5	1008	16943	91
25	603	25.8	1035	20084	106
Média	601	26.4	1016	19116	107
Desvio Padrão	8.5	1.45	47.1	3314.2	14.7
Coef. de Variação (%)	1.4	5.5	4.6	17.3	13.7

Fonte: CALIL et al (2006) *apud* CALIL (2007).

2.2.3.5 Classificação da espécie de Eucalipto Citriodora ($d_m=34,3\text{cm}$)

Na tabela 2.10, são apresentados os resultados dos ensaios estáticos de flexão e com relógios comparadores de deslocamentos, para a classificação, de 23 peças roliças de madeira da espécie de Eucalipto Citriodora com comprimento médio de 11,4 m e diâmetro médio d_m de 34,3 cm, ensaiados “in loco” utilizando-se uma retro escavadeira e um caminhão, figura 2.25.



Figura 2.25: Ensaios das peças roliças c/ Eucalipto Citriodora: $L_m = 11,4$ m e $d_m = 34,3$ cm. Fonte: CALIL (2007).

Tabela 2.10: Classificação da espécie de Eucalipto Citriodora: $L_m = 11,4$ m e $d_m = 34,3$ cm

Peça	Perímetro (cm)			d_m (cm)	Inércia (cm ³)	Deslocamentos (cm)		L_m (m)	MOE (Mpa)
	Topo	Médio	Base			Inicial	Final		
1	96	111	132	36,0	82164	54,5	59,0	11,20	28561
2	82	100	116	31,6	49062	53,5	62,0	11,40	26800
3	82	97	116	31,3	47116	57,0	67,0	11,50	24392
4	93	105	126	34,4	68559	55,0	61,5	11,45	25433
5	101	121	142	38,6	109216	49,0	52,0	11,25	32694
6	81	93	113	30,5	42209	56,0	65,0	11,40	29420
7	92	104	123	33,8	64424	51,5	56,5	11,10	31854
8	85	96	111	31,0	45229	57,5	66,6	11,33	26624
9	84	100	113	31,5	48407	56,0	65,0	11,35	25295
10	93	105	122	34,0	65235	69,0	76,5	11,50	23490
11	97	103	120	34,0	65235	70,0	77,0	11,40	24475
12	88	100	117	32,4	53837	73,0	81,0	11,45	26315
13	90	100	118	32,7	55987	68,0	77,0	11,20	20958
14	92	108	117	33,6	62823	70,0	78,0	11,30	21619
15	84	96	118	31,6	49062	68,0	80,0	11,50	19521
16	105	118	136	38,1	103338	71,0	75,5	11,30	23365
17	87	105	125	33,6	62823	71,0	80,0	11,42	19878
18	95	105	125	34,5	69409	56,0	66,0	11,60	17022
19	93	107	124	34,4	68559	55,0	62,0	11,30	22640
20	107	125	158	41,4	143927	49,0	54,0	11,70	16874
21	113	130	148	41,5	145408	47,0	52,0	11,27	14818
22	92	105	120	33,6	62823	66,0	79,0	11,40	13685
23	95	105	120	34,0	65235	65,0	72,0	11,40	24475
Média	92	106	124	34,3	70873	60,3	68,0	11,38	23487

Fonte: CALIL et al (2006) *apud* CALIL (2007).

2.2.3.6 Caracterização da espécie de Pinus Oocarpa ($d_m=42\text{cm}$)

Na tabela 2.11, são apresentados os resultados dos ensaios estáticos de flexão e com relógios comparadores de deslocamentos, para a caracterização, de 12 peças roliças de Pinus Oocarpa com comprimento de 6,25 m e diâmetro médio d_m de 42,0 cm, ensaiados no LAMEM. Ocorreram rupturas bruscas por torção, nos ensaios com as peças roliças de Pinus Oocarpa, figura 2.26b, pois as peças eram grã-espiraladas com comprimento em uma volta completa menor que 10m.



a) Ensaio de flexão Pinus Oocarpa

b) Ruptura Frágil

Figura 2.26: Detalhe do ensaio das peças roliças c/ Pinus Oocarpa: $L=6,25\text{m}$ e $d_m=42\text{cm}$. Fonte: Base de dados LaMEM. Modo de ruptura: fratura lisa “frágil” (brusca), no centro da viga. Fonte: CALIL (2007).

Tabela 2.11: Caracterização da espécie de Pinus Oocarpa: $L=6,25\text{m}$ e $d_m=42\text{cm}$.

Peça	U =12 %	
	MOE (MPa)	MOR (MPa)
1	6366	34
2	9444	46
3	9793	50
4	8191	47
5	9287	52
6	9685	48
7	8960	56
8	7204	45
9	8003	52
10	6717	34
11	6804	34
12	7356	49
Média	8151	46
CV (%)	15	16

Fonte: CALIL et al (2006) *apud* CALIL (2007).

2.2.3.7 Caracterização da espécie de Eucalipto Camaldulensis

No segundo semestre de 2008 e início de 2009, no LaMEM, foram realizados diversos ensaios de caracterização de peças roliças de madeira da espécie de Eucalipto Camaldulensis, para fins estruturais. Na seqüência estão apresentadas uma série de tabelas com resultados desses ensaios.

Tabela 2.12: Classificação Eucalipto Camaldulensis – 11 anos (Lote: **SAF 97**)

Peça Num.	L (m)	d_{topo} (m)	d_{base} (m)	Peso (kg)	d_m (cm)
01	2,01	22,50	23,50	79,40	23,39
02	2,00	22,00	23,00	80,50	23,62
03	2,00	21,00	22,50	69,70	21,96
04	2,04	21,50	23,00	74,75	22,60
05	1,99	21,50	23,00	71,25	22,28
06	2,02	22,50	23,50	79,55	24,12

Fonte: MOLINA (2009).

Tabela 2.13: Classificação Eucalipto Camaldulensis – 20 anos (Lote: **SAF 76**)

Peça Num.	L (m)	d_{topo} (m)	d_{base} (m)	Peso (kg)	d_m (cm)
01	1,99	22,50	24,02	97,75	23,87
02	2,05	23,50	24,50	101,55	24,19
03	2,00	21,00	21,50	79,10	21,84
04	2,03	22,02	24,00	87,90	22,66
05	2,05	20,00	23,00	82,00	21,52
06	2,00	19,50	23,00	78,50	21,71

Fonte: MOLINA (2009).

Tabela 2.14: Classificação Eucalipto Camaldulensis – 05 anos (Lote analisado: **SAF 2003**)

Peça Num.	L (m)	d_{topo} (m)	d_{base} (m)	Peso (kg)	d_m (cm)
01	2,07	19,50	21,20	52,35	19,86
02	2,00	18,50	20,00	45,0	18,91
03	1,99	18,00	19,50	46,30	19,03
04	2,05	19,50	21,00	51,90	20,31
05	2,02	17,00	19,00	45,45	19,35
06	2,00	19,00	20,50	51,05	19,86

Fonte: MOLINA (2009).

Tabela 2.15: Classificação Eucalipto Camaldulensis – 04 anos (Lote: **SAF 99**)

Peça Num.	L (m)	d_{topo} (m)	d_{base} (m)	Peso (kg)	d_m (cm)
01	1,99	19,50	21,00	56,55	20,31
02	2,00	19,30	21,00	56,40	20,11
03	2,01	18,40	19,00	50,45	19,23
04	2,00	16,80	17,80	44,05	18,02
05	2,01	18,50	19,00	51,55	19,29
06	2,05	19,80	21,00	63,70	21,52

Fonte: MOLINA (2009).

Tabela 2.16: Classificação Eucalipto Camaldulensis – 04 anos (Lote: **SAF 2004 (Barra)**)

Peça Num.	L (m)	d_{topo} (m)	d_{base} (m)	Peso (kg)	d_m (cm)
01	2,00	11,50	13,50	17,15	12,80
02	2,05	12,20	14,00	19,80	13,81
03	2,10	12,70	14,70	20,25	13,30
04	2,05	11,50	13,00	17,95	12,99
05	2,05	13,00	13,80	19,80	13,50
06	2,10	12,00	14,70	21,45	13,69

Fonte: MOLINA (2009).

Tabela 2.17: Classificação Eucalipto Camaldulensis – 04 anos (Lote: SAF 2004 (Atalho))

Peça Num.	L (m)	d _{topo} (m)	d _{base} (m)	Peso (kg)	d _m (cm)
01	2,00	12,00	14,00	18,00	13,05
02	2,02	12,20	13,90	18,25	13,05
03	2,00	11,80	12,50	15,60	12,16
04	2,07	13,00	15,30	20,65	14,30
05	2,15	12,80	13,20	17,95	13,11
06	1,95	12,80	14,00	20,60	13,81

Fonte: MOLINA (2009).

Tabela 2.18: Resultados Eucalipto Camaldulensis – 11 anos (Lote: SAF 97)

Peça Num.	L (m)	Conicidade (cm/m)	d _{eq} (cm)	U (%)	ρ _{12%} (kg/m ³)	E _{c,0} (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	f _{c,0} (MPa)	f _v (MPa)
01	2,01	0,77	23,39	22,7	-	20722	11390	-	24,83	-
02	2,00	0,95	23,62	24,2	-	23083	11890	-	34,42	-
03	2,00	0,64	21,96	23,0	-	10469	13360	74,67	35,19	-
04	2,04	1,53	22,60	25,3	660	9972	12960	71,36	33,05	8,40
05	1,99	1,59	22,28	21,1	-	17782	13340	97,39	43,37	-
06	2,02	0,70	24,12	26,6	-	10728	10940	-	33,67	-
Média	2,01	0,52	22,99	23,82	660	15459	12310	81,14	34,08	8,40

Fonte: MOLINA (2009).

Tabela 2.19: Resultados Eucalipto Camaldulensis – 20 anos (Lote: SAF 76)

Peça Num.	L (m)	Conicidade (cm/m)	d _{eq} (cm)	U (%)	ρ _{12%} (kg/m ³)	E _{c,0} (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	f _{c,0} (MPa)	f _v (MPa)
01	1,99	1,46	23,87	20,6	-	20077	14140	-	46,99	-
02	2,05	0,76	24,19	28,2	-	-	14800	-	-	-
03	2,00	0,99	21,84	21,8	1153	10529	17620	72,49	-	15,48
04	2,03	1,54	22,66	24,5	-	24565	16420	-	-	-
05	2,05	1,79	21,52	22,5	-	12956	16960	86,79	-	-
06	2,00	2,58	21,71	23,9	-	12087	14990	96,09	46,65	-
Média	2,02	0,76	22,63	23,58	1153	16043	15820	85,12	46,82	15,48

Fonte: MOLINA (2009).

Tabela 2.20: Resultados - Eucalipto Camaldulensis – 05 anos (Lote: SAF 2003)

Peça Num.	L (m)	Conicidade (cm/m)	d _{eq} (cm)	U (%)	ρ _{12%} (kg/m ³)	E _{c,0} (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	f _{c,0} (MPa)	f _v (MPa)
01	2,07	1,57	19,86	44,1	-	-	12210	73,58	-	-
02	2,00	1,53	18,91	28,2	-	12846	10270	67,29	27,28	-
03	1,99	1,34	19,03	28,0	-	11244	10690	68,23	27,34	-
04	2,05	1,70	20,31	28,4	-	-	11490	57,93	-	-
05	2,02	1,43	19,35	24,0	540	8000	11290	58,60	19,01	7,98
06	2,00	1,79	19,86	32,2	-	22000	9810	63,89	24,83	-
Média	2,02	0,78	19,55	30,82	540	13522	10960	64,92	24,62	7,98

Fonte: MOLINA (2009).

Tabela 2.21: Resultados Eucalipto Camaldulensis – 04 anos (Lote: SAF 99)

Peça Num.	L (m)	Conicidade (cm/m)	d _{eq} (cm)	U (%)	ρ _{12%} (kg/m ³)	E _{c,0} (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	f _{c,0} (MPa)	f _v (MPa)
01	1,99	1,14	20,31	26,4	-	16593	14860	73,32	31,15	-
02	2,00	1,02	20,11	23,8	-	16694	15270	84,85	35,13	-
03	2,01	1,08	19,23	24,4	-	13400	15510	86,38	33,41	-
04	2,00	1,24	18,02	23,4	583	18236	15060	85,53	33,77	11,04
05	2,01	0,76	19,29	23,2	-	-	16290	92,97	34,20	-
06	2,05	1,11	21,52	22,6	-	-	14620	76,85	-	-
Média	2,01	0,53	19,75	23,97	583	16231	15270	83,32	33,53	11,04

Fonte: MOLINA (2009).

Tabela 2.22: Resultado Eucalipto Camaldulensis – 04 anos (Lote: SAF 2004 (Barra))

Peça Num.	L (m)	Conicidade (cm/m)	d _{eq} (cm)	U (%)	ρ _{12%} (kg/m ³)	E _{c,0} (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	f _{c,0} (MPa)	f _v (MPa)
01	2,00	1,33	12,80	23,6	500	18919	13640	70,97	29,48	8,89
02	2,05	1,08	13,81	26,7	-	13670	14400	72,52	28,88	-
03	2,10	1,53	13,30	25,4	-	9767	16900	69,57	28,65	-
04	2,05	1,46	12,99	27,5	-	11987	14550	72,42	26,08	8,59
05	2,05	1,15	13,50	35,3	-	17563	13150	61,50	26,39	-
06	2,10	2,00	13,69	25,8	500	4470	14120	70,57	26,27	5,51
Média	2,06	0,71	13,34	27,38	500	12729	14460	69,59	27,62	7,66

Fonte: MOLINA (2009).

Tabela 2.23: Resultados Eucalipto Camaldulensis – 04 anos (Lote: SAF 2004 (Atalho))

Peça Num.	L (m)	Conicidade (cm/m)	d _{eq} (cm)	U (%)	ρ _{12%} (kg/m ³)	E _{c,0} (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	f _{c,0} (MPa)	f _v (MPa)
01	2,00	1,44	13,05	26,0	-	12495	14140	72,54	27,86	-
02	2,02	1,79	13,05	28,9	-	24847	13010	71,42	25,00	-
03	2,00	1,02	12,16	32,4	-	5469	13110	68,98	24,54	-
04	2,07	1,24	14,30	27,8	510	7277	11800	64,47	24,77	6,13
05	2,15	1,27	13,11	34,8	480	7533	15980	66,05	23,78	7,59
06	1,95	1,40	13,81	39,3	-	6765	11150	69,68	28,04	-
Média	2,03	0,68	13,25	31,53	495	10731	13200	68,86	25,66	6,86

Fonte: MOLINA (2009).

Na sequência são apresentadas algumas fotos dos ensaios realizados em 2008 no LaMEM.



Figura 2.27: Ensaio estático à flexão com peças roliças de Eucalipto Camaldulensis (ensaio com anel dinamométrico e relógio comparador). Fonte: Fotos tiradas pelo autor, em ensaios realizados no LaMEM.

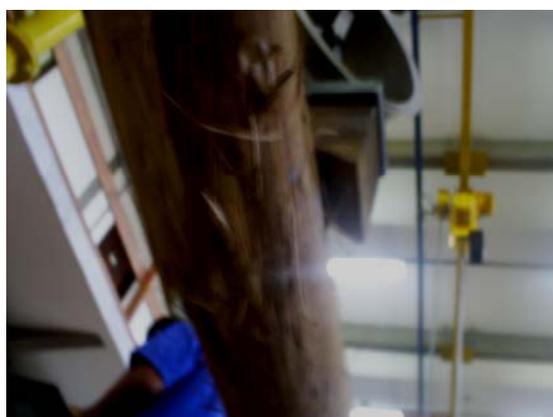


Figura 2.28: : Ensaio estático à flexão: Modo de ruptura da peça roliça de Eucalipto Camaldulensis **20 anos**. Lote: **SAF 76**: L = 2,00 m e Deq = 21,84 cm. Fonte: Fotos tiradas pelo autor, em ensaios realizados no LaMEM.



a) Prensa INSTRON.

b) Corpo-de-prova: Modo de ruptura c/ 5 divisões.

Figura 2.29: Ensaio à compressão, peças roliças c/ Eucalipto Camaldulensis 20 anos (Lote: SAF 76): $d_{eq} = 23,87$ cm. Resultado da resistência à compressão paralela às fibras $f_{c,0} = 46,99$ MPa.

Fonte: Fotos tiradas pelo autor BRITO (2010), em ensaios realizados no LaMEM.

2.2.3.8 Caracterização da espécie de Eucalipto Cloeziana

Ainda no segundo semestre de 2008 e início de 2009, no LaMEM, também foram realizados diversos ensaios de caracterização de peças roliças de madeira da espécie de Eucalipto Cloeziana, para fins estruturais. Na seqüência estão apresentadas duas tabelas com resultados desses ensaios.

Tabela 2.24: Classificação Eucalipto Cloeziana – 13 anos (Lote: SAF 75 x 74)

Peça Num.	L (m)	d_{topo} (m)	d_{base} (m)	Peso (kg)	d_m (cm)
01	2,05	11,50	12,50	23,50	12,35
02	2,02	12,00	13,00	25,40	12,99
03	2,07	13,50	14,00	31,30	14,32
04	2,02	13,50	14,00	29,35	13,67
05	2,10	12,40	13,50	27,20	13,23
06	2,07	11,80	12,00	22,50	11,72

Fonte: MOLINA (2009).

Tabela 2.25: Resultados Eucalipto Cloeziana – 13 anos (Lote: SAF 75 x 74)

Peça Num.	L (m)	Conicidade (cm/m)	d_{eq} (cm)	U (%)	$\rho_{12\%}$ (kg/m^3)	$E_{c,0}$ (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	$f_{c,0}$ (MPa)	f_v (MPa)
01	2,05	1,00	12,35	27,8	870	13246	28240	126,41	42,45	11,77
02	2,02	1,00	12,99	26,7	-	8787	22370	106,36	39,58	-
03	2,07	0,50	14,32	23,5	-	5571	24540	113,18	37,81	-
04	2,02	0,50	13,67	20,0	870	22919	26710	143,71	47,92	12,85
05	2,10	1,10	13,23	23,2	-	13036	23050	113,54	44,16	-
06	2,07	0,20	11,72	31,02	976	21226	23070	144,84	56,59	10,73
Média	2,06	0,36	13,04	25,37	905,33	14130	24660	124,67	44,75	11,78

Fonte: MOLINA (2009).

3 DURABILIDADE E TRATAMENTO DA MADEIRA

A Durabilidade da madeira é a propriedade de resistir, em maior ou menor grau, ao ataque de agentes destruidores, sob condição natural de uso, conforme descrito na NBR 8456:1984.

Segundo CALIL et al (2006), usualmente, espera-se bom desempenho sobre toda a vida do elemento estrutural. O elemento chave para esta previsão é sua durabilidade, definida como a capacidade de um produto manter seu desempenho acima de valores mínimos preestabelecidos, em consonância com os usuários, nas condições previstas de uso.

Um grande número de agentes ambientais tem o potencial de reduzir a performance da madeira ao longo do tempo. O projetista, porém, pode garantir a durabilidade usando uma combinação de três fatores, CALIL et al (2006):

- **Melhor detalhamento de projeto**

Finalidade: projeto mais eficiente, onde são consideradas:

- proteção contra chuva e raios solares;
- drenagem rápida da água;
- secagem das áreas úmidas.

- **Tratamento preservativo**

- preservação química com impregnação do produto preservativo sob pressão em autoclave;
- e tratamento superficial.

- **Inspeção, manutenção e reparos**

A inspeção corresponde a vistorias periódicas e sistemáticas, para a avaliação de sinais de deterioração, tais como: descoloração, goteiras, apodrecimentos em áreas úmidas, aparecimento de fungos e ataque de insetos. A manutenção e os reparos têm por finalidade: remover sujeiras para evitar formação de acúmulos de umidade; desentupir e limpar as calhas e os drenos de água; reparar coberturas e telhas; adicionar coberturas onde necessário; refazer os acabamentos protetores no tempo adequado.

Observação: um importante aspecto é sempre registrar o trabalho realizado para posterior verificação.

3.1 DETERIORAÇÃO DA MADEIRA

A deterioração da madeira é um processo que altera desfavoravelmente as suas propriedades CALIL et al (2006). De forma Simplificada, pode ser atribuída por duas causas principais: agentes bióticos (vivos) e agentes abióticos (não vivos).

Os agentes bióticos são principalmente os fungos, insetos e furadores marinhos. Estes organismos necessitam de algumas condições para sua sobrevivência, entre elas: temperatura, oxigênio, umidade e fonte adequada de alimento, geralmente a madeira. Embora o grau de dependência destes parâmetros seja variável, cada um precisa estar presente para ocorrer à deterioração. Conforme CALIL et al (2006), as principais características desta deterioração são:

- **Apodrecimento ocasionado por fungos:** é um problema muito comum. A madeira é um material higroscópico; uma alta umidade cria um ambiente ideal para o desenvolvimento de fungos. Os sintomas incluem a perda de resistência, amolecimento, desintegração e descoloração. Em locais onde o teor de umidade médio é abaixo de 20 %, não existe deterioração da madeira. As fontes típicas de apodrecimento incluem vazamentos no telhado, detalhamento inadequado de projeto estrutural, e alta umidade relativa do local.

- **Infestação de insetos:** várias espécies de insetos, como cupins, brocas entre outros, usam a madeira como abrigo e ou fonte de alimentação. Neste caso, a alta umidade não é essencial e o risco de infestação é grande. Alguns tipos de ataques de insetos indicam a necessidade do conhecimento de sua extensão, enquanto outros podem ser menos prejudiciais. Entretanto, a correta identificação é essencial.

Os agentes abióticos (não vivos) incluem os condicionantes físicos, mecânicos, químicos e climáticos. Embora destrutivos, os agentes abióticos podem também danificar o tratamento preservativo, expondo a madeira não tratada ao ataque de agentes bióticos.

- **Abrasão mecânica:** a abrasão mecânica é provavelmente o agente físico mais significativo de deterioração principalmente em pontes de madeira. É causado por vários fatores e varia consideravelmente nos seus efeitos na estrutura. O mais comum é a abrasão do veículo que produz gastos na superfície de rolamento, reduzindo a seção efetiva de madeira. Obviamente exemplos deste dano ocorrem no tabuleiro, onde a abrasão produz degradação da superfície de revestimento e do

guarda rodas. Danos mecânicos mais severos podem ser causados por sobrecargas de veículos, recalques diferenciais e impactos de entulhos no canal de fluxo.

- **Luz ultravioleta:** a ação da luz ultravioleta do sol quimicamente degrada a lignina da superfície da madeira. A degradação ultravioleta causa escurecimento em madeiras claras e clareamento em madeiras escuras, mas este dano penetra somente em uma pequena espessura da superfície da peça. Esta madeira danificada é levemente enfraquecida, mas a profundidade do dano tem pouca influência na resistência, exceto onde esta camada é removida de forma contínua, reduzindo as dimensões da peça.

- **Corrosão:** a degradação da madeira por corrosão metálica é freqüentemente negligenciada como causa de deterioração, principalmente em pontes. Este tipo de degradação pode ser significativa em algumas situações, particularmente em ambiente marinho onde a água salina está presente e acelera a degradação. A corrosão se inicia quando a umidade da madeira reage com o aço no conector metálico, desprendendo íons férricos que deterioram as paredes das células da madeira. Conforme a corrosão progride, o conector metálico torna-se uma célula eletrolítica com um pólo ácido (ânodo) e um pólo alcalino (cátodo).

Embora as condições no cátodo não sejam severas, a acidez no ânodo causa a hidrólise da celulose e reduz drasticamente a resistência da madeira na zona afetada. A madeira atacada sempre adquire coloração escura e de aparência mole. Em muitas espécies de madeira a descoloração sempre ocorre no contato do aço com o cerne. Além desta deterioração por corrosão, as condições de alta umidade associada com o dano podem favorecer o aparecimento de fungos apodrecedores. Conforme a corrosão progride, a toxicidade dos íons metálicos e o baixo pH na madeira eventualmente eliminam o ataque por fungos, embora o apodrecimento possa continuar a alguma distância da zona afetada. O efeito da corrosão metálica pode ser limitado usando conectores galvanizados ou não ferrosos.

- **Degradação química:** em casos isolados, a presença de ácidos ou bases pode causar dano à madeira. Bases fortes atacam a hemicelulose e lignina, deixando a madeira esbranquiçada. Ácidos fortes atacam a celulose e hemicelulose, causando perda de massa e resistência. O dano da madeira por ácido é de cor escura e sua aparência é similar a da madeira danificada por fogo. Não é comum o contato de produtos químicos fortes na madeira de coberturas e pontes, senão acidentalmente.

- **Remoção de madeira:** é muito comum encontrar a madeira danificada pela remoção de suas partes para instalação de utilidades, por reformas e outras atividades de carpintaria. O corte ou a remoção de vigas tracionadas é comum. A redução da seção transversal de vigas pode diminuir sua capacidade resistente.
- **Movimento de nós e distorções:** as ligações, quando montadas com madeira roliça verde e deixadas para secar, podem resultar em retração, fissuras, distorções ou outras formas de ruptura local. Cavilhas de madeiras duras e entalhes podem partir ou se deslocar. Retração e falta de detalhamento de projeto ou inexistência de conectores não são problemas incomuns em novas estruturas.
- **Instabilidade:** este efeito pode ser visto em deslocamentos laterais excessivos ou em movimento de pórtico, usualmente causado por danos, corte ou falta de barras de contraventamento.
- **Flechas:** pode indicar carregamento excessivo, que precisa ser corrigido. Em estruturas antigas a flecha pode ocorrer devido ao efeito da fluência ou da secagem de barras aplicadas na condição verde. Isto pode não conduzir a problemas estruturais.
- **Fissuras:** tipicamente é o resultado da secagem da madeira verde, in loco. Embora preocupantes, as fissuras têm pequena importância estrutural. Em estruturas antigas, podem permanecer presentes por décadas e somente observadas em deslocamentos não estruturais. Ocasionalmente, se as fissuras são de grande extensão, por exemplo, mais profundas que a metade da espessura da peça; em uma posição crítica em relação aos conectores; ou em uma barra necessitando de proteção ao fogo, os reparos devem ser realizados.
- **Fraturas incipientes:** podem ocorrer por acidentes ou ignorância como por exemplo de sobrecargas. Felizmente são bastante raras. Entretanto podem não ser fáceis de detectar e, em caso de suspeita, deve ser solicitada a presença de um especialista.
- **Danos devido ao fogo:** resultam da exposição ao fogo ou a altas temperaturas. Podem permanecer presentes na estrutura por anos. A carbonização superficial isola e protege a parte central da peça de madeira roliça, que pode manter parte significativa de sua resistência conforme se observa na figura 3.1. Os conectores metálicos transferirão aquecimento para o centro, e neste caso, podem ser esperados danos maiores nestas áreas.

Ao contrário à crença popular, grandes peças de madeira têm boa resistência ao fogo e melhores que outros materiais em condições severas de exposição ao fogo. MUCHMORE et al apud NASCIMENTO (1993) ressaltam que quando uma peça estrutural de grande seção transversal está exposta ao fogo, ela carboniza superficialmente e, no início, as chamas são intensas. Como a combustão contínua, a camada de carvão tem um efeito de isolamento à combustão diminuindo a uma taxa de cerca de 40 mm/h, para a média das espécies de madeira estrutural. Esta baixa taxa de penetração das chamas significa que às peças estruturais sujeitas ao fogo mantêm alta porcentagem de sua resistência original por considerável tempo.

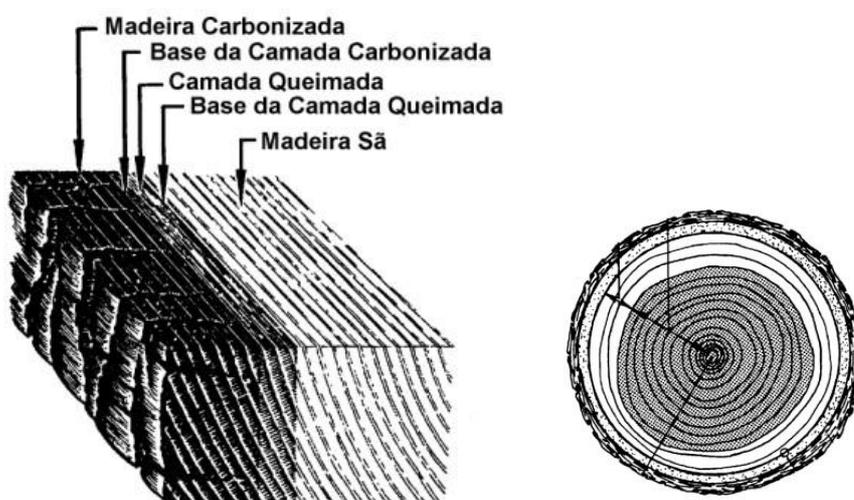


Figura 3.1: Carbonização superficial na peça de madeira roliça, RITTER (1990).

A madeira com relação ao fogo não apresenta distorção quando submetida a altas temperaturas, tal como ocorre com o aço, aumentando o tempo de resistência da estrutura, conforme se observa na figura 3.2.

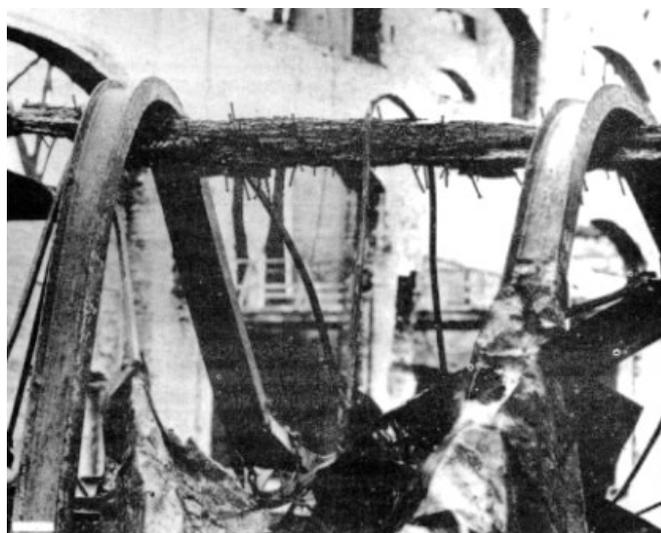


Figura 3.2: Resistência da madeira ao fogo, RITTER (1990).

3.2 SISTEMA DE CLASSES DE USO E PRESERVAÇÃO DA MADEIRA

Preservação de madeiras é o conjunto de medidas preventivas e curativas para controle de agentes biológicos (fungos e insetos xilófagos e perfuradores marinhos), físicos e químicos que afetam as propriedades da madeira, adotadas no desenvolvimento e na manutenção dos componentes de madeira no ambiente construído CALIL et al (2006).

O propósito do Sistema de Classes de Uso, proposto por BRAZOLIN et al (2004), é oferecer uma ferramenta simplificada para a tomada de decisões quanto ao uso racional e inteligente da madeira na construção civil, fornecendo uma abordagem sistêmica ao produto e usuário que garanta maior durabilidade das construções.

Conforme CALIL et al (2006), o sistema consiste no estabelecimento de 6 Classes de Uso baseadas nas condições de exposição ou uso da madeira, na expectativa de desempenho do componente e nos possíveis agentes biodeterioradores presentes. Este sistema conduz a uma reflexão sobre as medidas que devem ser adotadas durante fase de elaboração de projeto de uma construção e auxilia na definição do tratamento preservativo da madeira (produto e processo) em função da condição de uso a que ela estará exposta.

Segundo CALIL et al (2006), ao se utilizar peças roliças madeira de reflorestamento como material de engenharia na construção civil, as seguintes etapas devem ser consideradas obrigatórias:

- Elaboração do projeto com foco para diminuição dos processos de instalação e desenvolvimento de organismos xilófagos.
- Definição do nível de desempenho necessário para o componente ou estrutura de madeira, tais como: vida útil, responsabilidade estrutural, garantias comerciais e legais, entre outras.
- Avaliação dos riscos biológicos aos quais à madeira será submetida durante a sua vida útil, ataque de fungos e insetos xilófagos e perfuradores marinhos. Conceito de Classe de Uso.
- Determinação da necessidade de tratamento preservativo, em função da durabilidade natural e tratabilidade do cerne e alburno das espécies botânicas que serão utilizadas.

- Definição dos tratamentos preservativos, em função das seguintes escolhas:
 - espécie botânica que deve permitir este tratamento (tratabilidade);
 - umidade da madeira no momento do tratamento;
 - processo de aplicação do produto de preservação;
 - parâmetros de qualidade necessários: retenção e penetração do produto preservativo na madeira;
 - produto preservativo e processo de aplicação que satisfaça à Classe de Uso determinada.

3.2.1 Sistema de Classe de Uso

Ao optar pelo uso de peças roliças de madeira, em determinada situação é necessário, em primeiro lugar, conhecer corretamente o seu emprego. Na etapa de projeto deve-se, na medida do possível, conceber a obra de tal maneira que a umidade da madeira seja sempre a menor possível, a fim de limitar os riscos de biodeterioração. A seguir, deve-se determinar a Classe de Uso em função do tipo de risco biológico a que a madeira será submetida. Como visto anteriormente, o sistema define seis Classes de Usos em função do tipo de risco biológico que representa, nas condições brasileiras, seis diferentes situações de exposição da madeira e de produtos derivados da madeira, em serviço. O objetivo desta classificação é auxiliar na escolha das espécies botânicas, dos produtos preservativos e dos métodos de tratamento mais adequados a cada situação.

Na tabela 3.1, são apresentadas as Classes de Uso para utilização da madeira na construção civil, de acordo com a condição de uso no projeto, e os organismos xilófagos correspondentes que podem atacar a madeira, CALIL et al (2006). Esta classificação já está sendo proposta na nova revisão da NBR 7190.

Para os casos de sistemas estruturais e construtivos de pontes, conforme CALIL et al (2006), basicamente, os componentes de madeira são classificados nas Classes de Uso 4, 5 e 6.

Tabela 3.1: Classes de Uso para utilização da madeira na construção civil.

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

Fonte: CALIL et al (2006).

Como critério ilustrativo, em sistemas estruturais e construtivos de edificações residenciais, os componentes de madeira podem ser classificados nas Classes de Uso conforme especificado na figura 3.3. Para os elementos estruturais, em contato com água salgada ou salobra, deve ser utilizado a Classe de Uso 6.

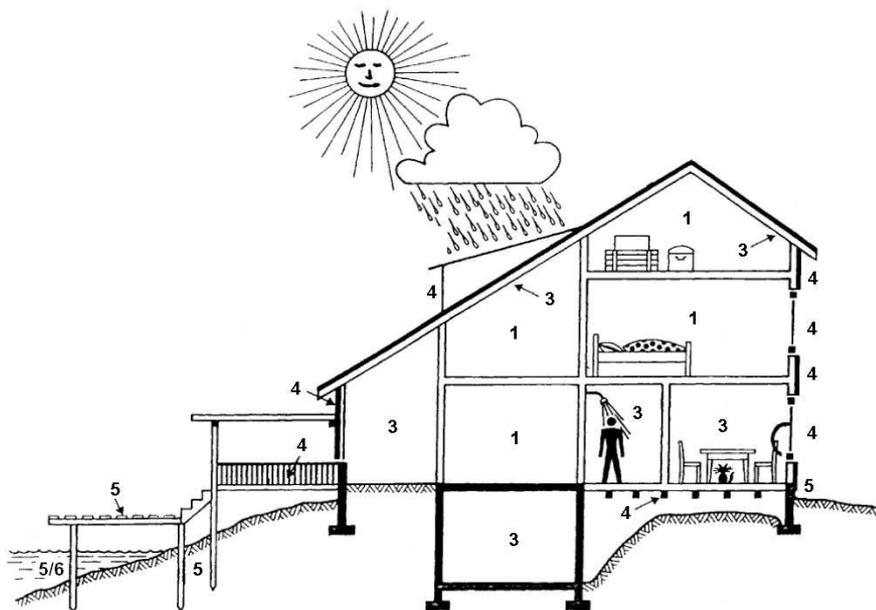


Figura 3.3: Classe de Uso, em função da situação de risco de deterioração em uma residência.

Fonte: CALIL et al (2003), porém já adaptada à nova proposta na revisão da NBR 7190.

3.2.2 Seleção da espécie da madeira

A escolha das espécies de madeira para um determinado uso é uma das etapas mais importantes a serem cumpridas. Para que haja um bom desempenho do material é necessário definir os requisitos de qualidade da madeira, necessários ao uso pretendido (propriedades físicas e mecânicas, durabilidade natural, tratabilidade com produtos preservativos, fixação mecânica, etc.). Ao identificar a espécie de madeira, podemos buscar essas informações na bibliografia, CALIL et al (2006).

As definições dadas a seguir norteiam os critérios essenciais para a escolha correta da espécie de madeira para evitar sua biodeterioração:

- **Durabilidade natural do cerne:** Diz-se da durabilidade intrínseca da espécie botânica de madeira, ou seja, de sua resistência ao ataque de organismos xilófagos (insetos, fungos e perfuradores marinhos). De modo geral, o conceito de durabilidade natural está sempre associado ao cerne da espécie de madeira, na medida em que, na prática, o alburno de todas as espécies de madeira é considerado não durável ou perecível. O tratamento preservativo faz-se necessário se a espécie escolhida não é naturalmente durável para a classe de risco biológico considerada e ou se a madeira contém porções de alburno.
- **Tratabilidade:** Quando o tratamento se faz necessário, a sua execução depende da tratabilidade (impregnabilidade) da madeira, que, da mesma forma que a durabilidade natural, é uma característica intrínseca da espécie botânica. Na medida em que a espécie proposta não é suficientemente tratável ou impregnável, não é possível ter-se certeza quanto ao seu tempo de vida útil. Mais vale, nestes casos, optar pela utilização de outra espécie, mais adequada.

3.2.3 Quanto ao uso e tratamento de madeiras de reflorestamento

Como já visto anteriormente, o uso da madeira de reflorestamento foi empregado para suprir as variadas necessidades de utilização da madeira e também visando à preservação de florestas nativas. Na década de 60, o Brasil optou pelos gêneros Eucalipto (dicotiledôneas) e Pinus (coníferas) para um programa de reflorestamento. Sabendo-se que estas espécies de madeira são altamente susceptíveis à demanda biológica, é indispensável à adoção de medidas preventivas visando melhorar a sua durabilidade. Dentre algumas medidas possíveis, a

preservação através da introdução de produtos químicos por processos industriais é a mais eficaz, PINHEIRO (2001).

Segundo CALIL et al (2006), a madeira de reflorestamento de ciclo curto representa um real compromisso com o meio ambiente. Entretanto, para viabilizar seu uso na construção civil, temos que considerar que são espécies cuja durabilidade natural varia de baixa a moderada e a sua permeabilidade (tratabilidade) é diferenciada aos preservativos de madeira. Em condições de alta agressividade biológica, a madeira, principalmente estrutural, deve ser permeável ao tratamento para garantir uma retenção dos produtos preservativos adequados.

A madeira de eucalipto tratada tem sido usada há décadas na indústria de utilidades de postes e moirões e mais recentemente dormentes tratados, e tem grande potencial para uso em construções rurais, urbanas e industriais tais como: mangueiros, currais, estacas de fundações, estruturas de contenções de terra, passarelas, pontes, quiosques, galpões rurais e industriais, edificações residenciais, estabelecimentos comerciais, hotelarias, igrejas, instituições de ensino, sedes de parques ecológicos e ambientais, parques turísticos e com brinquedos infantis, estruturas de locais de eventos, coberturas especiais, estruturas de arquibancadas, torres de observação, defensas de rodovias, barreiras acústicas, entre outros. Os estudos realizados nas universidades e institutos brasileiros têm demonstrado isso.

O eucalipto, usado na sua forma roliça, em construções usuais, onde o alburno (porção permeável) é totalmente impregnado com produtos preservativos. Entretanto, o cerne das espécies de eucalipto é impermeável ao tratamento preservativo, podendo ser deteriorado por organismos xilófagos em condições extremas de uso, como por exemplo, em contato com o solo. Portanto, delineia-se um desafio para o setor na busca de produtos e processos para o tratamento deste cerne para viabilizar a madeira de eucalipto serrada e tratada na construção civil nestas condições. Vale ressaltar que em situações de menor risco de ataque de fungos e insetos xilófagos, pode-se buscar a adequação das propriedades da madeira serrada de eucalipto às condições de uso, tornando-se um material viável, CALIL et al (2006).

Outra espécie de reflorestamento que vem crescendo no mercado da construção civil é o pinus, que teve uma adaptação muito boa às condições climáticas do nosso país. Essa adaptação está diretamente associada à atual disponibilidade e manejo sustentável dessas florestas cultivadas, CALIL et al (2006).

Porém, a utilização de madeira de pinus tratado na construção civil ainda é muito pequena, principalmente em razão do desconhecimento dos profissionais envolvidos no setor de construção quanto às características e recomendações para a utilização deste material (REVISTA DA MADEIRA, 2001).

Em muitos países, o pinus tratado já é utilizado em construções como residências, pontes, barreiras de som e silos. O uso do pinus apresenta as seguintes vantagens: menor peso da edificação, portanto, fundações e alicerces mais simples, menor tempo de construção em relação à alvenaria e redução de desperdício de material, pois todos os componentes podem ser pré-fabricados (NAHUZ, 2002).

A madeira de pinus é considerada de baixa resistência mecânica e durabilidade natural, entretanto, apresenta uma alta permeabilidade/tratabilidade às soluções preservativas, garantindo um tratamento adequado (penetração e retenção) e vida útil superior a 50 anos, dependendo do produto, processo de tratamento e condição de uso, CALIL et al (2006).

PINHEIRO (2001) conclui em sua tese doutorado de que a preservação química industrial é de extrema relevância, principalmente por não reduzir e, em alguns casos até aumentar os valores das propriedades mecânicas estudadas, além de ser um método comprovado e eficaz contra a biodeterioração.

3.2.4 Escolha do método de tratamento e do produto preservativo

As técnicas de preservação química consistem basicamente, em introduzir, através de processos adequados, produtos químicos dentro da estrutura das madeiras, visando torná-la tóxica aos organismos que a utilizam como fonte de alimentos. A escolha do processo e do produto preservativo dependerá, principalmente, do tipo de madeira e das condições de utilização das mesmas, CALIL et al (2006).

O valor de um tratamento preservativo depende da harmonização de cinco fatores:

- da tratabilidade ou impregnabilidade da madeira, característica da espécie escolhida;
- de sua umidade no momento do tratamento;
- das características e possibilidade de emprego do produto preservativo de madeira;
- do método de tratamento;
- da retenção e penetração do produto preservativo na madeira.

3.2.4.1 Produtos preservativos

Segundo CALIL et al (2006), os produtos preservativos são definidos como sendo substâncias ou formulações químicas, de composição e características definidas, que devem apresentar as seguintes propriedades:

- eficiência na prevenção ou controle de organismos xilófagos;
- segurança em relação ao homem e ao meio ambiente;
- permanência na madeira (não deve perder-se na madeira por decomposição, evaporação, lixiviação, exsudação ou outros);
- não corrosivo;
- de custo acessível (competitivo);
- disponível no mercado;
- e não deve prejudicar as propriedades físicas e mecânicas da madeira.

Outras características, além das mencionadas, poderão ser essenciais, o que poderá ser determinado pelas particularidades de uso da madeira.

A seleção adequada de um produto preservativo é a primeira condição para conferir proteção a uma madeira de baixa durabilidade natural. Segundo CALIL et al (2006), os preservativos de madeira podem ser agrupados segundo sua natureza:

- oleosos, produtos essencialmente representados pelos derivados do alcatrão de hulha;
- óleos solúveis, produtos contendo misturas complexas de agentes fungicidas e/ou inseticidas, a base de compostos de natureza orgânica e/ou organometálica;
- e os hidrossolúveis, produtos contendo misturas mais ou menos complexas de sais metálicos.

Alguns autores reúnem os preservativos oleosos com os oleossolúveis numa categoria. A importância de tal critério é meramente didática, pois as modernas técnicas de produção de emulsões tiram muito do valor desse critério estabelecido com base na natureza química do solvente utilizado como veículo, CALIL et al (2006).

Sobretudo, deve-se considerar a busca de produtos preservativos de menor impacto ao meio ambiente e à higiene e segurança, a disponibilidade de produtos no mercado brasileiro, os aspectos estéticos (alteração de cor da madeira, por exemplo), aceitação de acabamento, e a necessidade de monitoramento contínuo.

O setor de preservação de madeiras no Brasil é regulamentado e fiscalizado pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, portanto, a consulta a este órgão é sugerida, pois novos produtos podem ter sido registrados ou alguns não mais permitidos para uso no tratamento de madeiras.

3.2.4.2 Métodos de tratamento

Igualmente importante é a seleção do método de aplicação, ou método de tratamento. Produto algum poderá conferir proteção satisfatória à madeira se não for corretamente aplicado. Dependendo da Classe de Uso à qual o componente de madeira estará sujeito, a aplicação dos produtos preservativos poderá ser efetuada com base nos seguintes processos: sem pressão, isto é, impregnação superficial da madeira, ou com pressão, isto é, impregnação profunda da madeira, por aplicação do preservativo em autoclave, disponível em usinas de preservação de madeiras.

Os processos sem pressão, ou superficiais, caracterizam-se por não utilizarem pressão externa para forçar a penetração do preservativo na madeira, portanto, proporcionam baixa retenção e penetração do produto preservativo na madeira. A impregnação é baseada nos princípios da difusão e/ ou da capilaridade, os quais proporcionam uma penetração do preservativo quase que superficial, na maioria das vezes. Como efeito, confere à madeira uma proteção limitada contra os organismos xilófagos, sendo recomendados para a preservação de peças que estarão sujeitas a baixos riscos de deterioração biológica (Classes de Uso 1, 2 e 3, principalmente). Essas considerações referem-se ao uso de produtos preservativos oleosos, óleos solúveis ou emulsionáveis aplicados às madeiras secas (teor de umidade abaixo de 30% na base seca), pelos processos de aspersão, imersão e pincelamento; e preservativos hidrossolúveis com propriedades difusíveis, aplicados às madeiras úmidas (acima de 30%) por estes processos, CALIL et al (2006).

Ainda conforme CALIL et al (2006), no caso de componentes estruturais e construtivos de madeira utilizados em pontes (Classes de Uso 4, 5 e 6), os processos de impregnação sob pressão em autoclaves são os mais eficazes e recomendados. Eles promovem a distribuição e penetração mais uniforme do produto preservativo em todas as partes permeáveis da madeira com teor de umidade abaixo do ponto de saturação das fibras (~30%), além de favorecer o controle da quantidade de preservativo absorvido (nível de retenção) para uma

proteção ampla da madeira, mesmo em condições de alto risco de deterioração biológica.

Estes processos são realizados em instalações industriais, denominadas usinas de preservação de madeiras, figura 3.4. De um modo geral, pode-se dividir os processos sob pressão em duas categorias: célula cheia e célula vazia.



Figura 3.4: Usina de Preservação de Madeira, tratamento de impregnação de preservativo em autoclave. Fonte: Fotos tiradas em visita técnica à usina Petras, em julho de 2008, BRITO (2010).

3.2.4.3 Penetração e retenção do produto preservativo

Os principais parâmetros de qualidade para a madeira preservada são a penetração e a retenção do preservativo absorvido no processo de tratamento.

A penetração é definida como sendo a profundidade alcançada pelo preservativo ou pelos seus ingredientes ativos na madeira, expressa em milímetros (mm). Já a retenção é a quantidade do preservativo ou do seus ingredientes ativos, contida de maneira uniforme num determinado volume da madeira, expressa em quilogramas de ingrediente ativo por metro cúbico de madeira tratável (kg/m^3), CALIL et al (2006).

A especificação de um tratamento preservativo, baseado nas Classes de Uso, deve requerer penetração e retenção adequadas que dependem do método de tratamento escolhido. As normas técnicas e a experiência do fabricante podem relacionar estes parâmetros de qualidade do tratamento, considerando minimamente:

- quanto maior a responsabilidade estrutural do componente de madeira, maior deverá ser a retenção e penetração do produto preservativo;
- uma maior vida útil está normalmente associada a uma maior retenção e penetração do produto;
- algumas Classes de Uso, por exemplo, a classe 5, incluem uma gama grande de condições de exposição, portanto, diferentes retenções e penetrações podem ser selecionadas;

- para uma mesma Classe de Uso, diferenças de micro e macroclima entre regiões, podem exigir maiores retenções e penetrações;
- a economia em manutenção e a acessibilidade para reparos ou substituições de um componente podem exigir maiores retenções e penetrações;
- o controle de qualidade de toda a madeira preservada deverá ser realizado para garantir os principais parâmetros de qualidade: penetração e a retenção do preservativo absorvido no processo de tratamento.

Em suma, para as madeiras utilizadas nas Classes de Uso 4, 5 e 6, é recomendado o tratamento sob pressão com produtos preservativos de natureza hidrossolúvel e ou oleosa. As tabelas 3.2, 3.3 e 3.4 apresentam as combinações entre os produtos preservativos em função das Classes de Uso de deterioração biológica.

Tabela 3.2: Classe de Uso 4

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

Fonte: CALIL et al (2006).

Tabela 3.3: Classe de Uso 5

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

Fonte: CALIL et al (2006).

Tabela 3.4: Classe de Uso 6

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

Fonte: CALIL et al (2006).

Notas:

- a. No caso de espécies de folhosas, o cerne é normalmente não tratável, mesmo sob pressão, portanto uma maior vida útil do componente depende da alta durabilidade natural desta porção da madeira. No caso de madeiras permeáveis, como o pinus, ou o alburno da maioria das espécies de folhosas, é possível impregnação total com o produto preservativo.
- b. Componentes estruturais de difícil manutenção, reparo ou substituição e críticos para o desempenho e segurança do sistema construtivo.
- c. Devido à sua natureza oleosa e propriedades químicas, a peça de madeira tratada com óleo creosoto pode apresentar problemas de exsudação do produto (migração para a superfície), além de não permitir acabamento com tintas, stains e vernizes. Portanto, recomenda-se seu uso nos componentes que não entram em contato direto com as pessoas e ou animais.
- d. Componentes estruturais críticos, como estacas de fundações totalmente ou parcialmente enterrados no solo ou em contato com água doce, utilizados em locais de clima severo e ambiente com alto potencial de biodeterioração por fungos e insetos xilófagos.
- e. O método de duplo-tratamento com os produtos preservativos CCA e óleo creosoto deve ser adotado em regiões de ocorrência de *Sphaeroma terebrans* e *Limnoria tripunctata* e na ausência de informações sobre estes organismos xilófagos no local de uso da madeira.
- f. Devido à natureza química dos produtos preservativos recomendados para o tratamento de madeiras, nos componentes construtivos das estruturas, na construção civil, que podem estar em contato direto com pessoas ou animais, é recomendado o uso de acabamentos adequados, como “stains”, vernizes e ou tintas, para evitar a migração e ou lixiviação do produto preservativo.

3.2.4.4 Precauções gerais

- a. Adotar a Classe de Uso mais agressiva quando diferentes partes de um mesmo componente apresentam diferentes Classes de Uso.
- b. Situações em que um componente fora de contato com o solo for submetido a intenso umedecimento, considerar uma situação equivalente ao contato com o solo ou água doce.

- c. Componentes inacessíveis quando em serviço ou quando sua falha apresente conseqüências sérias, é aconselhável considerar o uso de madeira de alta durabilidade natural ou um tratamento preservativo que proporcione maior retenção e penetração do produto preservativo na madeira.
- d. A diferente durabilidade natural e tratabilidade do alburno e cerne devem ser sempre consideradas.
- e. Se o risco de lixiviação do produto preservativo existe, considerar a proteção dos componentes durante construção e ou transporte.
- f. Fatores como manuseio das peças tratadas, práticas durante a construção, integridade de acabamentos ou compatibilidade do produto preservativo com o acabamento, podem afetar o desempenho da madeira preservada.
- g. Adoção um sistema de secagem adequado para a produção de madeira roliça tratada de boa qualidade e, conseqüentemente, do produto final.

3.3 SECAGEM DA MADEIRA

Segundo a NBR 8456:1984, os postes de eucalipto, devem antes da aplicação do preservativo, serem submetidos ao processo de secagem natural preferencialmente, ou de condicionamento artificial. Esta etapa é conhecida tecnicamente com fase de sazonalamento.

Conforme a NBR 8456:1984, a secagem natural deve ser ao ar livre e as peças de eucalipto devem ser mantidas em pátios de secagem preferencialmente sombreados e por tempo suficiente (3 a 6 meses, aproximadamente) de modo a atingir o teor de umidade especificado no item 5.1.1. desta norma. O pátio de secagem deve situar-se preferencialmente em lugares altos, não úmidos, bem drenados e livre de vegetação e detritos. Os postes devem ser reunidos em camadas de maneira a permitir ventilação entre eles.

Ainda conforme a NBR 8456:1984, em caso de conveniência ou quando as condições climáticas sejam tais que a longa secagem ao ar livre dê possibilidade de deterioração, pode-se usar condicionamento artificial, mediante:

- a) vapor;
- b) aquecimento em preservativo á pressão atmosférica;
- c) aquecimento em óleo, sob vácuo, ou;
- d) secagem em estufa.

Observação: em qualquer dos casos a temperatura não deve ultrapassar a 105°C.

O teor de umidade assume papel de importância para a correta utilização industrial das madeiras, senão o mais importante, pois o processo de secagem influi decisivamente nas dimensões finais a serem utilizadas NAZAR (2007).

A água na madeira é composta basicamente em livre e água de impregnação, conforme demonstrado na figura 5.5.

O teor de umidade correspondente ao mínimo de água livre e ao máximo de água de impregnação é denominado ponto de saturação das fibras. Para as madeiras brasileiras, situa-se em torno de 25%, sendo que até esse percentual pouco dano ocorre no material a partir desse ponto, a perda de umidade é acompanhada de retração, com as respectivas reduções de dimensões e aumento de resistência, NAZAR (2007).

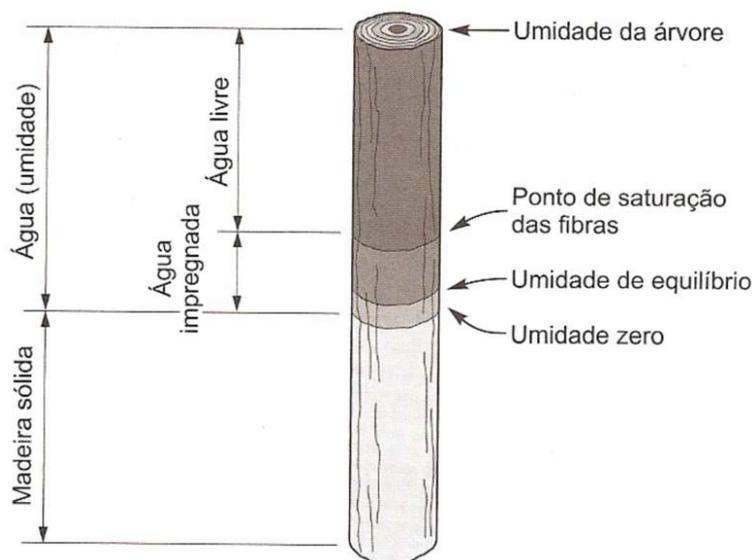


Figura 3.5: Água livre e água de impregnação na madeira. Fonte: CALIL (2001).

Em termos de cálculo estrutural, a NBR 7190:1997 especifica a umidade de 12% como referência para ensaios e valores de resistência, e recomenda a correção do F_u de resistência e do E_u do módulo de elasticidade para os valores de umidade de 12%.

4 LIGAÇÕES

Ligações, também conhecidas no meio técnico, como conexões, devem ser consideradas pontos fundamentais na segurança de estruturas de madeira. Em algumas situações, a falha de uma conexão poderá ser responsável pelo colapso da estrutura. Como exemplo desta situação, pode ser citado o caso comum de telhados em duas águas com estrutura em treliças triangulares, nos quais se tem a presença de ligações fundamentais: o nó de apoio, a emenda do banzo inferior e o nó de cumeeira. O comprometimento de uma destas ligações pode levar ao colapso da estrutura treliçada, CALIL et al (2003).

Segundo a NBR 7190:1997, as ligações mecânicas das peças de madeira podem ser feita por meio dos seguintes elementos:

- pinos metálicos (pregos ou parafusos);
- cavilhas (pinos de madeira torneados);
- conectores (anéis metálicos ou chapas metálicas).

Os pinos metálicos, principalmente os parafusos, podem ser considerados como os utilizados com maior frequência. Conforme o item 8.3.4 da NBR 7190:1997, recomenda-se que os parafusos estruturais tenham diâmetros não menores que 10 mm e resistência característica de escoamento f_{yk} de pelo menos 240 MPa.

Conforme o item 10.2.3 da NBR 7190:1997 as espessuras mínimas para arruelas de aço devem ser de 9 mm para ligações em elementos estruturais de pontes e 6 mm em outras estruturas, não devendo em caso algum ser inferior a 1/8 do lado, no caso das arruelas quadradas ou do diâmetro, no caso das arruelas redondas.

A segurança de elementos de conectores metálicos deve ser verificada de acordo com as prescrições da NBR 8800. A espessura mínima das chapas de aço das ligações devem ser de 9 mm para as conexões entre elementos estruturais de pontes e 6 mm em outros casos, conforme descrito no item 10.2.4 da NBR 7190:1997.

No cálculo das ligações, a NBR 7190:1997 não permite a consideração benéfica do atrito entre as superfícies de contato, devido à retração e à deformação lenta da madeira. Também não deve ser considerado o atrito proporcionado por estribos, braçadeiras ou grampos, CALIL et al (2003).

A madeira, quando perfurada, pode apresentar problemas de fendilhamento. Para evitá-los, devem ser obedecidos os espaçamentos e pré-furações especificados

pela NBR 7190:1997, para cada tipo de dispositivo utilizado.

Conforme a NBR 7190:1997, o estado limite último de uma ligação é atingido por deficiência de resistência da madeira ou do elemento de ligação.

O dimensionamento da ligação é feito pela seguinte condição de segurança:

$$S_d \leq R_d$$

onde: S_d o valor de cálculo das solicitações.

R_d é o valor de cálculo da resistência.

As ligações em construções de estruturas com peças de madeira roliça são mais difíceis de serem confeccionadas do que as ligações com madeira serrada. Em alguns casos, a peça de madeira roliça precisa ser cortada para facilitar a conexão das juntas e garantir o melhor comportamento entre os elementos estruturais nas ligações.

Portanto, este é um dos principais problemas para a resistência ao uso de construções com peças de madeira roliça, onde os processos de execução das ligações são realizados por métodos bastante artesanais e difíceis, aos quais em alguns casos apresentam baixa eficiência.

O problema de processos artesanais de execução de ligações é comentado no trabalho de MAIA e CALIL (1989). Os autores apresentam o projeto e execução de uma residência construída no litoral, em que se utilizou peças roliças tratadas de eucalipto Citriodora. Portanto, neste projeto, todo o sistema estrutural composto por vigas e colunas, é constituído por peças de eucalipto Citriodora, substituindo o sistema convencional de Concreto Armado. Outra dificuldade citada no artigo foi à confecção dos detalhes "in loco", os quais foram executados artesanalmente, contando apenas com a prática do carpinteiro local e grande número de auxiliares.

Desta forma, o emprego de peças roliças de madeira tratada como solução construtiva, sem projeto elaborado por profissional com conhecimento específico e sem utilização mão de obra especializada e matéria prima selecionada, pode ocasionar em encarecimento do custo final da construção, além da não garantia da segurança da estrutura.

Visando então, promover o uso mais eficiente das ligações entre os elementos estruturais com peças de madeira, o objetivo deste capítulo é apresentar os tipos mais usuais de conexões nestas estruturas.

4.1 LIGAÇÕES POR ENTALHES

As ligações por entalhes devem ser empregadas apenas para a transmissão de esforços de compressão entre as peças. Os esforços são transmitidos por contato direto entre os elementos. No caso de inversão de esforços, causada pela ação do vento, deve ser prevista outra forma para transmitir a tração. O dimensionamento das ligações por entalhes requer a verificação de efeitos localizados, como a compressão no local de transmissão do esforço e, em alguns casos, a tendência a promover cisalhamento paralelo às fibras da madeira, CALIL et al (2003).

As ligações por entalhes são tipos de ligações comumente adotados para sistema viga-coluna no Brasil, e constituem num encaixe côncavo no topo da coluna e às vezes fixadas verticalmente com adição de barra de aço galvanizado (pino metálico) ou cavilha de madeira, para impedir a separação das peças. A confecção da ligação por entalhe, de encaixe cilíndrico, no topo da peça, é realizada com auxílio de furadeira manual, e formão. Na figura 4.1, estão apresentados os processos de confecção em peças roliças, de ligações por entalhes, de encaixe cilíndrico, no topo da peça.



Figura 4.1: Confecção da ligação p/ entalhe, de encaixe cilíndrico, no topo da peça.

Fonte: www.flickr.com/photos/andre_costa/sets/72157610865518855/

4.2 LIGAÇÕES COM CAVILHAS DE MADEIRA

Uma opção aos pinos metálicos são as cavilhas de madeira, que apresentam um funcionamento semelhante quanto à transmissão dos esforços. As cavilhas têm a vantagem de poderem ser utilizadas em ambientes agressivos aos pinos metálicos, CALIL et al (2003).

Para a confecção de cavilhas, a madeira utilizada deve apresentar como propriedades mínimas de resistência os valores especificados para a Classe C60. Caso sejam utilizadas espécies de densidade inferior, estas devem ser impregnadas com resinas que aumentam a sua resistência até a valores compatíveis com a classe C60, CALIL et al (2003). A pré-furação deve apresentar o mesmo diâmetro da cavilha, figura 4.2.

Os critérios para a determinação da resistência de uma cavilha, para uma dada seção de corte, seguem os mesmos especificados para ligações por pinos metálicos, neste caso, sendo considerados os seguintes parâmetros da madeira:

- resistência à compressão paralela ($f_{c0,d}$) da cavilha considerada em sua flexão;
- resistência à compressão normal da cavilha ($f_{c90,d}$);
- diâmetro da cavilha (d);
- diâmetro das peças roliças, que corresponde espessura convencional (t) da madeira serrada, conforme a NBR 7190:1997.



Figura 4.2: Ligações por cavilhas. Fonte: PARTEL (1999).

4.3 LIGAÇÕES COM BARRAS ROSQUEADAS, ARRUELAS E PORCAS

Ligações utilizando barras de aço rosqueadas, fixadas com arruelas e porcas nas extremidades, tem sido largamente empregadas em conexões entre os elementos estruturais, com peças roliças de madeira.

Após a colocação do parafuso ou barra rosqueada, e arruelas, as porcas são apertadas, comprimindo fortemente a madeira na direção transversal, sendo o esforço transferido à madeira com auxílio das arruelas.

A NBR 7190:1997, define a resistência total de um pino como sendo a soma das resistências correspondentes às suas diferentes seções de corte. E a resistência característica de escoamento mínima do aço utilizado na fabricação de pregos e parafusos deve ser, de acordo com a Norma Brasileira, de 600 MPa e 240 MPa, respectivamente.

Em ligações parafusadas, duas situações podem ocorrer neste caso:

- pré-furação não maior que o diâmetro mais 0,5 mm, para consideração de ligação rígida;
- valores maiores que o anterior, com consideração de ligação deformável.

Segundo a NBR 7190:1997, entende-se por ligação rígida aquelas que obedecem aos critérios de pré-furação e utilizem no mínimo quatro pinos.

Na figura 4.3a os desenhos detalham diversos tipos de ligações utilizando barras de aço rosqueadas, fixadas com arruelas e porcas nas extremidades, tanto em conexões entre elementos estruturais utilizando somente peças roliças de madeira, quanto ligações mistas de madeira roliça com madeira serrada. A figura 4.3b apresenta ligações entre elementos estruturais com madeira roliça, utilizando barras de aço rosqueadas, fixadas com arruelas e porcas nas extremidades.

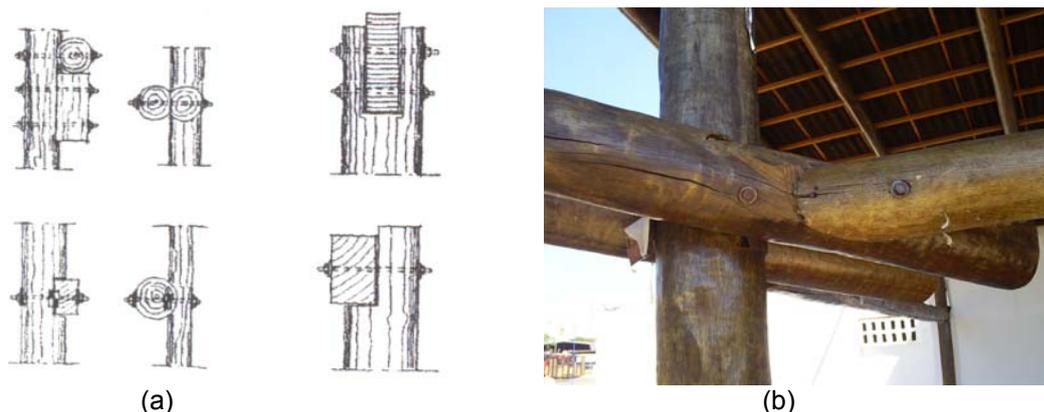


Figura 4.3: (a) Ligações com barras rosqueadas, arruelas e porcas. Fonte: HOLZ (1995).
(b) Ligações deste sistema em peças roliças. Fonte: BRITO (2010).

4.4 LIGAÇÕES COM BARRA ROSQUEADA E PINO METÁLICO (DOWEL-NUT)

Este tipo de ligação consiste num sistema com barra de aço rosqueada, pino metálico, arruela e porca, ou parafuso com rosca e pino metálico. Em um furo transversal passando pelo eixo da viga próximo a coluna conecta-se o pino metálico que possui um furo com rosca fêmea compatível com o diâmetro da rosca da barra de aço. A barra de aço rosqueada é então introduzida passando transversalmente pela coluna e em um furo no eixo longitudinal da viga de forma a rosquear no orifício do pino metálico transversal. Na extremidade externa da barra de aço na face externa da coluna, introduz-se a arruela e a porca, comprimindo fortemente a madeira da coluna na direção transversal. Conseqüentemente a barra de aço introduzida longitudinalmente no eixo da viga, ao rosquear com o pino transversal à viga, conecta-se na face interna da coluna como representa a figura 4.4.

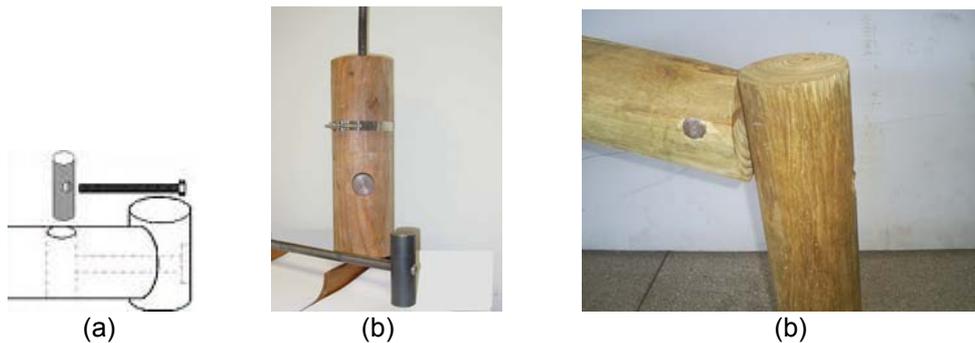


Figura 4.4: Ligações metálicas com barra rosqueada e pino. Fontes: (a,b) CALIL (2007) e (c) BRITO (2010).

Um exemplo desta ligação, foi utilizado por WOLF et al (2000), em conexões para treliça espacial, figura 4.5.

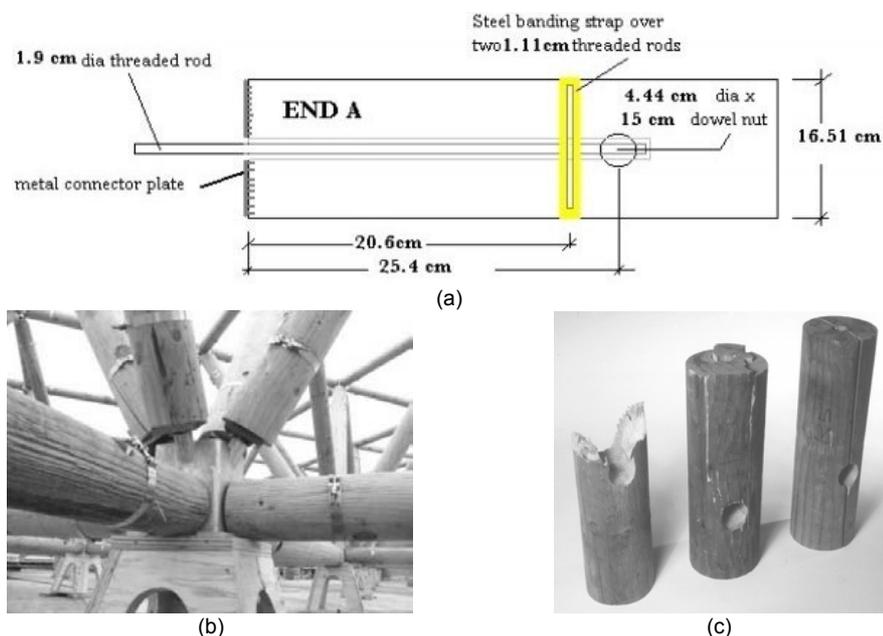


Figura 4.5: Ligação Dowel-Nut para treliça espacial: (a) detalhes da conexão; (b) nó de conexão da treliça espacial; (c) modos de ruptura da madeira conífera Douglas. Fonte: WOLF et al (2000).

4.5 LIGAÇÕES COM CHAPAS METÁLICAS EXTERNAS PARAFUSADAS

As ligações em elementos estruturais em peças roliças de madeira, executadas com chapas metálicas externas, também podem ser denominadas como talas metálicas. A conexão é executada através de barras de aço com rosca, que atravessam transversalmente as chapas e as peças de madeira roliça. Com o aperto das porcas nas extremidades das barras de aço, travam o sistema comprimindo as peças de madeira. HOLZ (1995) demonstra este sistema de ligação, como pode ser visto na figura 6.6a. Normalmente neste tipo de ligação é comum modificar as madeiras roliças fatiando duas faces externas, de maneira a tornarem planas e contínuas, para unir adequadamente junto às faces das chapas metálicas. A figura 4.6b apresenta uma ligação aparentemente rígida, pois possuem quatro parafusos em

cada peça, com chapas metálicas externas unindo as peças, compondo a cumeeira da cobertura de um sistema de galpão tipo pórtico.

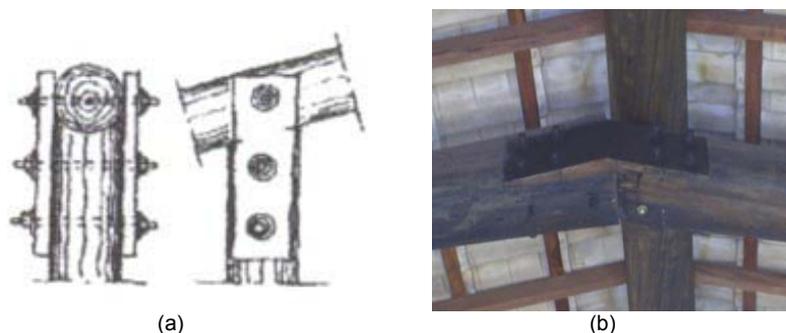


Figura 4.6: (a) Ligações com chapas metálicas externas. Fonte: HOLZ (1995).
(b) Ligação deste sistema. Fonte: BRITO (2010).

4.6 LIGAÇÕES COM CHAPAS METÁLICAS INTERNAS PARAFUSADAS

Estes tipos de ligações consistem em sistemas com chapas metálicas que são introduzidas em cortes longitudinais tipo fenda nos eixos das peças de madeira roliça, normalmente nas extremidades destas peças e com espessura da chapa metálica. A conexão também é executada através de barras de aço com rosca, que atravessam transversalmente as chapas e as peças de madeira roliça. Com o aperto das porcas nas extremidades das barras de aço, travam o sistema comprimindo as faces internas das peças de madeira com as faces da chapa metálica. A figura 4,7a demonstra um desenho de projeto de conexão deste sistema de ligação. A figura 4.7b apresenta um detalhe da conexão executada deste projeto, sendo uma ligação aparentemente rígida, pois possuem quatro parafusos em cada peça, com chapas metálicas internas unindo as peças, compondo uma ligação de canto de um sistema de quiosque e a chapa metálica em que apóia este sistema será conectada à coluna e fixada através de barras de aço com rosca, arruelas e porcas.

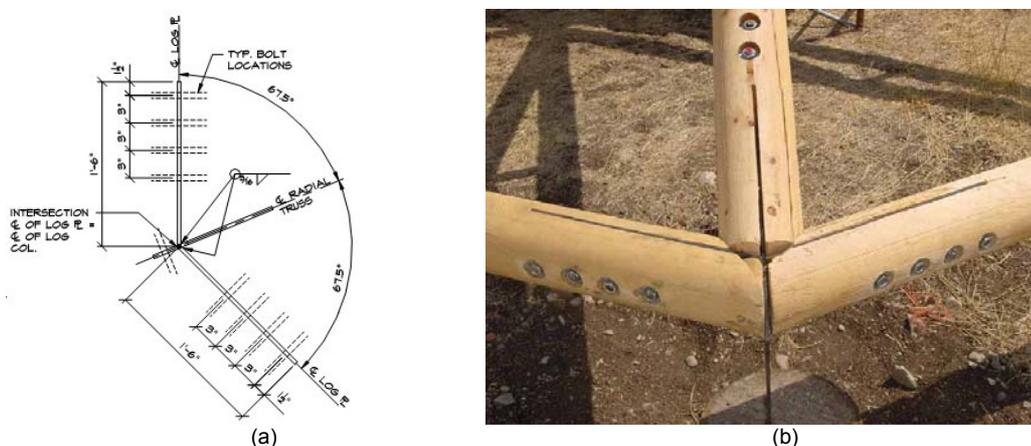


Figura 4.7: Ligações com chapas metálicas internas: (a) desenho da conexão no projeto; (b) detalhe da conexão. Fonte: BEAUDETTE CONSULTING ENGINEERS INC.

4.7 LIGAÇÕES COM CONSOLES METÁLICOS PERFURADOS E PARAFUSADOS

Na Califórnia, a empresa de construções e consultoria de estruturas de “log home”, a “Whisper Creek Developers Inc.”, utiliza nas ligações entre os elementos estruturais, conexões industrializadas, de consoles metálicos perfurados e parafusados, figura 4.8.

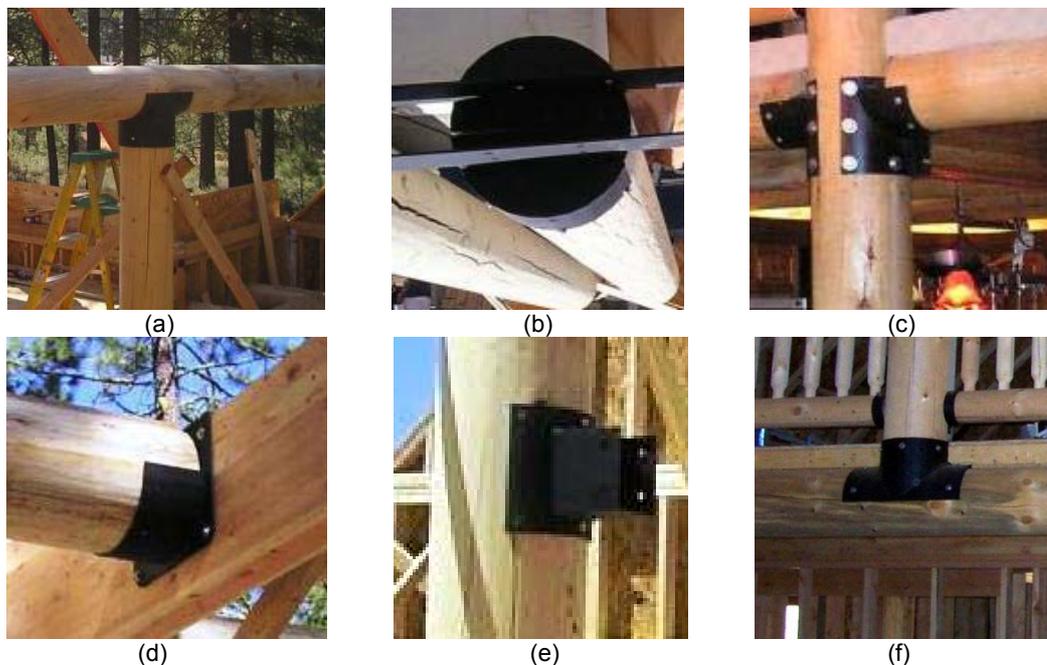
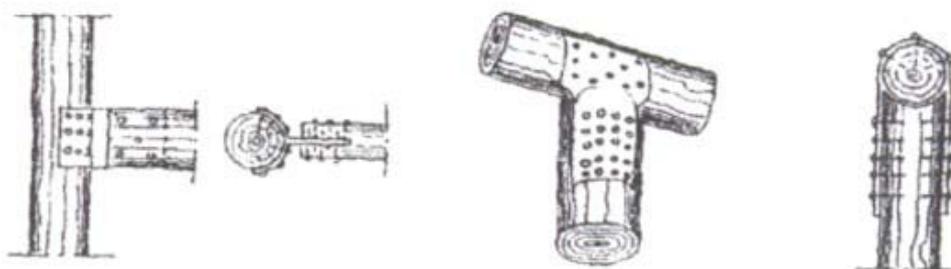


Figura 4.8: Principais tipos de ligações com consoles metálicos perfurados e parafusados, (a) topo de colunas que suportam vigas contínuas de madeira roliça; (b) topo de colunas que suportam vigas contínuas de madeira serrada; (c) extremidades de vigas roliças que apóiam nas colunas; (d) extremidades de vigas roliças que apóiam em vigas ou pilares de madeira serrada; (e) extremidades de vigas serradas que apóiam em colunas; (f) vigas roliças de transição onde nascem colunas.

Fonte: Whisper Creek Developers Inc.

4.8 LIGAÇÕES COM CHAPAS METÁLICAS GALVANIZADAS PERFURADAS E PREGADAS

Os conectores de chapas metálicas galvanizadas perfuradas e pregadas (figura 4.9), são componentes eficientes para construções de galpões rurais, utilizando madeira roliça com diferentes diâmetros, desenvolvidos para realizar ligações entre as peças de maneira simples, e proporcionam curto tempo de execução na montagem da estrutura.



a) Ligações coluna-viga reta

b) Ligações coluna-viga inclinada.

Figura 4.9: Tipos de Conectores de chapas metálicas galvanizadas perfuradas. Fonte: HOLZ (1995).

Estes conectores normalmente são fabricados por empresas especializadas. A GANG-NAIL do Brasil é fornecedora de uma linha destes conectores, sendo confeccionados em peças únicas em aço especial zincado por imersão a quente, com 1,95mm de espessura, sem emendas ou soldas, garantindo tecnicamente as ligações entre as peças, figura 4.10.



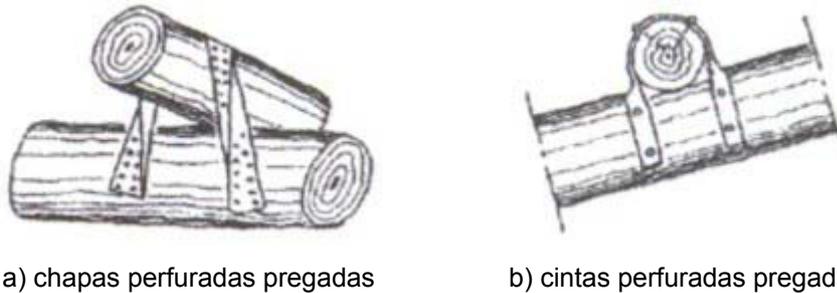
Figura 4.10: Conectores de chapas metálicas galvanizadas perfuradas. a) Ligações de topo viga-viga, inclinadas; b) Ligações coluna-viga inclinada. Fonte: www.gangnail.com.br

Normalmente estes conectores são especialmente indicados para construções de galpões (figura 4.11), permitindo vãos de até 10 metros em duas águas com sistema de tirantes e contraventamentos. Porém outras soluções podem ser adotadas como de uma água ou ainda de duas águas desencontradas ou seriadas.



Figura 4.11: Ligações com chapas perfuradas e pregadas – Fonte: RANTA-MAUNUS (2002).

A mesma rapidez de execução é possível de ser obtida utilizando-se cintas com chapas metálicas perfuradas e pregadas para as fixações de terças. Vigas com peças roliças de madeira não deverão ser usadas nesta forma de construção, sem a confecção de entalhe na peça, de modo a evitar movimentos laterais do topo das colunas. Os postes agindo como elementos inclinados não são restritos pelas juntas mas pela flexibilidade inerente das seus cortes transversais circulares PARTEL (1999). Exemplos destes conectores típicos são apresentados na figura 4.12.



a) chapas perfuradas pregadas

b) cintas perfuradas pregadas

Figura 4.12: Conectores de terças com chapas e cintas metálicas galvanizadas perfuradas.

Fonte: HOLZ (1995).

4.9 CHAPAS METÁLICAS GALVANIZADAS COM DENTES ESTAMPADOS

As chapas Metálicas Galvanizadas com Dentes Estampados, são fabricadas por empresas especializadas. A GANG-NAIL do Brasil é fornecedora de uma linha de conectores anti-racha para madeira roliça denominada GN-18, para aplicação nas extremidades de postes, toras e mourões, garantindo maior controle das tensões internas nas fibras das madeiras, evitando que as rachaduras já existentes se alastrem, reduzindo os níveis de fendilhamento durante o processo de secagem da madeira, figura 4.13.



(a) detalhe das chapas



(b) chapas fixadas no topo das peças

Figura 4.13: Chapas metálicas galvanizadas com dentes estampados. Fonte: www.gangnail.com.br

As chapas de dentes estampados são mais empregadas em conexões de peças estruturais de madeira serrada. A figura 4.14 detalha a conexão de uma viga composta de seção dupla de madeira serrada, no topo da coluna, com chapas de dentes estampados e pinos metálicos, HOLZ (1995).

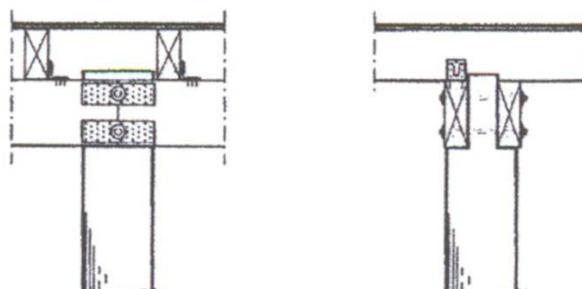


Figura 4.14: Juntas no topo da coluna. Fonte: HOLZ (1995).

4.10 LIGAÇÕES PARA NÓS DE TRELIÇAS ESPACIAIS

Os métodos de ligações para treliças espaciais viabilizam a utilização do material para construções de coberturas com grandes vãos utilizando peças roliças de madeira de pequenos diâmetros da ordem de 10 cm.

Portanto, em estruturas espaciais com madeira roliça, é necessária como um intermediário, uma articulação de aço especial no nó. A figura 4.15a apresenta detalhes de peças metálicas que compõem a conexão, para a ligação dos nós, com as chapas fixadas nas peças roliças de madeira, relativas à situação do plano espacial. A foto na figura 4.15b representa como é composto este sistema de ligação.

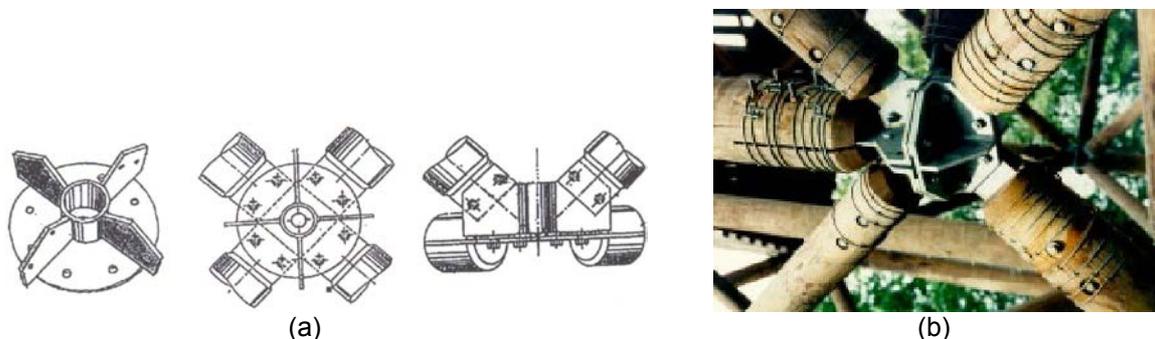


Figura 4.15: (a) Detalhes das conexões das peças de madeira roliça em estruturas espaciais, fonte: HUYBERS (1991); (b) Foto da conexão deste sistema de ligações, fonte: RANTA-MAUNUS (2002).

Na extremidade da peça de madeira roliça, corta-se uma fenda de aproximadamente 6 mm de espessura. Confecciona-se dois furos alinhados transversalmente a seção e perpendiculares a fenda aberta. Então, uma chapa metálica de 6 mm é introduzida na fenda. Dois pinos tubulares de 17x 3 mm de espessura de parede e 90 mm de comprimento são então fixadas nestes furos em cada extremidade. Esses pinos são fixados no lugar por laços de arame galvanizado, geralmente, quatro fios de arame são entrelaçados através de cada pino. Conforme a figura 4.16, cada arame é retorcido em volta da peça de madeira roliça e passam dentro dos furos da peça roliça e da chapa, contendo as pequenas cavilhas tubulares. O arame é então fixado dos dois lados para possibilitar a ligação das chapas perpendicularmente ao topo das peças, geralmente a espessura do arame usado é de 4 mm. Os arames e as cavilhas tubulares atuam juntos para transferir os esforços da peça roliça para a peça metálica.

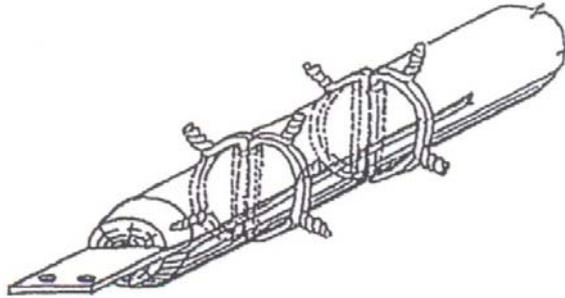


Figura 4.16: Detalhe da conexão com a chapa metálica. Fonte: HUYBERS (1991).

A transferência dos esforços de um elemento a outro acontece por intermédio de chapas de aço dentro das fendas, nas extremidades dos postes e dos laços de arame desenvolvidos pela Delfi University of Technology, na Holanda.

Desta forma, HUYBERS (1991) apresenta estas conexões com laços de arame galvanizados aplicados em estruturas espaciais de até 3 andares. São ligações em estruturas espaciais por intermédio de peças metálicas ou cantoneiras compostas. Os detalhamentos das estruturas espaciais em madeira roliça trazem novas alternativas que podem vir a solucionar o problema de execução de simples ligações. Para esse fim foi desenvolvida uma ferramenta manipulada manualmente que confecciona e fixa laços de arame galvanizado firmemente ao redor de qualquer objeto, mas particularmente como um método de junção.

Além da função de fixação, estes laços, também tem a finalidade de solucionar a tendência de fendilhamento nas extremidades das peças roliças, sendo essa região que dificulta a formação de conexões confiáveis entre os elementos estruturais.

Conforme a figura 4.17, para a confecção das ligações e montagem das treliças espaciais com peças roliças, seguem-se as seguintes etapas:

- 1- O arame é entrelaçado na peça e a ferramenta que tem um cabo fixo e um cabo móvel com uma engrenagem dentada, é posicionada;
- 2- A ferramenta trabalha com um dispositivo de ajuste para corte automático do arame;
- 3- O laço é apertado através do cabo móvel, o cortador é fechado e então as extremidades dos laços são retorcidos girando-se toda a ferramenta em torno do seu eixo vertical;
- 4- As pontas dos arames retorcidos são marteladas, e fixadas com um grampo metálico;
- 5- O comprimento final do arame torcido mede aproximadamente 30 cm.

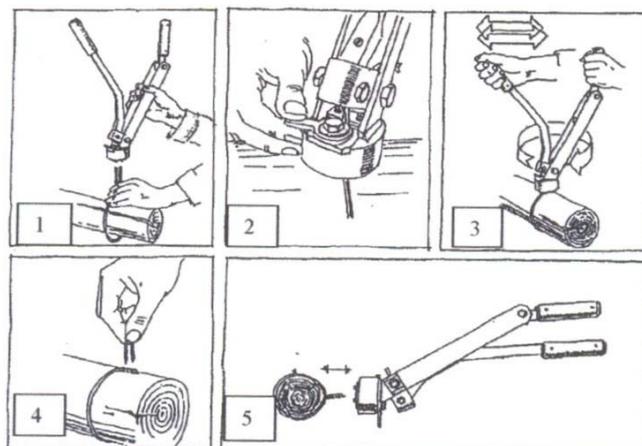


Figura 4.17: Etapas para execução dos laços. Fonte: HUYBERS (1991).

Outro tipo de ligação utilizado em nós de treliças espaciais é constituído por cantoneiras compostas, a necessidade de tal elemento articulador, foi desenvolvido por um projeto especial composto de chapas e perfis metálicos. O sistema permite aplicação da conexão em bases e diagonais, figura 4.18.

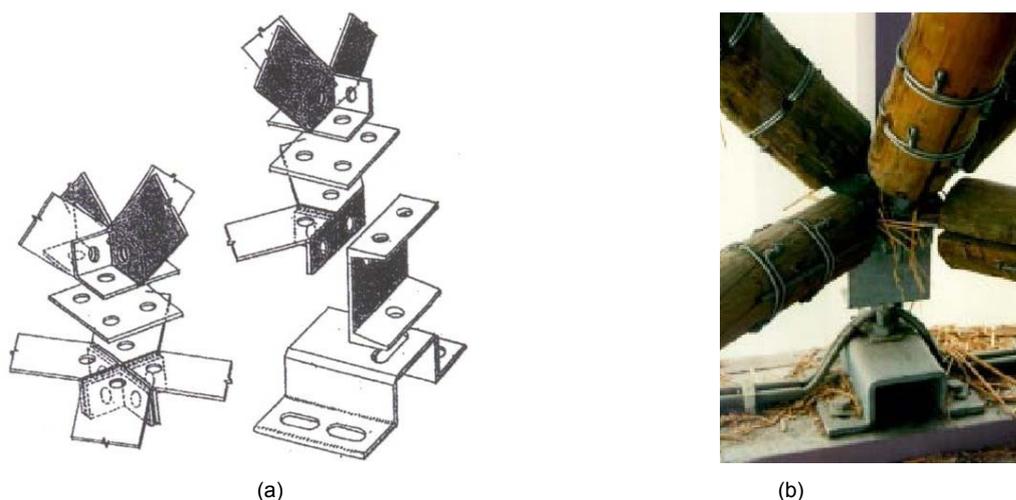


Figura 4.18: (a) Detalhes de montagem dos conectores com perfis metálicos, utilizados em treliças espaciais; (b) Foto das conexões deste sistema de ligações. Fonte: HUYBERS (1991).

Desta forma, as chapas de aço que fazem a ligação nas extremidades das peças de madeira, são compostas por pequenas peças metálicas em ângulo soldadas sobre perfis de cantoneiras. Essa ligação gera um resultado onde as peças de madeira podem ser simplesmente parafusadas unido-as entre si, sem elementos adicionais no nó, como em outras estruturas.

Também se destaca outro tipo de ligação utilizado em nós de treliças com peças roliças de pequeno diâmetro, porém que não necessita de elementos metálicos embutidos, é a LPSA (Light Post-tensioned Segmented Arch). A estrutura consiste no uso de tubos metálicos pré-fabricados onde as pontas da madeira de pequeno

diâmetro se encaixam. Desta forma, a estrutura LPSA é composta de vários segmentos conectados entre si. Um sistema de fios tracionados transforma o conjunto numa rígida estrutura, onde todas as peças estão comprimidas, figura 4.19. A principal vantagem deste sistema é o de não haver embutimento de qualquer elemento metálico na madeira roliça, evitando assim que danifique a estrutura de anéis de crescimento que segundo AL-KHATTAT (2002) é o que torna possível prever o comportamento da estrutura.

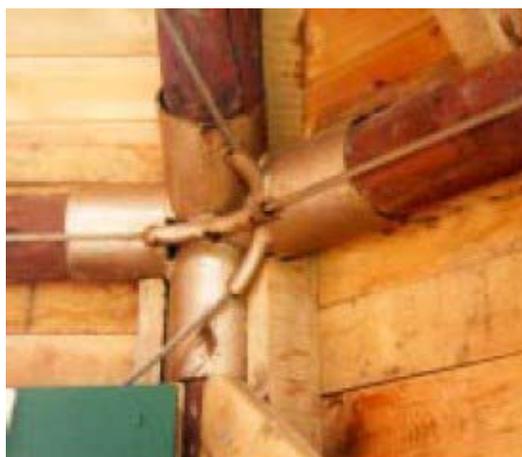


Figura 4.19: Exemplo de conexão LPSA. Fonte: RANTA-MAUNUS (2002).

4.11 LIGAÇÕES COM CINTAS METÁLICAS ENTRELAÇADAS

Esse tipo de ligação foi executado no tabuleiro da Ponte Pênsil sobre o rio Tietê em 1977. Foi encontrada pela equipe de engenheiros responsáveis do LaMEM, grande dificuldade de execução nesse tipo de ligação, principalmente para o posicionamento e a fixação das cinta metálicas. As chapas metálicas utilizadas na Ponte para a Nitroquímica Brasileira foram de 6 mm de espessura. Mesmo com a utilização de barras de menor espessura (3 mm), foi constatada dificuldade de composição do sistema, figura 4.20.

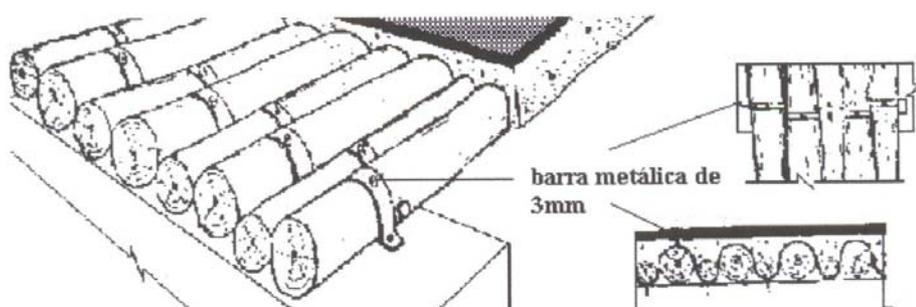


Figura 4.20: Ligações com cintas metálicas. Fonte: LOGSDON (1982).

4.12 LIGAÇÕES COM ANÉIS, BARRAS DE AÇO, ARRUELAS E PORCAS

Um tipo de ligação com maior capacidade de carga é a que emprega os anéis metálicos (figura 4.21), que são inseridos em sulcos executados previamente nas peças. A transmissão dos esforços entre as peças tende a provocar o cisalhamento do disco de madeira interno ao anel e a compressão entre a madeira e o anel, CALIL et al (2003).

Os anéis metálicos com barras de aço, arruelas e com porcas para travamento permitem a solidarização de vigas compostas, indicadas para grandes vãos ou cargas elevadas. De acordo com CALIL et. al. (1994), mais de 60 tipos estão patenteados nos Estados Unidos, Europa e Rússia, apresentando uma larga variedade de características, podendo ser fechados ou abertos, lisos ou com ranhuras. Os anéis metálicos, em geral, são fabricados à base de aço carbono, aço temperado, ferro fundido ou de liga de metal leve.

O anel é encaixado em cada uma das faces da peça de madeira, nos sulcos previamente abertos, utilizando-se ferramentas especiais CALIL et. ai. (1994). Estes sulcos devem ter a espessura igual ou no máximo 0,5 mm, maior que a espessura do anel, para um perfeito ajustamento do mesmo com as peças a serem ligadas, evitando-se assim uma eventual folga que influirá na rigidez da ligação. Além da resistência a cargas elevadas, o anel apresenta a vantagem de permitir a união de mais elementos concorrentes em um mesmo ponto, como por exemplo em um nó da treliça, com o emprego de um único parafuso de pequeno diâmetro.

Diante deste contexto, importante pesquisa nesta área foi realizada no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira, utilizando-se anéis cortados de canos de água, galvanizados, com diâmetros variando de 2" a 8". Foram estudados anéis fechados, partidos e bipartidos, figura 4.21.

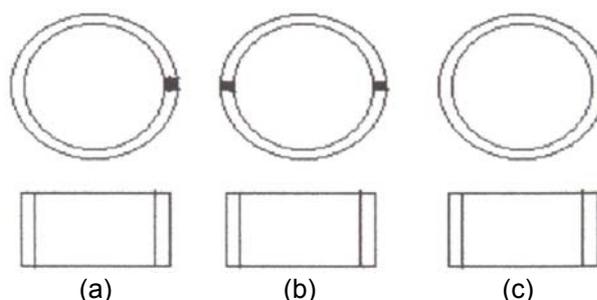


Figura 4.21: (a) Anel Partido; (b) Anel Bipartido; (c) Anel Fechado. Fonte: MATTHIESEN (1987).

Segundo CALIL (1994) os anéis fechados não apresentam corte lateral e sua principal desvantagem é a dificuldade prática do ajuste dos mesmos nos sulcos

realizados na madeira. Os anéis mais comuns na literatura internacional são os partidos, pois apresentam menor dificuldade de ajuste nos sulcos da madeira, mesmo quando estes não tenham diâmetro rigorosamente igual aos dos anéis. Este anel deve ser instalado no encaixe, de preferência, com a fenda normal à direção da força atuante. CALIL (1994) apresenta algumas recomendações construtivas para a utilização dos anéis metálicos:

- o diâmetro do anel não deve ultrapassar 0,9 da largura da menor peça da ligação;
- nas peças tracionadas é recomendada a colocação de 1 a 2 parafusos de 6 mm nas extremidades das peças de ligação;
- a penetração do anel não deve ultrapassar a metade da espessura da menor ligação, tendo em vista garantir a sua resistência, mesmo após a colocação do anel;
- distâncias recomendadas para as ligações de compressão: espaçamento das bordas: 1,0 /espaçamento entre os anéis: 1,5;
- distâncias recomendadas para as ligações por tração: espaçamento das bordas: 1,5 ;
- espaçamento entre os anéis: 1,5

Com a solidarização de peças roliças de madeira é possível a composição de vigas com duas ou mais peças.

Segundo ABDALLA (2002), a viga composta de duas peças circulares solidarizadas por anéis metálicos apresenta desempenho muito dependente do processo de fabricação e da homogeneidade das peças ligadas. Entretanto apresenta, seguramente, um momento de inércia real de no mínimo, duas vezes ao momento de inércia de um conjunto não solidarizado.

HELLMEISTER (1978) apresentou um sistema de viga composta para estruturas de pontes, utilizando as vigas bicirculares duplas solidarizadas por anéis metálicos, conforme detalhes de ligações da figura 4.22.

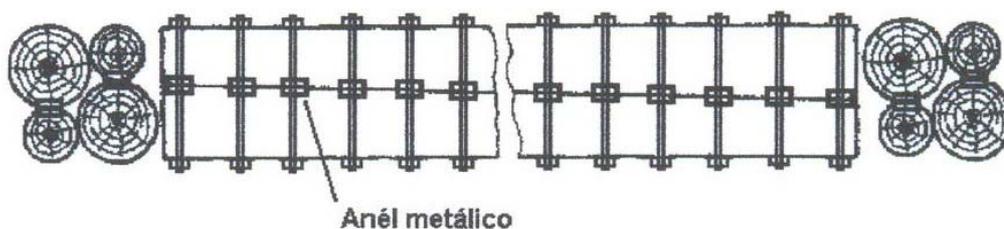


Figura 4.22: Sistema de viga bicircular dupla. Fonte: HELLMEISTER (1978).

LOGSDON (1982) apresentou um conjunto organizado de cálculo e dimensionamento de pontes, utilizando as vigas bicirculares solidarizadas por anéis metálicos, conforme detalhes de ligações da figura 4.23.

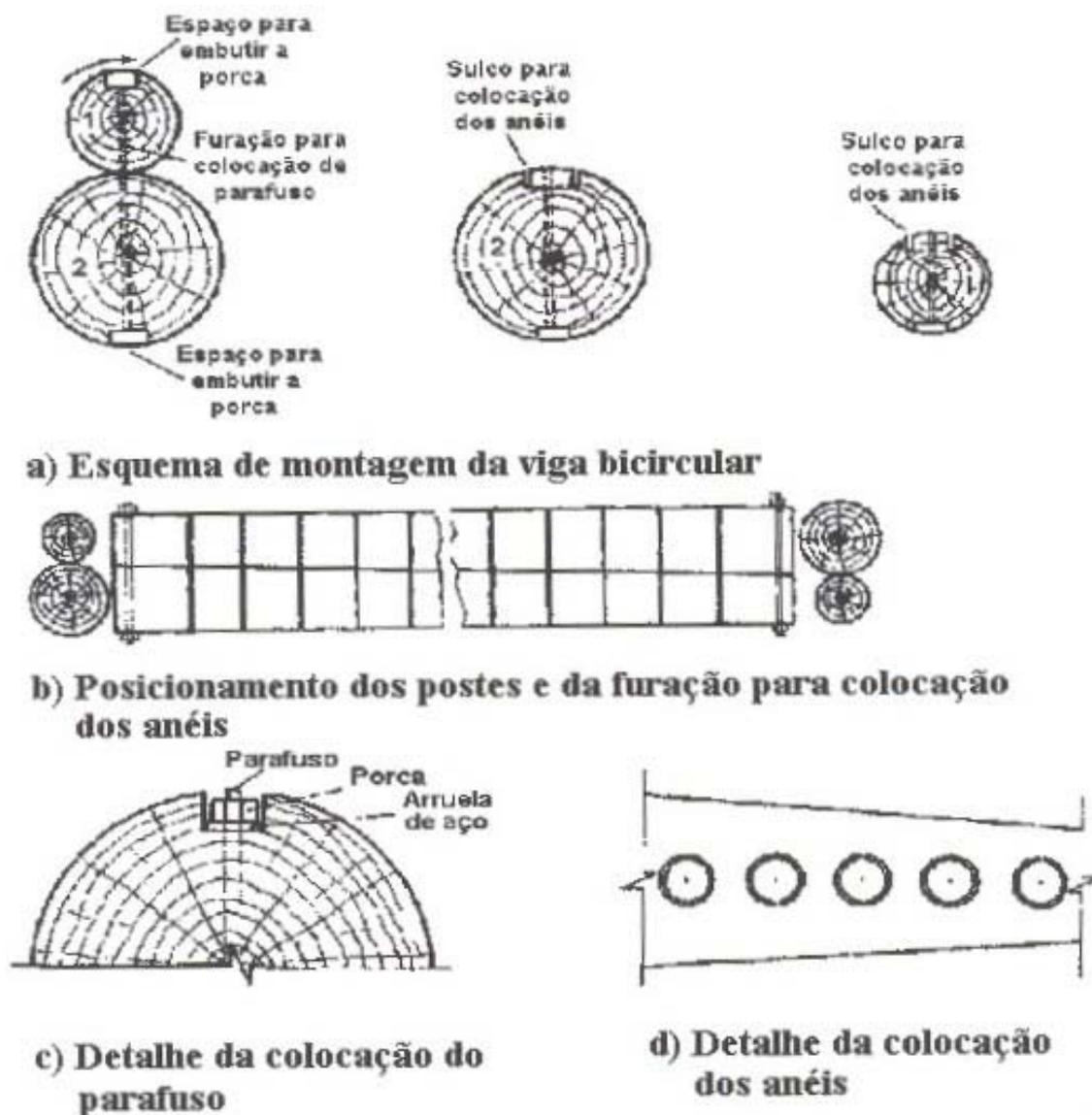


Figura 4.23: Esquema de montagem da viga bicircular. Fonte: LOGSDON (1982) *apud* PARTEL (1999).

Segundo LOGSDON (1982), também é possível a união horizontal de várias peças roliças de madeira utilizando-se anéis e barras metálicas parafusadas, formando elementos de placa. A figura 4.24 apresenta um esquema com ligações com anéis e barras metálicas, em estruturas de pontes em placa simples.

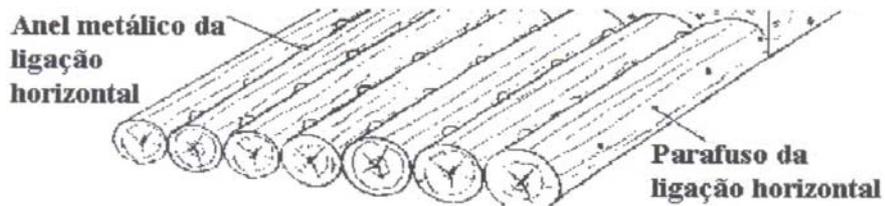
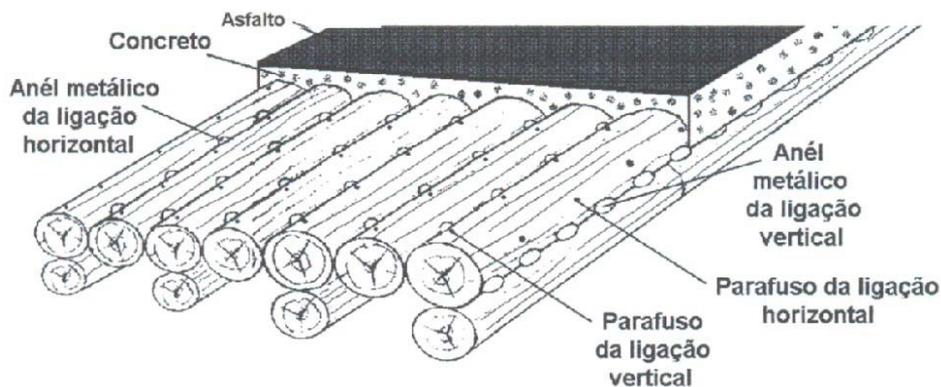
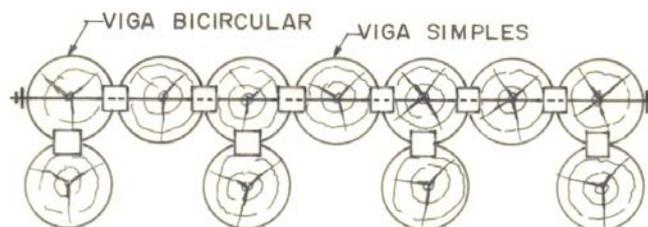


Figura 4.24: Ligações com anéis e barras metálicas (dispostos nas posições horizontais), unindo os elementos estruturais de peças roliças de madeira, compondo o tabuleiro da estrutura de ponte em placa simples. Fonte: MATTHIESEN (1987).

MATHIESEN (1987) apresenta um sistema misto de uma camada de regularização em concreto e asfalto, solidarizados com a união horizontal de várias peças roliças de madeira utilizando-se anéis metálicos e barras de aço parafusadas horizontalmente, que tem um comportamento de sistema em placa, reforçada com nervuras de seções bicirculares, também conectadas com anéis metálicos e barras de aço parafusadas, figura 4.25.



(a) Perspectiva do tabuleiro



(b) Seção transversal: detalhes das conexões

Figura 4.25: Ligações com anéis e barras metálicas (dispostos nas posições horizontais e verticais), unindo os elementos estruturais de peças roliças de madeira, compondo o tabuleiro da estrutura de ponte em placa nervurada com sistema misto de uma camada de regularização em concreto e asfalto. Fonte: MATTHIESEN (1987) *apud* PARTEL (1999).

4.13 LIGAÇÕES COM CONECTORES DE AÇO PARA ESTRUTURAS MISTAS

Em estruturas mistas com peças de madeira roliça e concreto armado, para garantir a adequada aderência do concreto ao elemento estrutural de madeira, são necessárias instalações de conectores de aço (pinos metálicos inclinados) chumbados com adesivo epóxi em furos nas peças de madeira roliça conforme a figura 4.26b. A figura 4.26a apresenta detalhes de um projeto de conectores de aço para tabuleiro de pontes de estruturas mistas de madeira roliça, concreto armado. A característica principal deste sistema é a distribuição uniforme da carga aplicada no conjunto, CALIL, et al (2006).

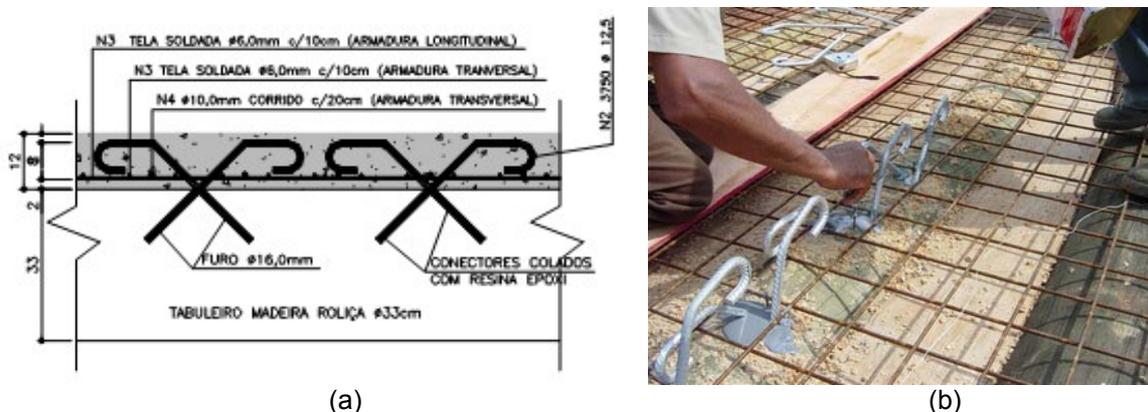
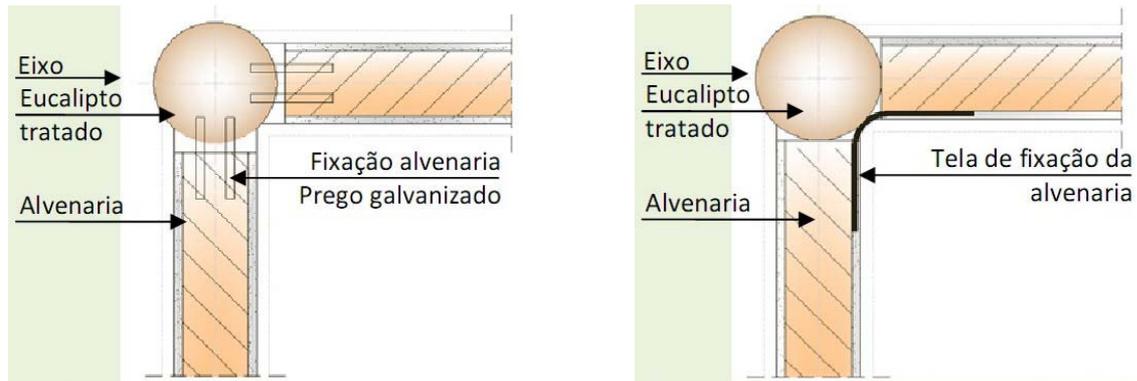


Figura 4.26: (a) Detalhes de projeto de conectores de aço para tabuleiro de estruturas mistas de madeira roliça, concreto armado; (b) Instalação dos conectores metálicos colados com adesivo epóxi, nas longarinas de madeira roliça. Fonte: CALIL, et al (2006).

4.14 LIGAÇÕES NA INTERFACE DA ESTRUTURA DE MADEIRA COM A ALVENARIA

As ligações na interface da estrutura de madeira roliça com a vedação em alvenaria de fechamento de parede, influencia diretamente no desempenho de durabilidade da edificação, sendo assim, é extremamente importante a correta execução da mesma. Desta forma, a união dos elementos estruturais de madeira com as alvenarias devem ser executadas através de pinos metálicos ou telas de aço galvanizados.

As figuras 4.27a e 4.27b apresentam as propostas desenvolvidas por ALTOÉ (2009) para solucionar este tipo de ligação na interação alvenaria e estrutura de madeira roliça.



a) fixação de pregos na madeira

b) fixação de telas na madeira com a alvenaria

Figura 4.27: Ligação entre estrutura e alvenaria. Fonte: ALTOÉ (2009).

4.15 LIGAÇÕES DE SISTEMAS PARA CONSTRUÇÕES DE PAREDES AUTOPORTANTES

Outro tipo de ligação utilizando barras, arruelas e porcas, são sistemas industrializados para construções do tipo de paredes autoportantes em toras normalmente torneadas, sobrepostas com encaixe macho e fêmea. Porém são barras longas especiais, com rosca nas extremidades, figura 4.28.

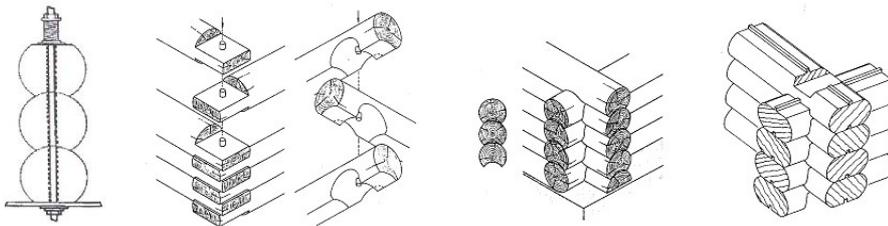


Figura 4.28: Sistemas de ligações para construções do tipo de paredes autoportantes em toras torneadas. Fonte: RANTA-MAUNUS (2002) *apud* BRITO (2010).

4.16 LIGAÇÕES EM PEÇAS COMPRIMIDAS

Peças comprimidas estão presentes em componentes de treliças, sistemas de contraventamento, além de colunas isoladas ou pertencentes a pórticos. Estas peças podem estar sujeitas a compressão simples e à flexo-compressão por ação da carga aplicada com excentricidade ou de momento fletor oriunda de cargas transversais, em combinação com a carga axial de compressão. As peças comprimidas, de madeira roliça, podem ser de seção simples com apenas uma peça roliça, ou de seção composta conforme apresentado na figura 4.29.

Segundo KARLSEN (1967) *apud* GARCIA (1986), são muito comuns mastros de uma única tora roliça, estaiados, alcançar até 65 m, com possibilidade de atingir de 90 m a 150 m com seções compostas de 3 toras (figura 4.29a) a 4 toras (figuras 4.29b,c,d) respectivamente, interligadas por barras de aço rosqueadas passantes, arruelas e porcas.

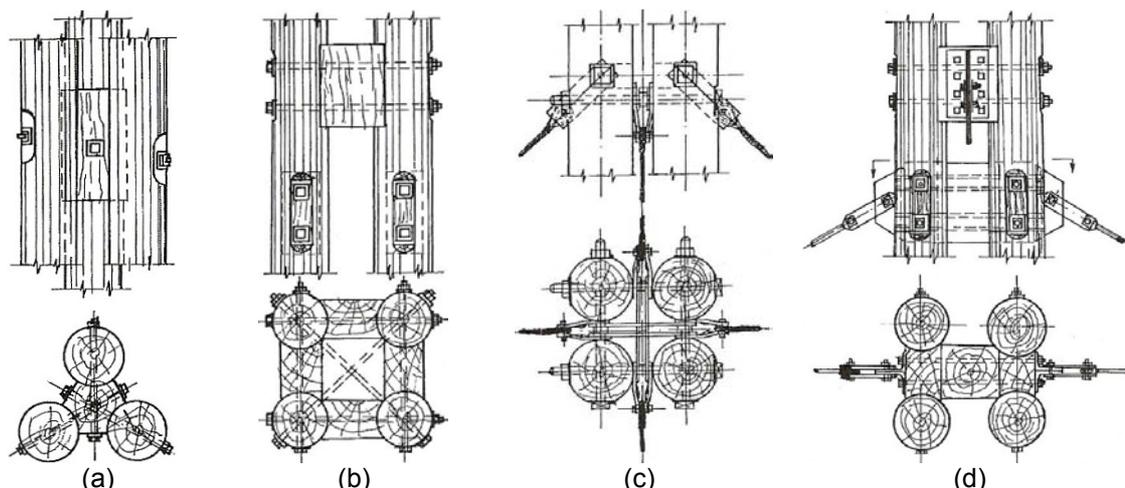


Figura 4.29: Seções transversais compostas, para elementos comprimidos, com peças roliças de madeira: (a) seção composta por três peças roliças, conexões com barras de aço rosqueadas passantes, arruelas e porcas; (b) seção composta por quatro peças roliças, com espaçadores interpostos de peças roliças; (c) seção composta por quatro peças roliças, com conexões metálicas especiais para fixação de esticadores de tirantes; (d) seção composta por quatro peças roliças, com espaçadores interpostos de peças de madeira serrada e com conexões metálicas especiais para fixação de esticadores de tirantes. Fonte: KARLSEN et al (1967) *apud* BRITO (2010).

As peças comprimidas axialmente são emendadas de topo, transferindo-se diretamente o esforço de uma peça para a outra. O corte das peças devem ser feitos rigorosamente em esquadro, para garantir a superfície uniforme de contato, para a transferência dos esforços, figura 4.30a. Segundo PFEIL et al (2003), nas obras provisórias, em colunas sem perigo de flambagem, a fixação na emenda de topo, pode ser feita por um pino metálico, figura 4.30b.

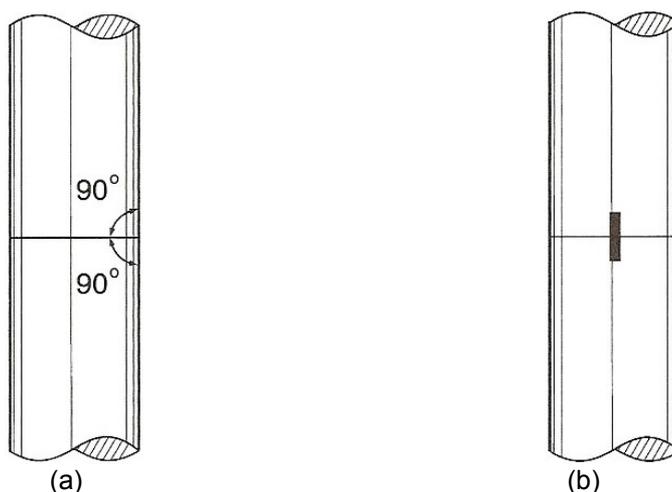


Figura 4.30: Emendas de peças roliças de madeira comprimidas axialmente: (a) corte em esquadro das seções de contato; (b) fixação da emenda por meio de pino. Fonte: PFEIL et al (2003).

Em geral, há necessidade se conferir uma certa rigidez à emenda, o que se consegue por meio de cobrejuntas laterais parafusadas ou pregadas. As emendas são em geral feitas por quatro cobrejuntas. Na figura 4.31a, vê-se uma emenda de

topo, com quatro cobrejuntas laterais de chapas metálicas perfuradas e parafusadas com barras rosqueadas passantes, arruelas e porcas, já na figura 4.31b, vê-se uma emenda de topo, com quatro cobrejuntas laterais de chapas metálicas perfuradas e parafusadas com parafusos auto-atarrachantes, e na figura 4.31c uma emenda de topo, com quatro cobrejuntas laterais de chapas metálicas perfuradas e pregadas. Em colunas de pequena carga, podem ser utilizadas as emendas através de, corte vertical figura 4.31d ou por meio de corte inclinado figura 4.31e, ambas parafusadas transversalmente com barras rosqueadas passantes, arruelas e porcas, e que dispensam as cobrejuntas laterais. Vale lembrar que conforme a NBR 7190:1997, para que uma ligação possa ser considerada rígida, deve-se obedecer aos critérios de pré-furação e utilizar no mínimo quatro pinos metálicos.

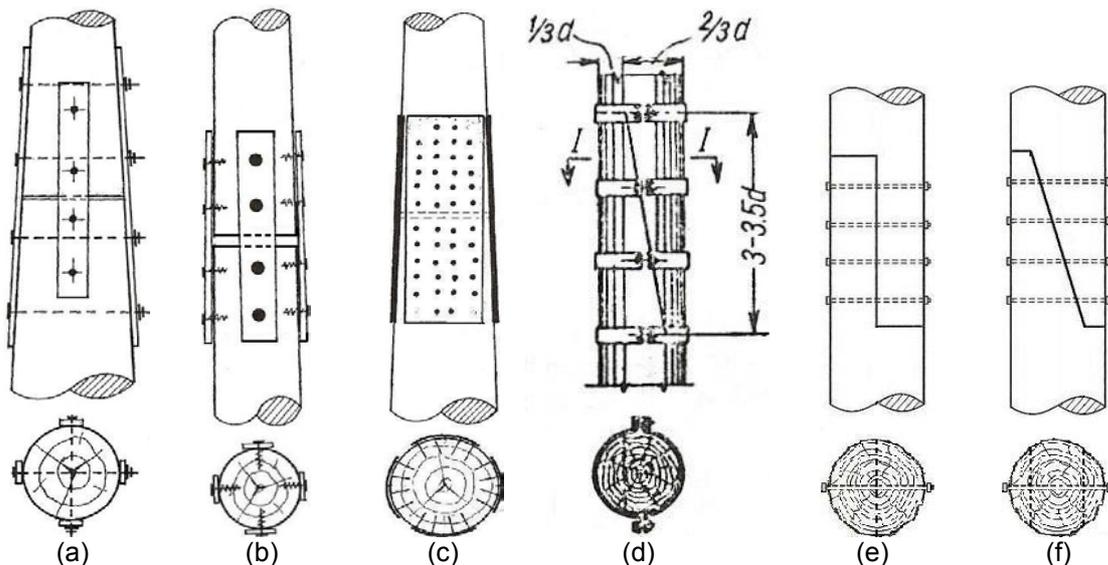


Figura 4.31: Emendas em elementos estruturais de peças roliças de madeira, comprimidas axialmente: (a) emenda de topo, com quatro cobrejuntas laterais de chapas metálicas perfuradas e parafusadas com barras rosqueadas passantes, arruelas e porcas; (b) emenda de topo, com quatro cobrejuntas laterais de chapas metálicas perfuradas e parafusadas com parafusos auto-atarrachantes; (c) emenda de topo, com quatro cobrejuntas laterais de chapas metálicas perfuradas e pregadas; (d) emenda por meio de corte inclinado com abraçadeiras de aço galvanizado, parafusos, arruelas e porcas; (e) emenda por meio de corte vertical e parafusadas com barras rosqueadas passantes, arruelas e porcas; (f) emenda por meio de corte inclinado e parafusadas com barras rosqueadas passantes, arruelas e porcas. Fontes: Figuras (a)(b)(c) GARCIA (1986); Figura (d) KARLSEN (1967) *apud* BRITO (2010).

O cálculo das emendas de peças comprimidas axialmente deve atender duas condições:

- transmissão dos esforços;
- inércia da coluna na emenda, para efeito de flambagem.

4.17 LIGAÇÕES NAS BASES DAS COLUNAS

Uma das mais econômicas formas de construção com madeira roliça está no uso de postes de madeira como estruturas simplesmente engastadas, sendo esta uma prática corrente em vários países ao redor do mundo. OBERG (1982) propôs um tipo de fundação, em que o poste de madeira roliça é instalado em um furo no solo, tipo broca, com seção circular de diâmetro D , maior que o diâmetro do poste, e na região do vazio que circunda a base do poste é preenchido com concreto, ou ocasionalmente somente com pedregulho, conforme ilustra a figura 4.32. Desta forma os custos para fundações das edificações, com estes sistemas, são na maior parte reduzidos, PARTEL (1999).

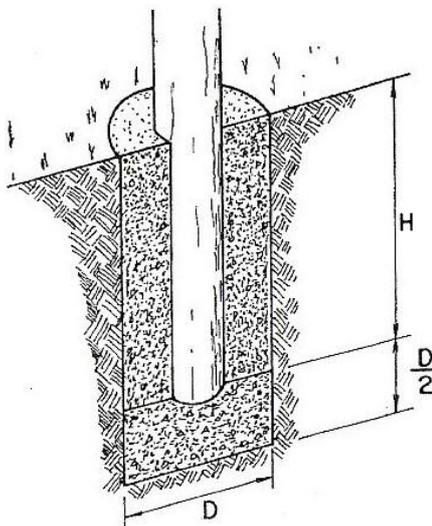


Figura 4.32: Esquema de fundação de postes em brocas. Fonte: GARCIA (1996).

DRÖGE¹³, apud HOLZ (1995), observou um decréscimo na ordem de 45% dos custos, utilizando este tipo de fundação. Portanto, para possibilitar a utilização deste tipo de fundação o solo deverá ter capacidade resistente adequada, que deve ser investigada “in loco” por engenheiro de fundações. Porém, para este tipo de fundação, deve-se ter a garantia adequada do tratamento preservativo da madeira, de acordo com a Classe de Uso 5.

No entanto em sistemas estruturais corretes, cujos postes são considerados como elementos estruturais engastados na base, devem ser dimensionados para que possam resistir às ações verticais e horizontais, podendo ocorrer situações em que haja esforços resultantes de tração transferidos para as fundações, visto que OBERG (1982) não apresentou comentários a respeito dos cálculos desta broca, principalmente quanto à resistência à tração.

Segundo PARTEL (1999), outra possibilidade é a fixação da peça em espera de concreto através de um conector metálico, evitando o contato da madeira com o solo e a umidade. Existem vários tipos de conectores metálicos, sendo o mais indicado aquele que não induza ao fendilhamento da peça de madeira roliça (figura 4.33b e 4,33c). A figura 4.33 apresenta algumas soluções de conectores metálicos nas ligações da coluna de madeira roliça com o bloco de fundação.

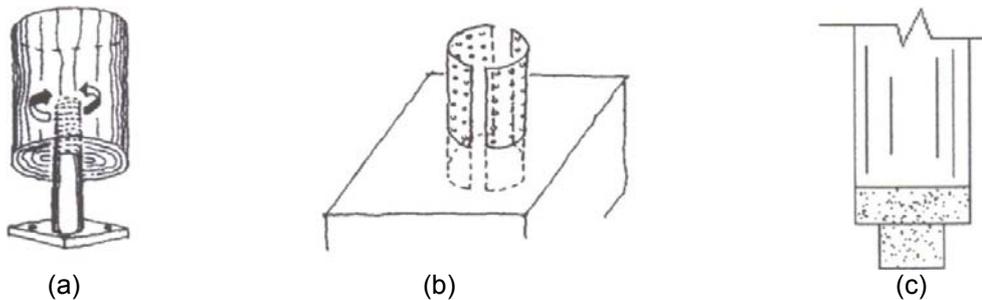


Figura 4.33: Possíveis soluções de conectores metálicos nas ligações da coluna de madeira roliça com bloco de fundação: (a) ligação articulada, com barra cilíndrica interna; (b) chapas metálicas perfuradas; (c) peça cilíndrica externa. Fonte: PARTEL (1999).

Conforme recomendação de SAGOT (1995), para considerar os critérios analisados para as colunas como sendo de Classe de Uso 2 ou Classe Uso 3, algumas medidas devem ser tomadas. Na realidade, o risco de umidade está bem limitado se a coluna estiver afastada do piso. Se nenhuma precaução for levada em consideração, as colunas devem ser consideradas como Classe de Uso 5.

SAGOT (1995), ainda salienta que as bases das colunas devem ser fixadas em estruturas de tal maneira que assegure uma ventilação eficiente para evitar qualquer entrada de água através de vaso capilar. A altura da madeira sobre o chão (ou a base) varia com o clima e o risco de acúmulo de umidade na região da ligação. A coluna pode ser colocada em contato com o chão, porém neste caso, a base da coluna deve ser tratada para evitar a entrada de água por capilaridade, impermeabilizando a madeira, por exemplo, com resina epóxi, pintura emborrachada ou asfáltica.

Segundo CAMPOS (2002), o detalhe construtivo deve evitar o contato direto entre a estrutura de madeira e o piso ou base de concreto, para que não ocorra a ação capilar, previne o ataque da madeira em relação aos xilófagos e a incompatibilidade entre os materiais pelas condições de uso. A figura 4.34 apresenta um modelo.

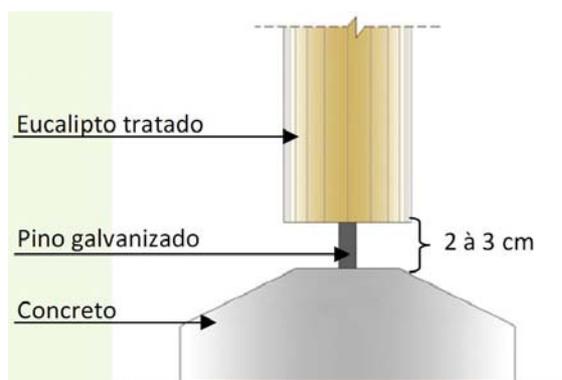


Figura 4.34: Detalhe construtivo de afastamento da coluna com a base de concreto.
Fonte: ALTOÉ (2009).

Para garantir a durabilidade das colunas estruturais de madeira roliça, nas ligações entre as colunas e os blocos de fundação, AMÁ (2009) criou placas de base em aço galvanizado parafusadas nas bases das colunas (com afastamento da coluna com a base de concreto) e chumbadas nos blocos de fundações. Desta forma, isolam-se as peças de madeira para proteger da ação da umidade presente no solo, conforme detalhe da figura 4.35.



Figura 4.35: Placas de base de aço galvanizado chumbadas no bloco de fundação. Fonte: AMÁ (2009).

Um dos pontos importantes para garantir a durabilidade da estrutura de madeira é não deixá-la em contato direto com o solo para não absorver água. Desta forma, as colunas podem ser conectadas sobre blocos de fundação de concreto através de chapas metálicas para sua fixação, FIGUEIREDO et al (2009).

A figura 4.36 apresenta dois modelos distintos de placas de base articuladas, para mastros com peças roliças de madeira, utilizados em tensoestruturas.



(a) (b)
 Figura 4.36: Modelos de Placas de base articuladas, de aço galvanizado.
 Fontes: (a) CALIL (2007); (b) PLETS (2003); *apud* BRITO (2010).

Observações:

Em todos os tipos de ligações apresentados, a conicidade natural das peças afeta o detalhamento das construções com peças roliças de madeira. Uma prática comum é modificar as madeiras roliças fatiando um lado, para prover uma face plana contínua. A face aplainada permite maior segurança na união da conexão metálica com os elementos estruturais. Deve ser lembrado que a penetração do preservativo é geralmente limitado ao alburno, apesar disso o aplainamento, pode resultar em menor proteção do que em qualquer outra parte do poste não aplainado. Todos os cortes e usinagens devem ser preferencialmente realizados antes do tratamento preservativo.

A deficiência da ligação com pino metálico, correspondente a uma dada seção de corte entre duas peças de madeira, e pode ocorrer de dois modos de falha distintos. Conforme a NBR 7190:1997, no dimensionamento das ligações de estruturas de madeira por pinos, uma das duas situações pode ocorrer:

- embutimento na madeira, quando $\beta \leq \beta_{lim}$,
- ou da flexão no pino, quando $\beta > \beta_{lim}$.

Visando promover o uso mais eficiente das ligações, considera-se necessário apresentar estudos realizados de ligações em peças de madeira roliça de eucalipto, por meio de análise experimental, já realizados, apontados os dois casos distintos de modo de falha que podem ocorrer (figuras 4.37 e 4.38).

Na figura 4.37, pode-se observar os modos de falha por embutimento do pino metálico na madeira, em peças roliças de pequeno diâmetro, ZERBINO (2007).



Figura 4.37 – Modo de falha por embutimento do pino na madeira roliça. Fonte: ZERBINO (2007).

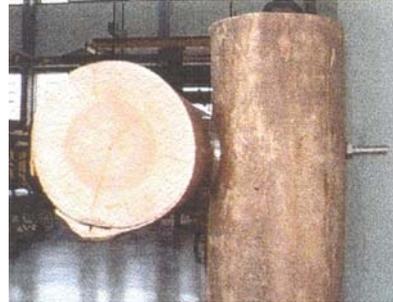


Figura 4.38: Modo de falha por flexão do pino metálico. Fonte: PARTEL (1999).

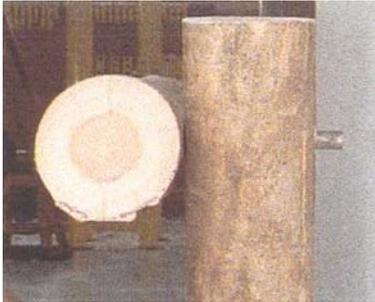
PARTEL (1999) realizou quatro estudos distintos, de ensaios de ligações em protótipos de pórticos de peças roliças, para analisar a eficiência da rigidez. A figura 4.39, apresenta cada uma destas ligações estudadas, representando a ligação viga-coluna do lado direito de cada pórtico.



a) ligações por chapas metálicas pregadas



b) ligações por anéis e parafusos metálicos



c) ligações por pinos metálicos



d) ligações por cavilhas de madeira

A Figura 4.39: Tipos de ligações ensaiadas, representando a ligação viga-coluna do lado direito de cada pórtico. Fonte: PARTEL (1999).

A figura 4.40 apresenta os modos de ruptura de cada uma das ligações ensaiadas.



a) ensaio a: ruptura no centro da viga



b) ensaio b: ruptura e flexão do pino.



c) ensaio c: flexão do pino



d) ensaio d: ocorreram dois casos, ruptura da viga e ruptura da cavilha.



Figura 4.40: Modos de falha dos tipos de ligações ensaiadas. Fonte: PARTEL (1999).

O gráfico 4.1 apresenta os resultados dos ensaios realizados por PARTEL (1999), comparando os valores de rigidez de cada tipo de ligação em peças roliças, na relação carga versus deslocamento.

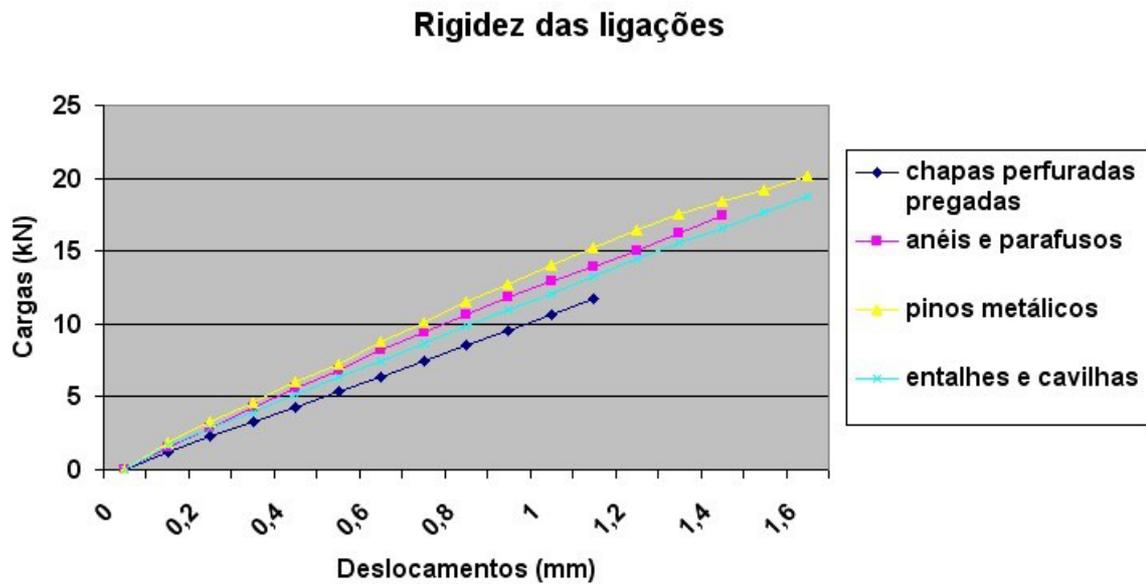


Gráfico 4.1: Comparativo de rigidez das ligações em peças roliças. Fonte: BRITO (2010).

5 SISTEMAS ESTRUTURAIS E CONSTRUTIVOS

O elemento estrutural objeto de estudo nos sistemas estruturais e construtivos do presente trabalho são as barras de seção transversal circular de madeiras de espécies de eucalipto e de pinus. Através da união dessas barras podem ser formadas composições de elementos simples ou compostos. Os diferentes arranjos dessas barras possibilitam uma gama de sistemas estruturais e materiais, podendo compor estruturas formadas pela composição de vários sistemas estruturais sendo definida como uma estrutura mista. A compatibilidade no emprego de peças roliças de madeira a todos os outros materiais disponíveis na construção civil, viabiliza uma gama de arranjos de estruturas mistas, inclusive quando estas são compostas por elementos formados por materiais diversos, tanto na estrutura quanto no fechamento. A seguir, serão apresentados, os tipos sistemas estruturais usuais e as definições adotadas como critério para classificar as estruturas durante a etapa de sistematização das obras selecionadas no anexo das fichas técnicas.

5.1 POSTES DE LINHA DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

No Brasil, os postes de madeira roliça tratada foram muito utilizados em décadas anteriores à grande produção de postes pré-fabricados em concreto, em função do crescimento no setor industrial. No entanto, nos dias atuais, torna-se sustentável o emprego de postes com madeira roliça tratada (figura 5.1), oriundas de reflorestamento, favorecendo a questão ambiental e econômica.

Segundo Arruda et al (2006), na região sul do Brasil, o uso de postes de eucalipto para a rede elétrica é mais representativo, alcançando cerca de 90% do total. Além disso, em muitos casos o poste tem seu uso consorciado com as empresas de telecomunicações para o suporte das redes de telefonia, TV a cabo ou para cabos de fibra ótica. No Rio grande do Sul, conforme trabalho realizado por Gastaud (2001) apud Arruda et al (2006), somente uma das três companhias de distribuição de energia do estado, utilizava aproximadamente 781.460 postes, sendo 758.000 (97%) de madeira e 23.460 (3%) de concreto. Os postes de madeira apresentam um custo inferior aos outros tipos de postes comercializados. Considerando o transporte e a instalação, os postes de madeira pesam em torno de 60% menos que o de concreto equivalente e o seu manuseio pode ser feito sem equipamentos específicos, exigindo um menor número de acessórios.

O sistema estrutural para o poste de linha de transmissão de eletrificação considera-se teoricamente como uma coluna engastada na base e livre no topo.

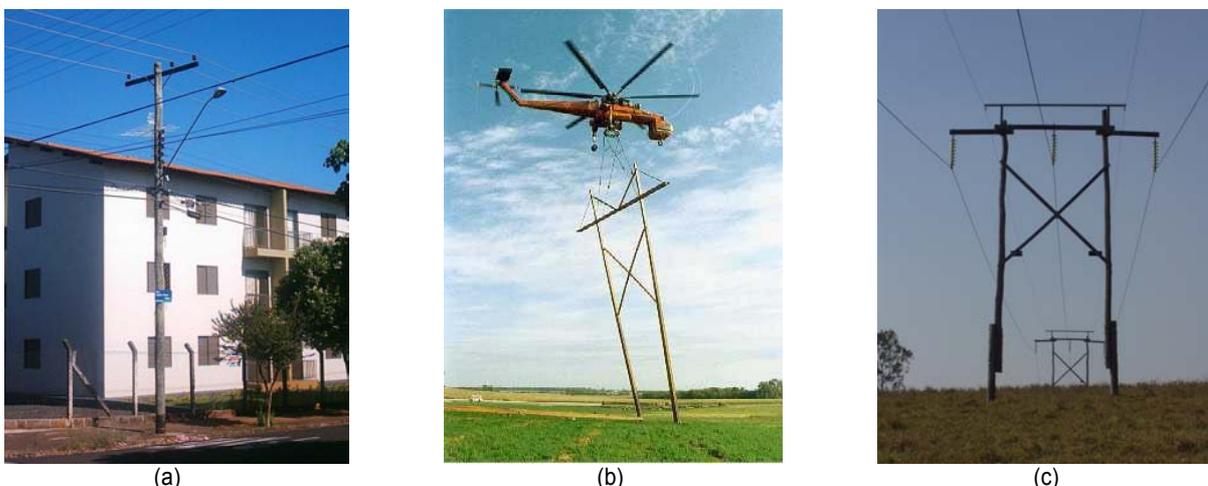


Figura 5.1: Postes de linhas de transmissão de eletricidade: (a) poste de linha de transmissão e iluminação em área urbana; (b) montagem de poste de linha de transmissão de eletricidade de alta tensão; (c) emendas nos poste de linha de transmissão de eletricidade de alta tensão . Fonte: CALIL (2007) .

A NBR 8456: 1984 adota-se como comprimento (em metros) de engastamento:

$$e = (0,1 \cdot L) + 0,6$$

Onde: **e** é o comprimento de engastamento (m);
L é o comprimento do poste.

Conforme SOLLI (1995), as fundações para postes de madeira, dependem das características geotécnicas do solo, porém normalmente são engastados no solo. Este método prevê grandes economias quando comparados a outros tipos de fundações. No entanto, como já apresentado, os poste devem ser tratado com preservativos que garantam a Classe de Uso 4. E ainda, é importante projetar o tipo de fundação mais adequado às tensões correspondentes a cada tipo de solo.

5.2 EDIFICAÇÕES RURAIS

HOLZ (1995), afirma que na Europa, o uso de construções com madeira roliça está crescendo, devido ao baixo custo do material básico e os baixos custos construtivos e que estas construções são muito utilizadas em edificações rurais, para diversas finalidades. Em propriedades rurais, as peças de madeira roliça tratadas, além de serem utilizadas como moirões de cerca, são comumente utilizadas para construções de estábulos e mangueiros, figura 5.2.



Figura 5.2: Construções para agropecuária, cercas, mangueiro e estábulos. Fonte: www.tramasul.com.br

Segundo HOLZ (1995), como as fazendas necessitam de um extenso volume de construções de baixo custo, as estruturas de madeira roliça, vem sendo utilizadas em construções de estábulos e galpões para armazenagem de máquinas e equipamentos ou celeiros para milho, visto que em muitos casos não têm necessidades herméticas especiais e particularmente nos celeiros é dada preferência á uma construção ventilada, para viabilizar uma possível secagem adicional da colheita, figura 5.3.



Figura 5.3: Galpões tipo pórtico, para armazenagem de produtos rurais. Fonte: www.gangnail.com.br

Conforme HOLZ (1995), na Europa, locais esportivos para atividades eqüestres, são edificados em madeira roliça. O material é usado nas colunas, em paredes e em alguns casos em tesouras de telhados. Essa solução é amplamente adotada para galpões rurais. As organizações agrícolas européias fornecem consultoria e vendem galpões pré-fabricados em madeira roliça, incluindo instruções, cálculos e os conectores especiais necessários para diferentes tipos de edificações, principalmente para galpões e celeiros. Normalmente são projetados com ligações de chapas metálicas galvanizadas, perfuradas e pregadas.

5.3 FUNDAÇÕES COM ESTACAS DE MADEIRA ROLIÇA

Segundo KUILEN (1995), as fundações com estacas, são comumente usadas em áreas onde a capacidade portante de carga do solo é insuficiente. Nestes casos a estrutura da estaca de fundação pode ser executada com peça roliça de madeira tratada (figura 5.4), desde que garanta a Classe de Uso correspondente.

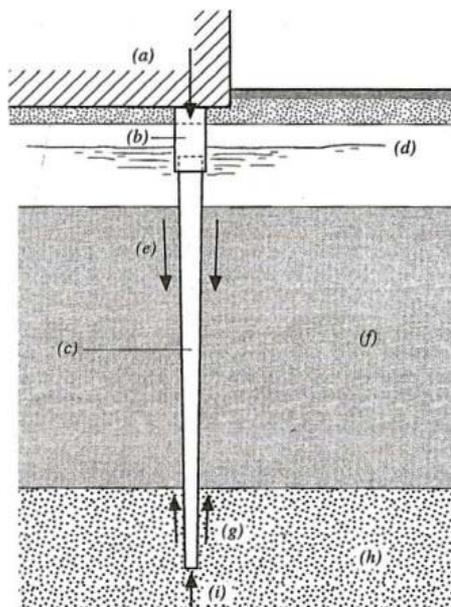


Figura 5.4: Elementos estruturais e parâmetros que devem ser conhecidos para o dimensionamento da estaca de madeira roliça. (a) Estrutura; (b) bloco de coroamento, normalmente de concreto; (c) estaca de madeira roliça; (d) nível da água do lençol freático; (e) ação da carga no fuste da estaca; (f) camada de solo fraco; (g) reação da carga no fuste da estaca; (h) camada de solo portante; (i) resistência de ponta da estaca. Fonte: KUILEN (1995).

O comprimento das estacas variam, porém na maioria dos casos, o comprimento máximo é da ordem de 23 m, que é suficiente para suportar cargas usuais. As estacas devem ser cravadas no solo para transferir as cargas da estrutura até a camada de solo mais resistente. As estacas com postes de madeira são naturalmente cônicas, na média com 30 cm de diâmetro no topo, cravada a aproximadamente 1,5 m abaixo do nível da camada de solo portante, KUILEN (1995).

MINÁ (2005) realizou estudo teórico e experimental de estacas de madeira, incluindo a instrumentação das fundações em estacas de madeira de uma ponte de madeira, com o objetivo de gerar recomendações para o projeto deste tipo de fundações para pontes de madeira de pequeno vão.

O trabalho experimental realizado por MINÁ (2005) foi feito em duas etapas. Na primeira etapa foram estudadas as propriedades mecânicas de estacas de madeira a partir de ensaios de flexão e compressão em peças roliças em tamanho estrutural e a partir de ensaios de flexão e compressão em corpos-de-prova de pequenas dimensões e isentos de defeitos (CPs). Na segunda etapa foram determinadas as propriedades do solo, por meio de sondagens, e das estacas cravadas por meio de ensaios de compressão paralela em CPs. Nessa etapa, de forma pioneira no Brasil, foi feita uma análise do comportamento de estacas de madeira imersas no solo, por meio de ensaio de carregamento dinâmico (PDA - Pile Driving Analyser). Os resultados mostraram que estacas de madeira roliça são excelentes elementos estruturais para uso em fundações.

5.4 SISTEMAS ESTRUTURAIS DE MUROS DE CONTENÇÕES DE TERRA

Em perímetros rurais, pequenos muros de contenções de terra, podem ser construídos com peças roliças de madeira de pequeno diâmetro, que são ancorados entre postes de madeira engastados, figura 5.5. Para estes sistemas, são utilizados postes com diâmetro acima de 14 cm, HOLZ (1995).

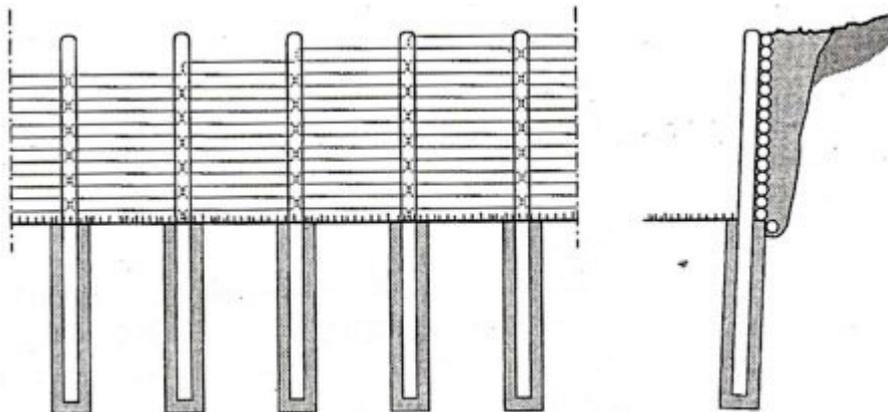


Figura 5.5: Muros para pequenas contenções de terra. Fonte: HOLZ (1995) *apud* BRITO (2010).

Outra técnica de muro de contenção de terra, foi apresentada por SHORT (1995), muito usual em obras de escavações. O muro é composto por uma fila de peças roliças de madeira verticais, engastadas no solo e espaçadas a uma certa distância, formando os contrafortes. As paredes, ao invés de peças roliças de pequeno diâmetro, são substituídas por pranchões de madeira serrada, sobrepostos na horizontal, figura 5.6c. A estabilidade do muro deve ser garantida, pela profundidade de penetração, das peças roliças de madeira no solo e pela mobilização de terra através do empuxo passivo F_p (figura 5.6a), de acordo com as características geológicas do local de implantação.

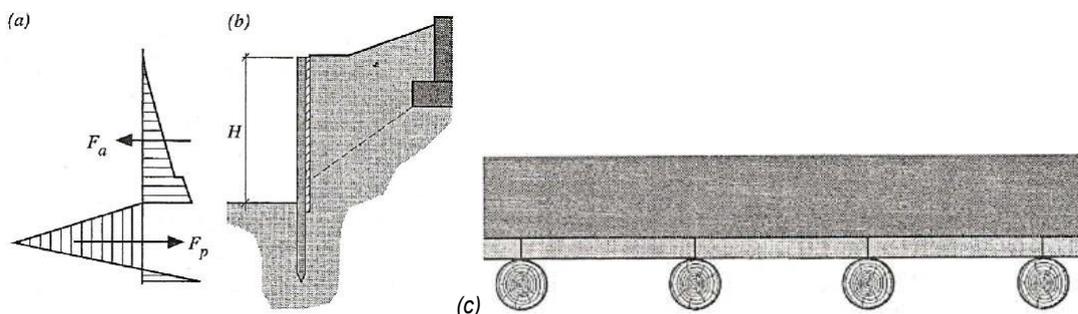


Figura 5.6: Esquema do muro: (a) Diagrama de tensões e cargas, F_a = força ativa e F_p = força passiva; (b) Esquema de elevação do muro; (c) Planta do muro. Fonte: SHORT (1995) *apud* BRITO (2010).

A figura 5.7 apresenta uma obra de um muro de contenção de terra, utilizando madeiras roliças de reflorestamento como contrafortes, e paredes com pranchões de madeira serrada.



Figura 5.7: Muro de contenção de terra. Fonte: CALIL (2007).

Outro sistema construtivo, como contenções de terra, que pode ser utilizado em regiões agropecuárias, são as travessias de gado sob as estradas rurais. Um exemplo deste sistema é a construção da travessia de nível inferior construída no Horto de Luiz Antônio pela equipe de profissionais do LaMEM em 1996, em São Carlos (SP). Foi feito uso de estruturas em placa, com madeira roliça, projetada no sentido vertical e horizontal, montando um quadro fechado, e as ligações utilizando entalhes e encaixes, figura 5.8.



Figura 5.8: Passarela de nível inferior, construída em (1996). Fonte: CALIL (2007).

5.5 SISTEMAS ESTRUTURAIS E CONSTRUTIVOS DE BARREIRAS ACÚSTICAS

Uma nova aplicação com peças roliças de madeira tem sido frequentemente utilizada. São as construções de barreiras acústicas, com sistemas estruturais de muros, utilizando postes de pequeno diâmetro, baratos e comercialmente disponíveis no mercado europeu. Os muros são ancorados entre colunas de madeira roliça engastadas na base. Em alguns casos as paredes são compostas por peças de madeira semicirculares. Este sistema de construção também é apropriado para construções de muros simples em edificações, HOLZ (1995) *apud* BRITO (2010).

Na França, a empresa TERTU, desenvolve projetos e construções de sistemas de barreiras acústicas, para margens de rodovias, conforme a figura 5.9.



Figura 5.9: Barreiras sonoras, construídos nas margens de rodovias. Fonte: www.tertu.com

Os painéis normalmente além da proteção sonora são decorativos. Segundo SHORT (1995), para o dimensionamento, o peso próprio do painel é geralmente desprezível, pois a ação predominante é a do vento, para consideração no cálculo, figura 5.10. As barreiras acústicas são erguidas entre as áreas com barulhos de altos níveis de ruídos e as áreas que serão protegidos de tais barulhos. Normalmente são instalados em divisa de ponto de táxi em aeroportos, centros de teste de aeronaves, nas marginais de rodovias próximas a perímetros urbanos, e locais industriais com altos níveis de ruídos.

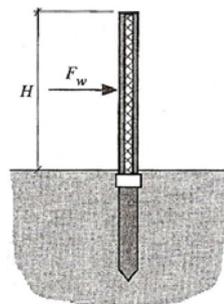


Figura 5.10: Modelo de Muros de barreira sonora. Fonte: SHORT (1995) *apud* BRITO (2010).

5.6 SISTEMAS ESTRUTURAIS DE DEFENSAS

Segundo FALLER et al (2007), os sistemas de defensas, utilizando postes de madeira roliça de pequeno diâmetro, podem ser uma opção interessante para soluções destes sistemas estruturais. Tais postes requerem processo mínimo de fabricação e apresentam alta resistência dinâmica ao impacto, quando comparados com as defensas de madeira de seção retangular de área equivalente. Diante disto, o produto final, pode trazer um retorno financeiro significativo, quando comparado com os de madeira serrada, além de poder fornecer maior segurança nos impactos de veículos. Pesquisas com ensaios estáticos e dinâmicos, tem sido realizados no

Forest Products Laboratory da United States Department of Agriculture (USDA), em Madison, Wisconsin, na melhoria da segurança às margens das estradas em Lincoln, Nebraska, para determinar as propriedades físicas dos materiais, a fim de desenvolver projetos estruturais e sistemas de classificação da madeira, para o uso deste novo sistema estrutural de defensas, figura 5.11.

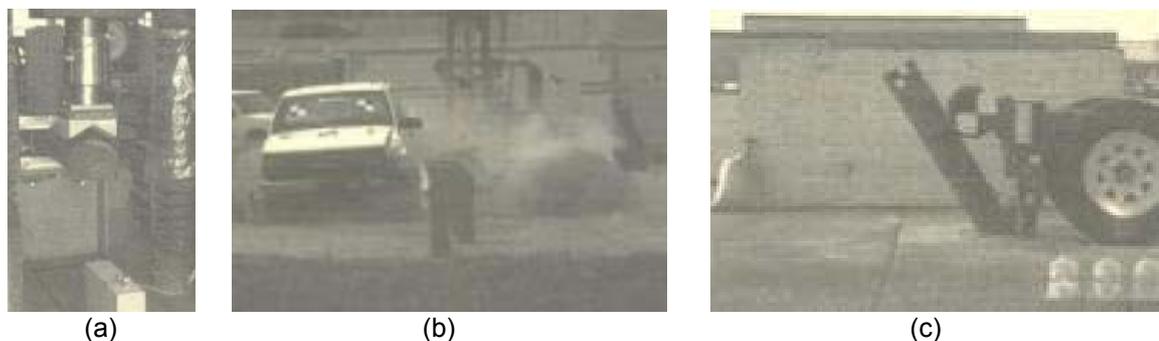


Figura 5.11: Defensas: (a) ensaio estático; (b,c) ensaios dinâmicos. Fonte: FALLER et al (2007).

A empresa francesa TERTU, fabricante de pontes, passarelas, muros e barreiras acústicas, tem produzido e instalado, defensas com peças roliças de madeira de reflorestamento e sistemas mistos com peças metálicas (figura 5.12), em muitos quilômetros de rodovias na França, após ter realizado uma série de ensaios de acordo com normas europeias e receber certificações pelo novo sistema.



a) peças roliças de madeira



b) sistemas mistos com madeira e peças metálicas

Figura 5.12: Defensas com peças roliças de madeira de reflorestamento e sistemas mistos com peças metálicas, instalados em muitos quilômetros de rodovias na França. Fonte: www.tertu.com

5.7 SISTEMAS ESTRUTURAIS E CONSTRUTIVOS DE PONTES E PASSARELAS

Neste item, são apresentados, os principais sistemas estruturais e construtivos de pontes e passarelas de madeira usando peças roliças de madeira tratada, especialmente as madeiras oriundas de reflorestamento como o eucalipto, que proporcionam maior resistência, rigidez e grande durabilidade.

As pontes com peças roliças de madeira de reflorestamento, tratadas, representam uma alternativa viável para a integração física do país com imensa área territorial, porque podem possibilitar facilidade na obtenção da matéria prima e execução com custos reduzidos, além da diversidade dos arranjos estruturais possíveis.

No Brasil, a maior parte das aplicações de pontes em madeira roliça, são em construções de sistemas simples de pontes de pequenos vãos para uso no perímetro rural. Considerando a necessidade de construção de pontes no Brasil, principalmente de vãos relativamente pequenos, aliada à possibilidade de construir estas pontes com madeira de reflorestamento relativamente abundante nas regiões Sul e Sudeste, justifica-se a relevância de se estudar pontes de postes de Eucalipto Citriodora, e mesmo de Eucalipto Grandis, para as pontes de vãos menores, para os tabuleiros e peças auxiliares como guarda-corpo e guarda-rodas CALIL, et al (2006). Já para a necessidade de pontes de maiores vãos e do aumento das cargas nas pontes, para o tráfego de automóveis e caminhões, deu início ao estudo na busca de soluções que viabilizassem a construção de pontes, em madeira roliça com seções compostas, para cargas elevadas, HELLMEISTER (1978).

Em projetos e construções de pontes e passarelas, com madeira roliça, podem ser empregados os sistemas estruturais:

- de vigas simples;
- de vigas treliças;
- de pórticos;
- pênséis;
- estaiados;
- com elementos de placa mista de madeira e com concreto armado.

A figura 5.13 apresenta alguns sistemas estruturais usuais de pontes e passarelas, publicados nos livros do professor Julius Natterer.

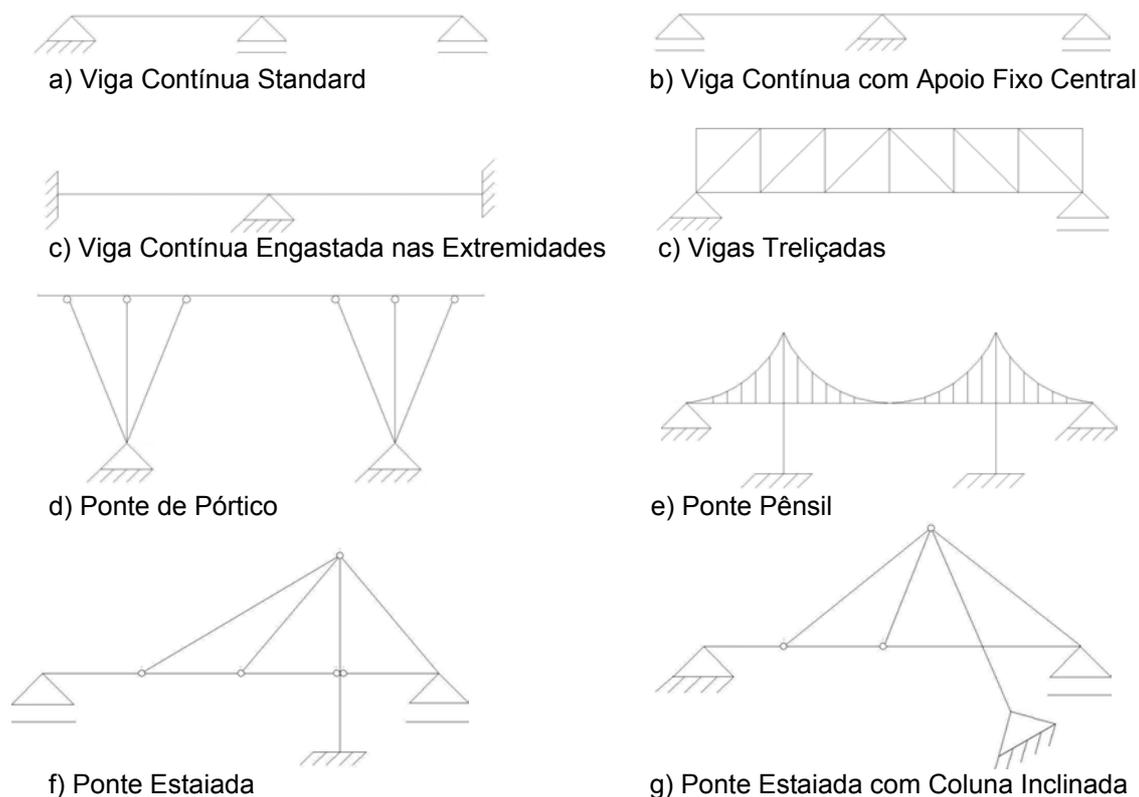


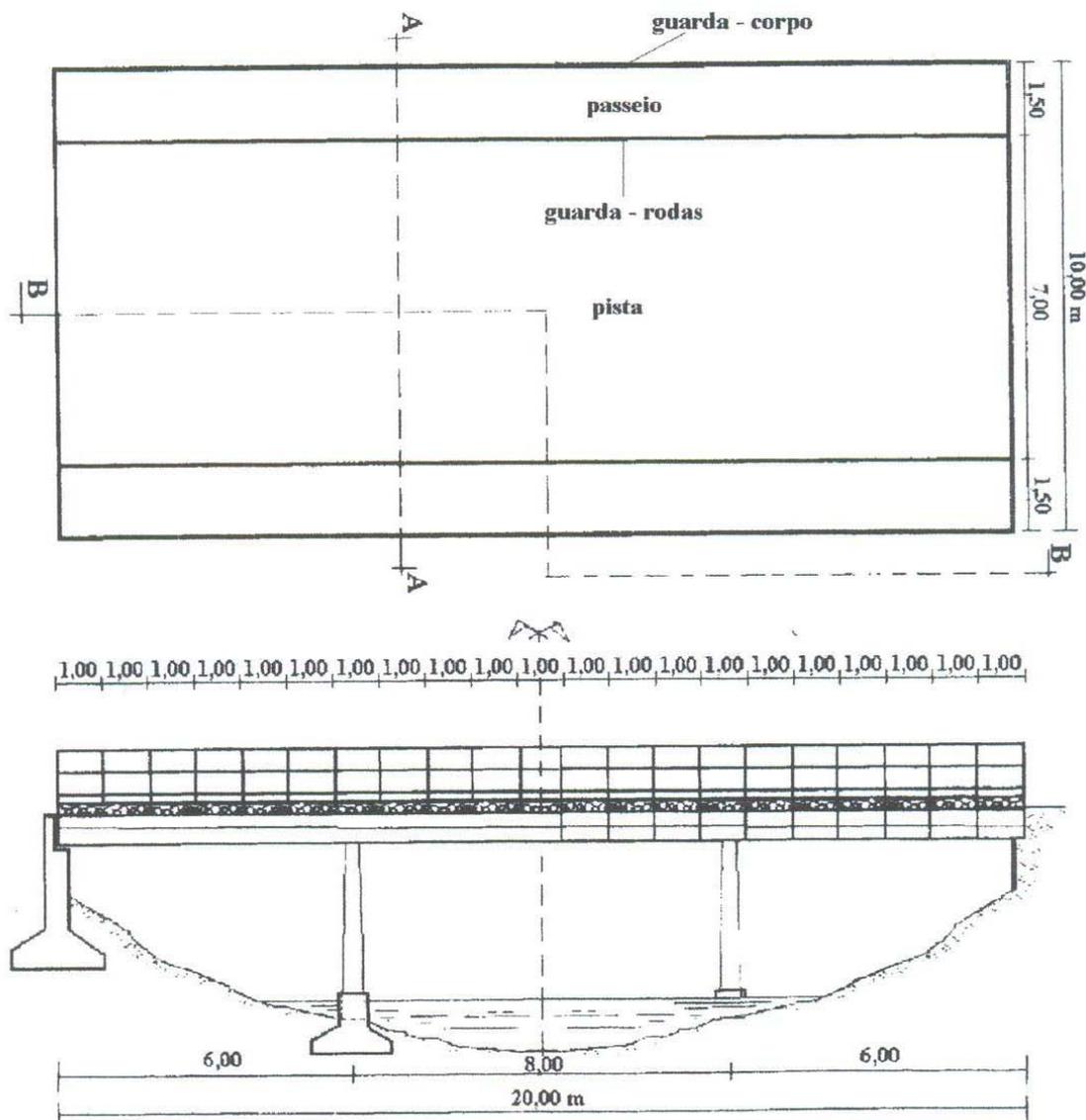
Figura 5.13: Sistemas estruturais usuais de pontes e passarelas. Fonte: NATTERER (1998).

Desta forma, procura-se mostrar a viabilidade da utilização de alguns destes sistemas estruturais utilizando madeira de reflorestamento, principalmente de espécies de eucalipto.

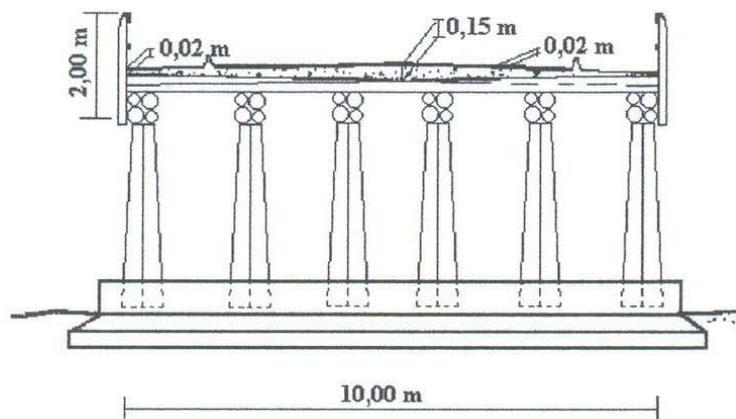
5.7.1 Pontes compostas por vigas

Para reduzir os vãos na largura de um rio, pode ser necessário utilizar o sistema estrutural de viga contínua com vários tramos, inserindo colunas entre os tramos, sob as peças que compõem a viga. Como exemplo, a ponte com o comprimento de 20 m sobre um rio, dividida em três tramos, apresentada por LOGSDON (1982), conforme a figura 5.14.

a) PLANTA BAIXA



b) CORTE LONGITUDINAL B- B



c) CORTE TRANSVERSAL A- A

Figura 5.14: Ponte em viga contínua. Fonte: LOGSDON (1982) *apud* PARTEL (1999).

HELLMEISTER (1978) propõe a solidarização de peças roliças, com até 20m de comprimento, utilizando anéis metálicos, para aumentar a rigidez de vigas, com o intuito de utilizá-las em pontes. A viga bicircular, composta por dois postes com compensação de seus diâmetros, solidarizados por anéis metálicos, já permite a utilização de postes, oriundos de madeira de reflorestamento, compondo vigas de pontes rodoviárias de madeira.

A viga bicircular dupla, também estudada por HELLMEISTER (1978), formada pela composição de quatro postes pela reunião de duas vigas bicirculares, compensando os diâmetros também no plano horizontal, tem comportamento e resistência mais adequada para a utilização como vigas de pontes rodoviárias de madeira.

PRATA (1995) afirma que as pontes de madeira usualmente construídas no Brasil são simples, de construção rápida e, de modo geral, apresentam estaqueamentos de madeira sucessivos sobre os quais se apóiam as vigas longitudinais e, sobre estas, é fixado o tabuleiro transversal. Algumas vezes, sobre as estacas executam cavaletes com a disposição de uma viga transversal sob as vigas longitudinais. O mesmo autor apresenta alguns casos onde o tabuleiro é fechado (isto é, forma um meio contínuo) e aproveita-se o plano do tabuleiro para se regularizar a pista de rolamento com concreto asfáltico ou concreto armado, pavimentando assim a superfície de rolamento.

De acordo com LEONHARDT (1982) mesmo que as formas básicas das estruturas de pontes sejam simples e relativamente limitadas em número, existem enormes variedades das possibilidades de projeto. Quando se projetarem pontes, deve-se estar familiarizado com esta grande variação de alternativas de modo a se encontrar a melhor solução para cada caso, ou para se desenvolver uma variante.

As pontes de madeira roliça permitem uma enormidade possibilidade de técnicas construtivas, principalmente para pequenos e médios vãos.

5.7.2 Pontes compostas por vigas treliçadas

Com a possibilidade de utilização de postes simples na construção das pontes de eucalipto Citriodora, HELLMEISTER (1983) sugere a utilização de vigas treliçadas, compostas por peças roliças para pontes de vãos relativamente grandes. Inicialmente HELLMEISTER (1983) orientou o estudo da viga em treliça para colocação de tabuleiro superior.

A colocação de viga bi circular no banzo superior permitiu o apoio direto das peças do tabuleiro, possibilitando seu dimensionamento à flexo-compressão, devido aos esforços axiais da treliça e o carregamento direto do tabuleiro. A figura 5.15 apresenta um modelo deste

sistema estrutural de ponte composta por vigas treliçadas.

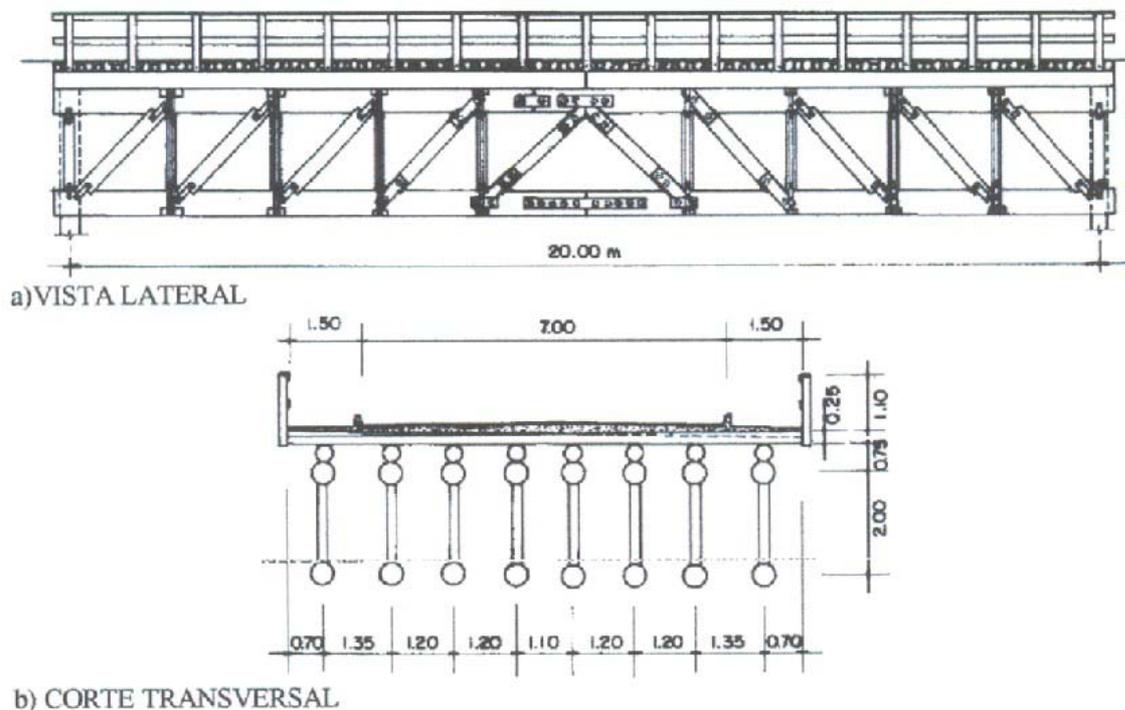
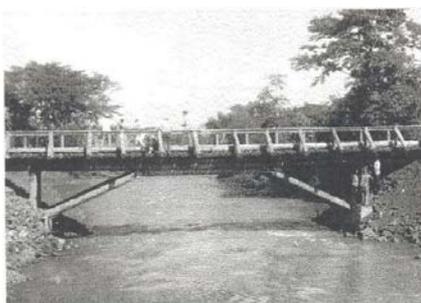


Figura 5.15: Ponte em viga treliçada. Fonte: HELLMEISTER (1983).

5.7.3 Pontes compostas por pórticos

A dificuldade normal de implantação de pilares centrais na ponte e a possibilidade de vencer o vão livre em toda sua extensão, conduz ao estudo de ponte com reforços centrais ligados através de duas diagonais apoiadas em blocos de concreto nas extremidades de cada lado da ponte. Este procedimento deu origem à ponte em viga escorada, também conhecida como ponte em pórtico. A figura 5.16 retrata este modelo de ponte executado em 1974 sobre o Ribeirão dos Porcos, Borborema, SP.



(a) Vista Lateral



(b) Vista Inferior

Figura 5.16: Ponte em Pórtico. Ribeirão dos Porcos, Borborema, SP (1974). Fonte: HELLMEISTER (1983).

5.7.4 Pontes em placas mistas de madeira roliça e concreto armado

As pontes em placa são formadas por sistemas construtivos onde são colocadas as peças roliças de madeira, na direção longitudinal, um ao lado do outro, alternando base-topo e agrupados com cordoalhas metálicas, sendo que a solidarização do concreto na madeira é realizada com conectores metálicos inclinados e colados com adesivo à base de epóxi. A característica principal deste sistema é a distribuição uniforme da carga aplicada no conjunto, CALIL, et al (2006). Na figura 5.17, são mostrados detalhes dos processos construtivos de uma ponte mista madeira-concreto construída no campus II da USP de São Carlos.



a) Instalação dos conectores metálicos b) Tabuleiro pronto p/ receber o concreto c) Ponte concluída

Figura 5.17: Ponte mista madeira-concreto construída no campus II da USP de São Carlos.

Fonte: CALIL et al (2006).

A figura 5.18, apresenta detalhes de conectores metálicos, do projeto estrutural da ponte em placa mista de madeira roliça e com concreto armado, construída no “Caminho do Mar”, na SP148.

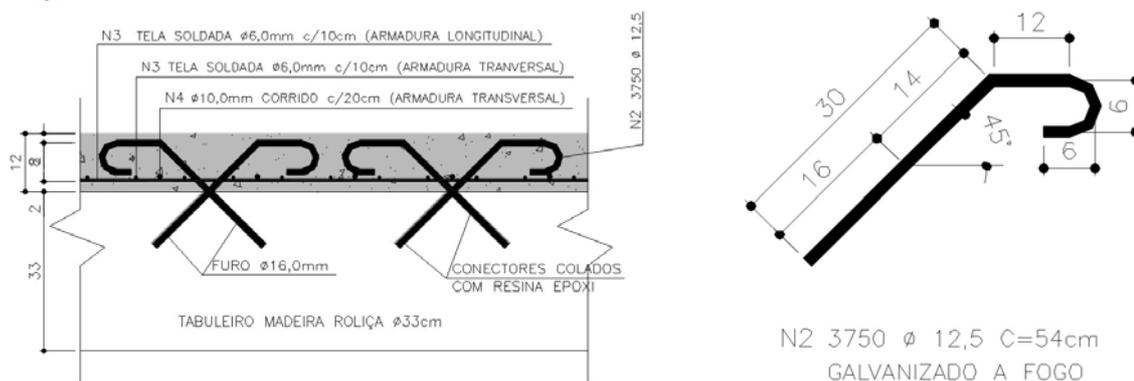


Figura 5.18: Detalhes dos conectores metálicos, do projeto estrutural da ponte “Caminho do Mar”, na rodovia SP148. Fonte: CALIL et al (2006).

NATTERER (1998) apresenta um sistema de pontes em placa onde as peças roliças são desbastadas em duas faces facilitando a junção lateral e essas ainda são colocadas em sentido inverso umas às outras (com o topo e a base em sentidos opostos), para compensação da conicidade dos troncos, figuras 5.19 e 5.20.

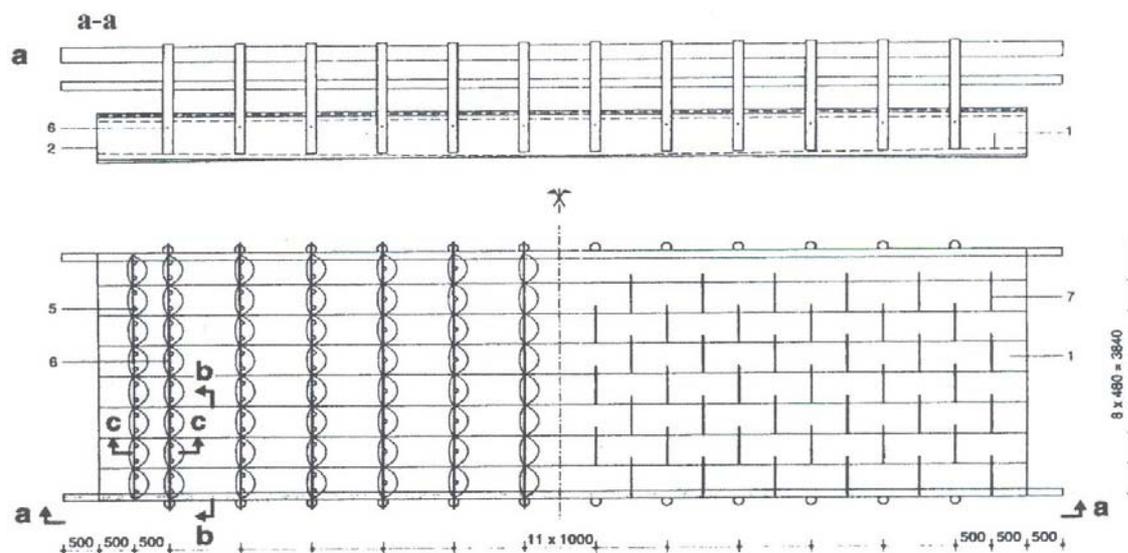


Figura 5.19: Planta e corte esquemático a-a, da ponte em placa no sistema apresentado.

Fonte: NATTERER (1998).

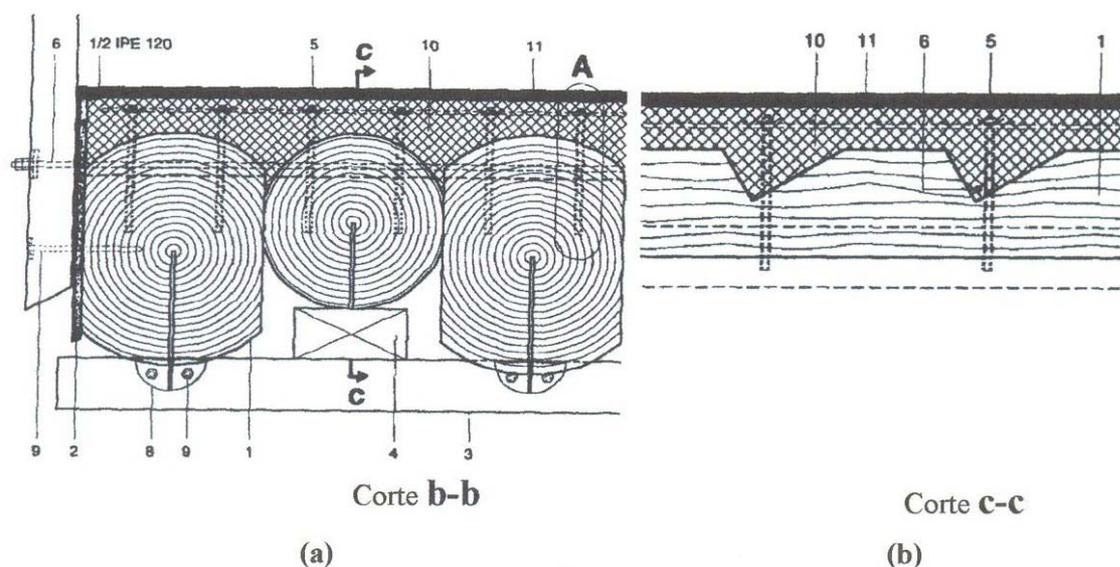


Figura 5.20: Cortes esquemáticos da ponte em placa. Fonte: NATTERER (1998).

Legenda das figuras de NATTERER (1998):

1. Seção roliça com duas faces serradas e dois cortes oblíquos para descarga da força normal.
2. Prancha de borda em contraplaca 70X24cm.
3. Prancha apoio das borda em carvalho.
4. Calço de carvalho.
5. Barra de aço para protensão.
6. Barra de aço de 10 mm.
7. Barra de armadura aço de 16mm.
8. Ligação através de chapa metálica pregada.
9. Parafuso.
10. Concreto armado 10 cm.
11. Camada de 3 cm de asfalto.

A solidarização do conjunto é garantida por barras de aço de 10 mm a 16 mm, com comprimento suficiente para fixação das peças dispostas alternadamente e barras contínuas tracionadas nas extremidades através de um elemento de placa metálica.

A ligação entre os dois materiais é garantida pela fixação de pinos metálicos nos sulcos transversais contínuos (entalhes), por onde também passam as barras de aço contínuas. A idéia principal é usar cada material na sua melhor função: a madeira à flexão e concreto à compressão. Para que se obtenha uma seção mista entre os elementos estruturais é importante um contato próximo entre eles, para isso, as conexões são efetivas através de parafusos especiais, que têm a sua extremidade inferior colada dentro da madeira.

MATTHIESEN (1987) solidarizou lateralmente as vigas, utilizando anéis metálicos, obtendo para o conjunto um efeito de placa, conforme já apresentado no capítulo de ligações. A figura 5.21a apresenta um esquema de ponte em placa simples, e a figura 5.21b apresenta um esquema de ponte em placa nervurada, em que as nervuras compostas por vigas de seção bicirculares.

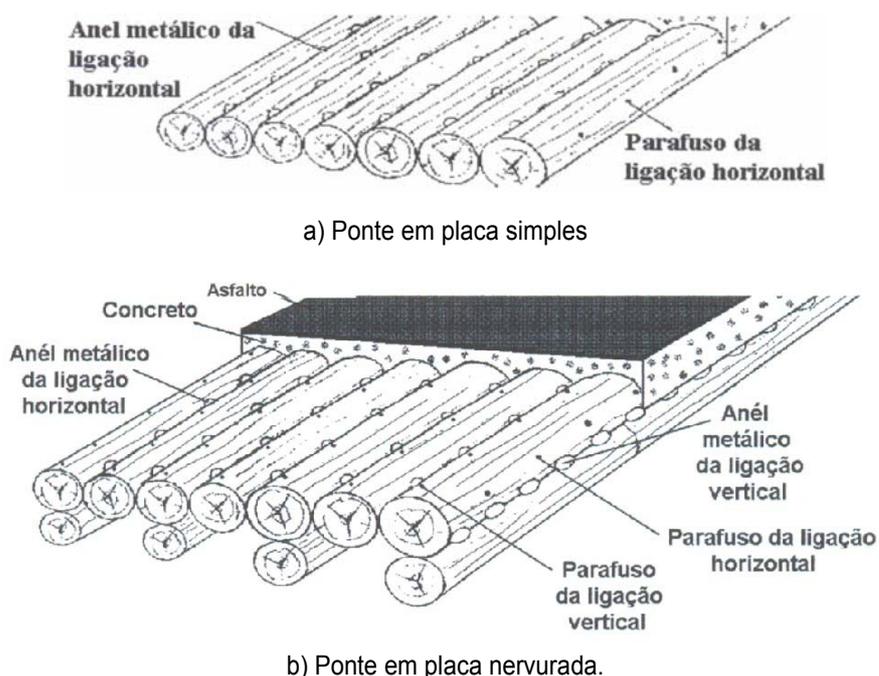


Figura 5.21: Pontes em placa mista com peças roliças de madeira e concreto armado.
Fonte: MATTHIESEN (1987) *apud* PARTEL (1999).

5.7.5 Pontes pênses

São estruturas compostas por cabos principais, com a configuração de uma parábola de segundo grau, e tirantes verticais constituindo o aparelho de suspensão geralmente associados a uma viga de rigidez.

Segundo O'CONNOR (1976) *apud* PARTEL (1999), define como principais características das pontes pênsis os seguintes itens:

- O principal elemento da ponte pênsil com viga de rigidez é um cabo flexível, de perfil e suportes tais que permitam a transferência das cargas mais importantes às torres e às ancoragens por tração simples.
- Esse cabo é comumente formado por fios de alta resistência torcidos ou por um conjunto de cabos metálicos espiralados. Em qualquer caso, as tensões admissíveis são altas, em geral da ordem de 5760 a 6110 Kgf/cm² para cordoalhas paralelas.
- O tabuleiro é suspenso por meio de tirantes ou pendurais formados por barras ou cabos metálicos de alta resistência à tração.
- O emprego de cabos e tirantes ou pendurais de aço de alta resistência à tração conduz a uma estrutura econômica, principalmente se o peso próprio toma-se importante, como no caso de grandes vãos.
- A economia no cabo principal deve ser comparada ao custo das ancoragens e das torres. O custo das ancoragens pode ser alto em áreas onde o terreno de fundação é pouco resistente.
- A estrutura completa pode ser levantada sem escoramentos intermediários partindo do solo.
- A estrutura principal é elegante e exprime de modo agradável a sua função.
- A altura das torres principais pode ser uma desvantagem em alguns locais; como por exemplo, dentro de zonas de acesso a aeroportos.

Desde 1973 o Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeira, da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, tem desenvolvido vários trabalhos de pesquisa e prestação de serviços à comunidade na área de pontes de madeira com elementos roliços. Um exemplo destes trabalhos, é o projeto e a execução da estrutura para a Companhia Nitroquímica em 1977, sobre o Rio Tietê em São Paulo. A figura 5.22 apresenta esta ponte pênsil sobre o rio Tietê. A estrutura é composta por três tramos; um vão central de 31m e mais dois vãos extremos de 15,5m; mais viga de rigidez simplesmente apoiada. O diâmetro médio dos postes é de 36cm e os cabos de aço utilizados em cada lado tem 1/2" de diâmetro, HELLMEISTER (1978).

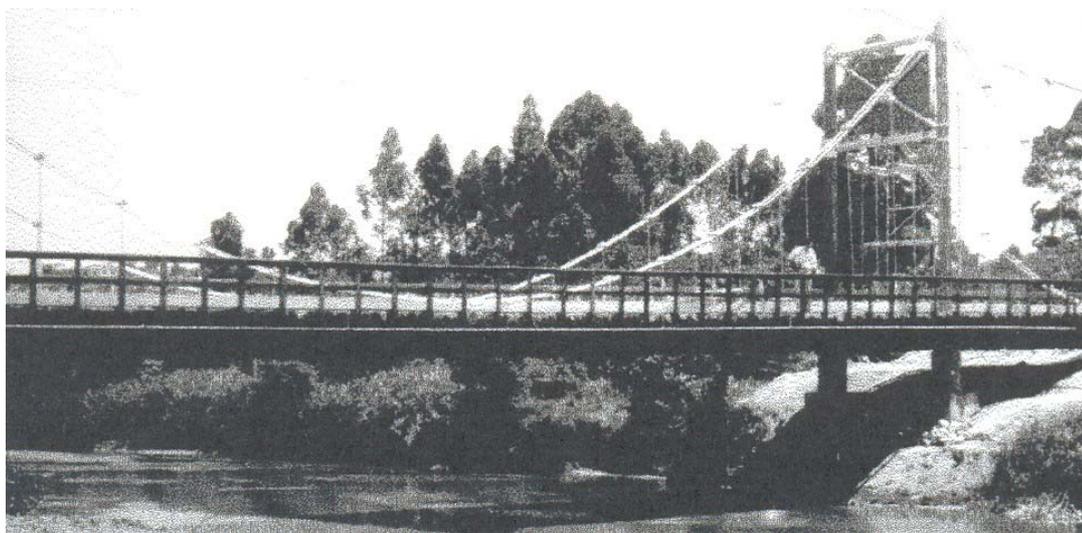


Figura 5.22: Ponte Pênsil CIA Nitroquímica, 1977. Fonte: HELLMEISTER (1978) *apud* CALIL (1996).

5.7.6 Passarelas estaiadas

Segundo a definição de O'CONNOR (1976) *apud* PARTEL (1999), as pontes de vigas estaiadas consistem de um sistema de vigas principais ao nível do tabuleiro, apoiadas nos encontros e nos pilares, e de um sistema de cabos retos que partem dos acessos, passam sobre uma ou duas torres e dirigem-se ao vão principal.

O'CONNOR (1976) *apud* PARTEL (1999) observou na descrição das características desse sistema comparações com os de pontes pênséis enrijecidas, os cabos são retos ao invés de curvos, resultando maior rigidez.

LEONHARDT (1982) fez estudos sobre a estabilidade aerodinâmica e demonstrou que estruturas com grande quantidade de estais apresentam comportamento diferente das pontes suspensas. O fundamento dessa pesquisa era evitar as oscilações de ressonância resultante dos ventos. Até então, o problema das oscilações era resolvido contrabalançando-as com treliças enrijecidas.

O vão da passarela Vallorbe (figura 5.23) apresentada por NATTERER (1998) é de aproximadamente 24,00 m e 2,50 m de largura. O local de entorno requeria um deck inclinado e as considerações ambientais sugeriram o uso de madeira roliça em uma estrutura em cabos de aço estaiados com uma torre inclinada.

O solo no lado direito foi contido por um muro de pilares de concreto centrados e próximos, os quais foram então usados para prover suporte para a torre com um sistema de ancoragem para amarração posterior dos cabos. A aproximação das rampas no lado mais baixo consiste em vigas simples de 5,10 m. A passarela principal é também feita de vigas simples de 4,35 m e 5,10 m.

Os cabos são feitos de barras de aço com esticadores para equilibrar as tensões. As ligações dos tirantes no topo da torre e os elementos transversais são feitos de aço e as forças são transmitidas por tensão de flexão. Todos os elementos metálicos são galvanizados a quente.



Figura 5.23: Passarela estaiada para pedestres, Vallorbe, Suíça. Fonte: CALIL (2007).

A figura 5.24, retrata a passarela estaiada com tabuleiro de madeira serrada laminada protendida em módulos curvos, sustentada por apenas um poste de madeira da espécie de Eucalipto Citriodora em peça roliça tratada com CCA, e um sistema de barras de aço estaiadas, construída para o acesso do SET ao LaMEM no campus I da EESC-USP. Neste protótipo foram realizados os ensaios estáticos e dinâmicos, cujos resultados evidenciaram a viabilidade técnica e econômica de passarelas estaiadas usando madeira de reflorestamento, de tabuleiros compostos apenas por placas de madeira laminada protendida e da construção de placas curvas de madeira laminada protendida, PLETZ (2003).



a) Ligação articulada na base do poste



b) Vista geral da passarela

Figura 5.24: Passarela estaiada, acesso ao LaMEM, campus I da USP de São Carlos. Fonte: PLETZ (2003).

5.7.7 Passarelas compostas por pórticos e treliças

Yojo et al *apud* PRATA, (1995) apresentou uma contribuição no Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) ao desenvolvimento de estruturas de madeira para travessias: uma passarela de madeira de reflorestamento, tratada, construída no bairro Butantã, na cidade de São Paulo. O projeto estrutural foi baseado num sistema formado por elementos de pórtico e

treliça em madeira. O vão livre teórico é de 32,40 m sendo coberto pela união de dois elementos de postes ligados por parafusos e chapas metálicas soldadas. As estruturas de sustentação, ou seja, pilares e fundações, foram executadas em concreto armado, figura 5.25.

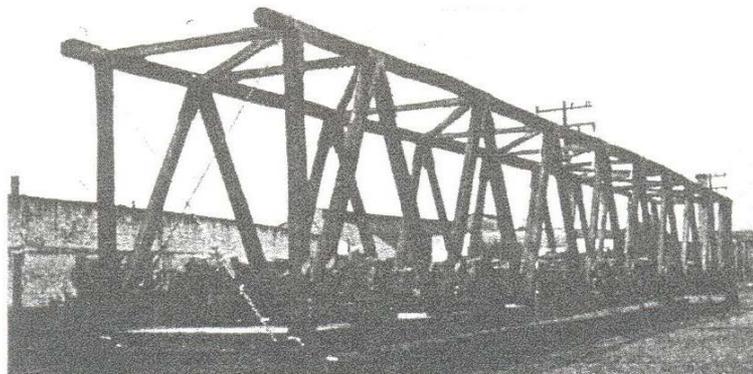


Figura 5.25: Estrutura montada da Passarela do Butantã. Fonte: PRATA (1995).

As partes da estrutura foram pré-fabricadas no IPT e transportadas em módulos praticamente acabados até o local de instalação, onde os dois módulos do vão central foram unidos antes do seu içamento. O volume total de madeira consumida, inclusive nas duas rampas de acesso, foi de aproximadamente 40 m³ de postes tratados de eucalipto utilizados na estrutura propriamente dita e aproximadamente 20m³ de pranchões de pinus tratado, utilizados no piso do tabuleiro.

5.7.8 Passarelas rainbow bridge

Usando um método de construção chinês, do século XII, um grupo de engenheiros, criou uma passarela em arco construída com peças roliças de madeira entrelaçadas. Este sistema estrutural é um exemplo criativo de um processo construtivo da engenharia, utilizando peças roliças de madeira. Acredita-se que foram construídas muitas Passarelas Rainbow ao longo do Canal de Pien no século XII na China, figura 5.26.



a) primeira etapa de montagem

b) segunda etapa de montagem

c) inauguração da passarela

Figura 5.26: Etapas de construção da Passarela Rainbow, na China. Fonte: ALTABBA (2000) *apud* CALIL (2007).

5.8 SISTEMAS ESTRUTURAIS E CONSTRUTIVOS DE EDIFICAÇÕES

Neste item, são apresentados, os principais sistemas estruturais e construtivos de edificações usando peças roliças de madeira tratada, especialmente as madeiras oriundas de reflorestamento como o eucalipto e pinus. As edificações de madeira roliça tratada representam uma alternativa viável para a integração física do país com imensa área territorial, porque podem possibilitar facilidade na obtenção da matéria prima e execução com custos reduzidos, além da diversidade dos arranjos estruturais possíveis em construções civis sustentáveis.

MOURA (1992) afirma que, de um modo geral, o material sofre no Brasil o mal dos extremos. De um lado, ele está ligado à habitação de baixa renda, pois os favelados fazem suas primeiras moradias com restos de madeira (mas, assim que podem, partem para a alvenaria) e, de outro, às luxuosas casas de veraneio no campo ou na praia.

Em projetos e construções de edificações, com madeira roliça, em que até pouco tempo atrás, eram empregados os sistemas estruturais de viga-coluna, na atualidade, com o avanço dos sistemas computacionais, é possível fazer análises e dimensionamentos de estruturas pelos sistemas de pórticos espaciais, com grande quantidade de elementos de barra, ou nos casos de paredes autoportantes como painéis, considerando pelo método dos elementos finitos, como elemento de chapa ou de placa.

Conforme INO (1992), na Austrália o emprego do eucalipto na construção habitacional é bastante difundido, sendo a sua forma roliça utilizada para fins estruturais. É considerado solução de baixo custo e conhecido também por apresentar grande resistência à ação dos furacões. Entre as diversas variáveis a serem consideradas no projeto de uma estrutura de madeira, a ligação entre as peças tem sido um dos aspectos mais importantes para uma composição adequada da estrutura. Em particular, esta questão se torna mais evidente para o caso das peças roliças, com dificuldades adicionais pela sua forma.

De acordo com HOLZ (1995), a adequação de construções de casas com postes de madeira em situações particulares, como em regiões com problemas de inundações, solos difíceis, terrenos com desníveis acentuados ou em casos de requisitos arquitetônicos especiais, os postes de madeira são por vezes usados para

possibilitar a construção de uma edificação elevada sobre pilotis onde estes podem ser contínuos para formar o esqueleto estrutural.

Ainda o mesmo autor afirma que, usando construções com postes de madeira, pode-se obter uma redução nos custos em até 45%, permitindo edificações baratas, particularmente apropriadas para necessidades rurais, mas também indicadas para muitos outros campos de aplicações. As estruturas em madeira roliça são particularmente boas por seu baixo consumo de energia primária e também por proporcionarem um excelente balanço ecológico.

Levando-se em conta ser possível a diminuição significativa dos custos e do tempo de execução dos galpões rurais que são oferecidos por algumas indústrias nacionais, pode-se questionar por que tal simplificação construtiva não deveria ser traduzida para as edificações urbanas, em um país de clima tropical propício a rápida produção de matéria prima, que pode ser considerada ainda no seu estado natural, como material construtivo.

HURST *apud* INO (1995) constatou que em concepções de projetos utilizando peças roliças de madeira, obtém reduções entre 26 e 32% no custo da construção, quando comparada à construção convencional executada *in loco* e a pré-fabricada, respectivamente.

5.8.1 Sistemas estruturais de viga-coluna para edificações

O sistema estrutural de viga-coluna permite o dimensionamento de cada elemento separadamente, devido à articulação entre as ligações, o que diferencia do sistema estrutural em pórtico. Este tipo de sistema foi muito utilizado em décadas anteriores à existência dos potentes computadores. São apresentadas as definições desses dois elementos estruturais:

- VIGA: é um elemento estrutural linear (barra), isto é, o seu comprimento é maior que as dimensões de sua seção transversal, que pode estar apoiado em dois ou mais pontos, estando solicitado por momento fletor e força cortante. Para absorver adequadamente estas solicitações recomenda-se, em termos de pré-dimensionamento, as relações de 1:10 a 1:20, normalmente a relação entre o vão e a altura da seção para vigas de madeira. Se analisarmos o comportamento de uma viga simplesmente apoiada com carga uniformemente distribuída, o momento fletor máximo ocorre na metade do vão. As fibras mais externas localizadas nas bordas superiores e inferiores são as mais solicitadas por tensões normais de tração e compressão, respectivamente. Junto aos apoios ocorre a maior solicitação de cisalhamento, gerada pela força cortante.

- Coluna: também é um elemento estrutural linear (barra), que pode estar apoiado em um, dois ou mais pontos, solicitado predominantemente por compressão e pode também estar solicitado por momento fletor e força cortante. A figura 5.27 apresenta os principais tipos de vinculações nas extremidades de colunas.

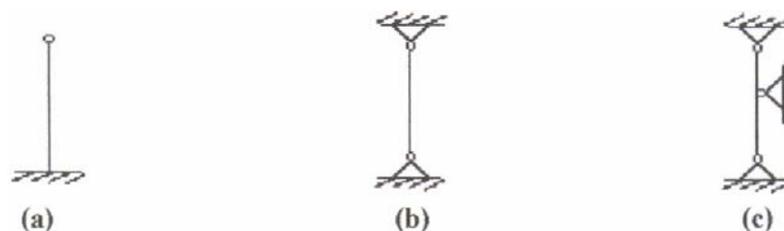
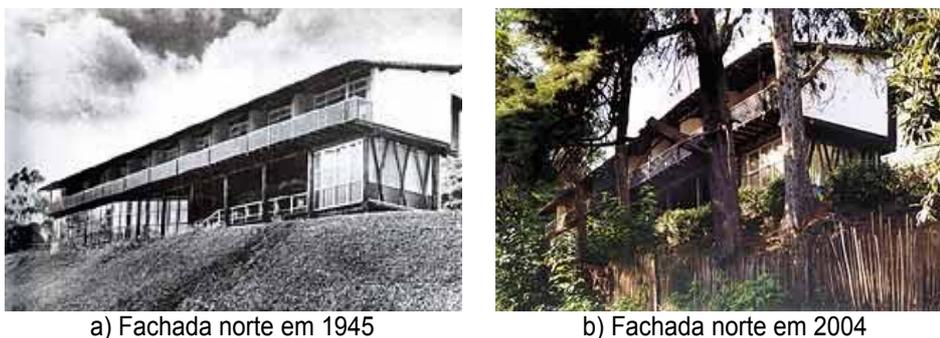


Figura 7.27: Vinculação das colunas. (a) engastada na base e livre no topo; (b) apoiada na base e no topo; (c) mesmas vinculações de b, porém a coluna está contraventada. Fonte: PARTEL (1999).

Historicamente, a primeira aplicação marcante com a utilização de peças roliças de madeira, utilizando este sistema estrutural, em edificações urbanas no Brasil foi à construção do Park Hotel São Clemente, em Nova Friburgo, região serrana do Rio de Janeiro, projetada em 1940 pelo arquiteto Lúcio Costa e construída em 1944. A figura 5.28 é uma prova concreta de que as estruturas de madeira roliça podem ter vida útil acima de 50 anos, BRITO (2010).



a) Fachada norte em 1945

b) Fachada norte em 2004

Figura 5.28: Park Hotel São Clemente, Nova Friburgo, RJ. Fonte: CARVALHO et al (2007) *apud* BRITO (2010).

De acordo com CRUZEIRO (1995), as colunas e vigas de eucalipto roliço foram dimensionadas num diâmetro médio de 25 cm. Os pilares só servem de apoio para a estrutura do pavimento superior, sustentando as vigas também compostas por peças de madeira roliça, que, por sua vez recebem toda a carga do barroteamento de peças com aproximadamente 18 cm de diâmetro, que sustentam todo o piso.

Ainda segundo CRUZEIRO (1995), o piso do pavimento inferior composto por tábuas de pinho é suspenso e apoiado em barrotes roliços de eucalipto (vigamento). Estes, por sua vez, abóiam-se em alvenaria de pedra, que também têm a função de peitoril para os trechos conformados pelos panos de vidro. O esquema do barroteamento é alterado na varanda que apóiam seus barrotes em vigas com diâmetros em torno de 25 cm, apoiados no alicerce de pedra. A cobertura foi toda executada em peças roliças de eucalipto com vários telhados de uma água. Essa estrutura não tem tesoura em função do diâmetro (12 a 15 cm) das vigas que

compõem as terças, vencerem facilmente o vão, com três apoios, mais um apoio nas varandas. Estes apoios descarregam na própria alvenaria dos dormitórios, exceto na varanda que apresenta uma viga longitudinal (Terça) de aproximadamente 15 cm, apoiadas em pilaretes de mesma dimensão, fixados nos balanços das vigas do piso (barrotes).

Conforme BRUAND (1991) a adoção de uma estrutura de madeira, cujas colunas, vigas e pisos eram constituídos por troncos poucos desbastados, apresentava uma série de vantagens: economia considerável, já que a matéria prima, abundante no local, era quase gratuita; o edifício assumia um caráter de simplicidade rústica, muito apreciado pelas pessoas a que se destinava; enfim, o edifício inseria-se numa paisagem inteiramente respeitada.

5.8.2 Sistemas estruturais de pórticos para edificações

Os sistemas estruturais para edificações são, em geral, constituídos de grelhas planas para os pisos, com suas vigas principais apoiadas em colunas e formando com estes um sistema de pórtico espacial. As vigas secundárias podem compor uma grelha de piso, que transferem as cargas verticais para as vigas principais e estas para as colunas, conforme mostra a figura 5.29.

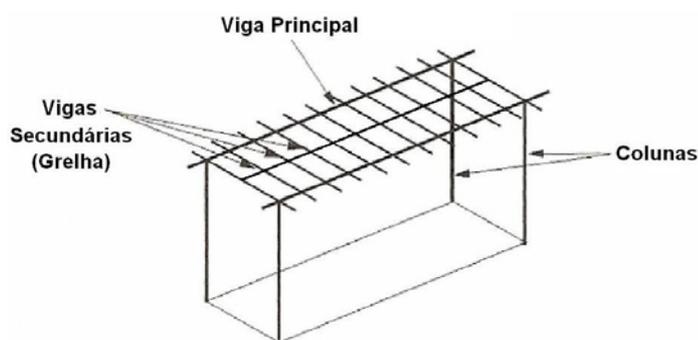


Figura 5.29: Sistema estrutural aporcionado para edificações: representação unifilar. Fonte: BRITO (2010).

A utilização de programas para análise e projeto de estruturas já é uma realidade no meio técnico. Com a evolução dos processadores computacionais, torna-se a cada dia, mais viável o estudo de projetos estruturais, com a análise de sistemas de Pórtico Espacial, que considera a verificação global da estrutura. Essa poderosa ferramenta trouxe um grande avanço na elaboração do projeto estrutural, mas é um recurso que deve ser utilizado com muita cautela e responsabilidade, pois os problemas gerados por um uso inadequado de sistemas computacionais podem ser enormes. A utilização destes recursos deve estar sempre associada ao pleno conhecimento das teorias correspondentes a cada elemento da estrutura e de todos os procedimentos utilizados internamente no programa.

Quando se define um modelo teórico para cálculo de uma estrutura, deve-se ter em mente que esse modelo deve representar, da forma mais realista possível, o comportamento da estrutura em relação ao aspecto estudado. Desta forma, a modelagem pelo sistema de pórtico espacial fornece resultados bem precisos, porém mais complexos de se verificar quando comparado com o sistema viga-coluna por exemplo. No sistema de pórtico espacial, considera-se a interação entre todos os elementos estruturais viga-coluna. No entanto, é de fundamental importância, que o profissional adquira conhecimentos teóricos com modelos mais simples para que possa analisar adequadamente modelos mais complexos. Nesse sentido, para analisar um modelo pórtico espacial é importante ter pleno conhecimento do funcionamento do pórtico plano.

A estabilidade da edificação tendo em vista as ações horizontais, por exemplo, ações do vento, figura 5.30 e os efeitos de imperfeições como desalinhamento de colunas, depende da rigidez das ligações viga-coluna. Se estas ligações forem rígidas, as cargas horizontais atuam sobre pórticos formados pelas vigas e colunas. Para as ligações viga-coluna flexíveis, aquelas que se aproximam do funcionamento de uma rótula, a estabilidade lateral da edificação depende de sistemas de contraventamento vertical como paredes diafragma ou treliçadas em X, conforme ilustrado na figura 5.31.

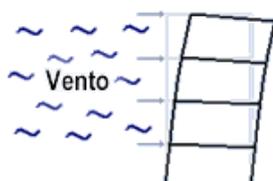
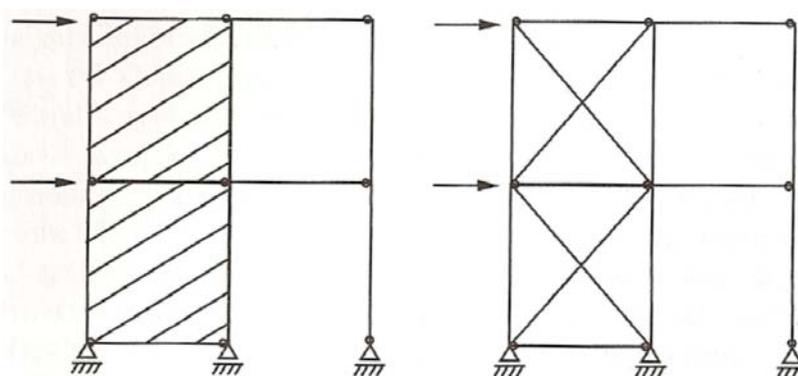


Figura 5.30: Deformada devido ação do vento em sistema estrutural apórtico para edificações. Fonte: BRITO (2010).

A figura 5.31 apresenta dois tipos de elementos de contraventamentos verticais, usuais em sistemas estruturais de pórticos.



(a) Contraventamentos com painéis.

(b) Contraventamentos com tirantes.

Figura 5.31: Elementos de contraventamentos verticais para sistemas estruturais de pórticos. Fonte: PFEIL (2003).

Os pórticos formados por peças roliças de madeira podem ser maciços, treliçadas ou mistos. São compostos por vigas e colunas, cujas ligações entre estes elementos estruturais podem ser engastados rigidamente ou não. Pode-se dizer que, neste tipo de estrutura, com a atuação das cargas verticais, tanto as vigas como as colunas encontram-se submetidos à flexão e à compressão. Este sistema estrutural é ideal para dimensionamento de estruturas de edificações de múltiplos pavimentos. A figura 5.32 apresenta os principais sistemas estruturais de pórticos, usuais em projetos e construções com peças roliças de madeira.

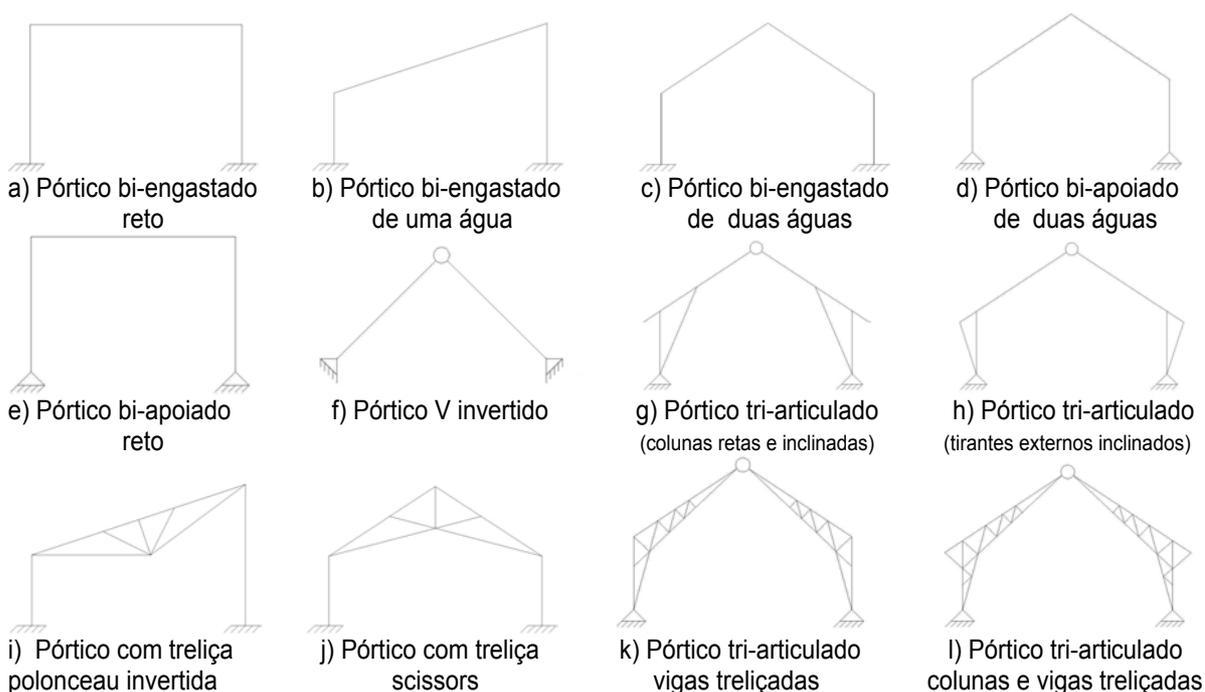


Figura 5.32: Principais sistemas estruturais de pórticos simples e treliçados, usuais em projetos com peças roliças de madeira. Fonte: NATTERER (1998).

Uma das principais vantagens de se usar mão francesa em estruturas de pórticos, em edifícios de múltiplos pavimentos (figura 5.33), é a possibilidade de melhoria na rigidez tanto o plano vertical como no plano horizontal. Isto resulta em uma construção compacta, com boa capacidade resistente a terremotos, muito utilizado em regiões particularmente expostas a abalos sísmicos, HABITATIONSE (2007).



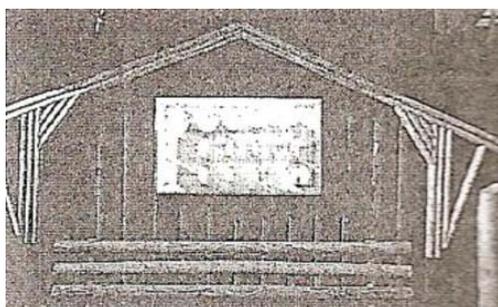
a) Estrutura do pórtico



b) Estrutura do pórtico com fechamento em alvenaria cerâmica

Figura 5.33: Protótipos de Edificações compostas por pórticos. Fonte: HABITATIONSE (2007).

A estrutura de pórtico pode ser muito bem empregada, nas construções com peças de madeira roliça, em edificações de múltiplos pavimentos (figura 5.34), galpões, mezaninos, varandas, coberturas em áreas externas e pergolados.



(a)



(b)

Figura 5.34: Estruturas de pórticos: (a) galpão de pórtico Tri-articulado, com elementos de madeira roliça compostos. Fonte: NATTERER (1998); (b) edificação residencial composta por pórticos. Fonte: Foto tirada em visita técnica à construção da obra da Prof. Akemi Ino em maio de 2008, em São Carlos, SP, BRITO (2010).

Segundo OBERG *apud* INO (1995) apresenta o emprego de peças roliças para construções rurais, denominadas “Pole Construction”, diferentemente da “Log Construction”, ou casas de toras. As indicações de uso para habitação deste segundo tipo de construção têm referência nas casas dos imigrantes europeus. O autor faz a citação de um dos primeiros exemplos em “poletype homes”, construído em woodside, Califórnia. Nesta construção, foram utilizados postes tratados sob pressão, os quais foram cravados no solo sobre base de concreto. Suas extremidades superiores foram interligadas por duas peças de madeira serrada, fixadas com parafusos e conectores metálicos, formando um quadro em pórtico. Este tipo de construção acaba proporcionando grande rigidez, em função do engastamento das colunas na fundação.

5.8.3 Sistemas estruturais compostos por painéis de paredes autoportantes

Os sistemas estruturais de edificações formados por painéis de paredes autoportantes, compostas por toras sobrepostas horizontalmente, normalmente são utilizadas toras

torneadas (figura 5.35), de madeira de espécies de pinus, por serem mais macias para o corte do torneamento longitudinal, e de baixa densidade aliviando assim as cargas nas fundações. O comportamento deste sistema estrutural assemelha-se com sistemas de chapas, que correspondem aos elementos de superfície plana sujeitas principalmente às ações contidas em seu plano.

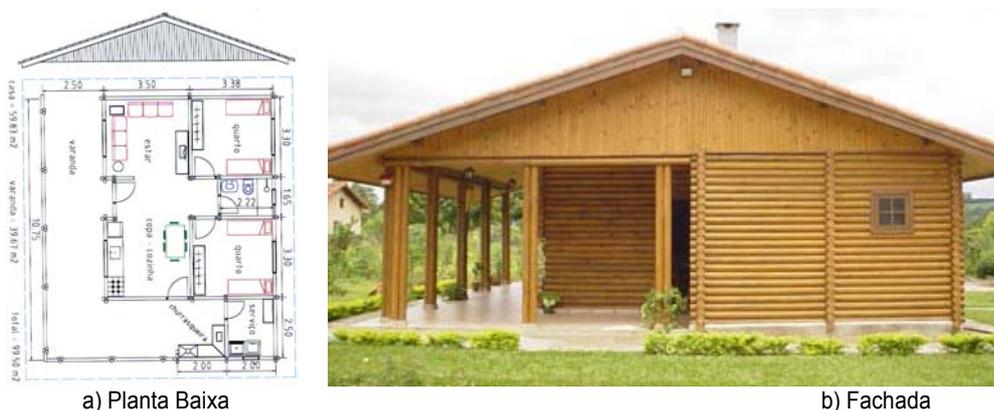


Figura 5.35: Construção de edificação industrializada, composta por paredes auto portantes. Fonte: www.casabella.etc.br

No entanto, este sistema de construção na grande maioria é industrializado, utilizando serras espaciais de torno para peças roliças de diversos diâmetros (figura 5.36), o que acelera ao processo construtivo para a entrega da obra. PARTEL (1999) cita as dimensões dos diâmetros de d15cm, d17cm, d19cm, d21cm e d23cm, usuais das seções transversais das peças roliças de madeira utilizadas neste sistema.

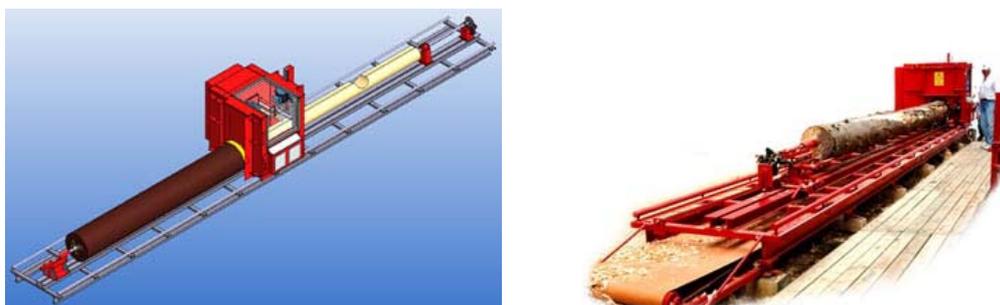


Figura 5.36: Torno de peças roliças, para construções de Log Homes. Fonte: ROUNDTEC.

Segundo PARTEL (1999), estas edificações são muito utilizadas nos Estados Unidos, Canadá e Finlândia. Na Finlândia edificações em toras são uma tradição viva. Muitas companhias estão produzindo industrialmente construções com toras. Na década de 90, dezoito companhias exportaram em média, quatrocentas edificações todos os anos. Este número equivale apenas para o mercado de edificações residenciais. A maior demanda do mercado interno nesse país é de casas de campo. No mercado de exportação também predominam as construções de edificações populares, que são apreciadas pela mentalidade ecológica de sustentabilidade da população, além do conforto térmico e acústico característico da madeira.

5.9 SISTEMAS ESTRUTURAIS E CONSTRUTIVOS DE COBERTURAS

5.9.1 Coberturas compostas por treliças planas

As estruturas de coberturas compostas por treliças planas, podem ser construídas com peças de madeira roliça de reflorestamento, em diversos sistemas estruturais conforme a figura 5.37.

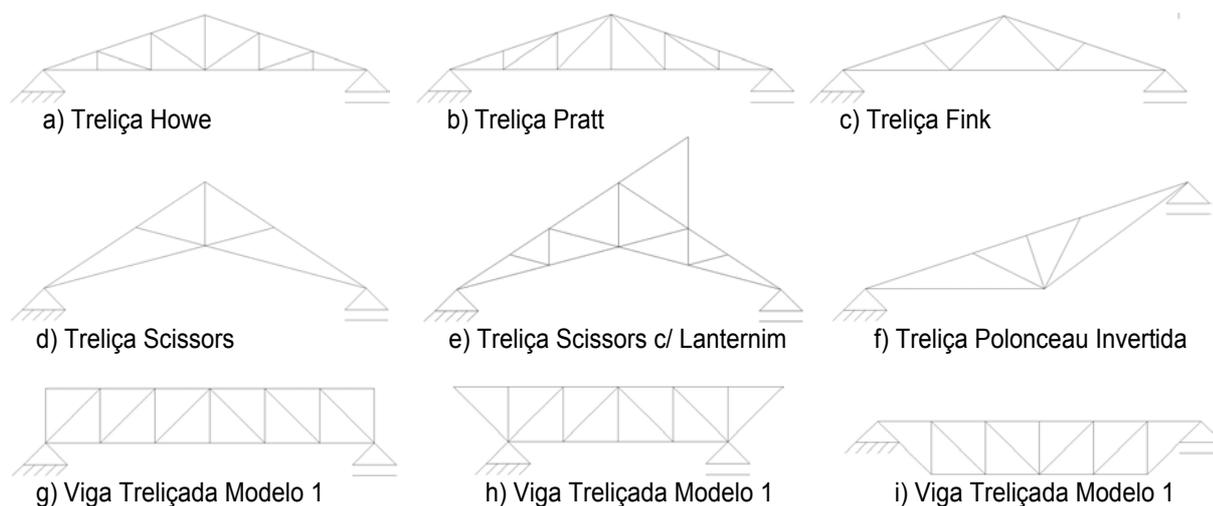


Figura 5.37: Tipos de treliças planas usuais em projetos de coberturas com madeira roliça.

Fonte: NATTERER (1998) .

A figura 5.38, apresenta detalhes da estrutura da cobertura interna do galpão, com treliças scissors, utilizando peças roliças de madeira de eucalipto, em fase de construção, na sede do Club Med, em Trancoso, na Bahia.



Figura 5.38: Estrutura da cobertura interna do galpão, com treliças scissors. Fonte: www.callia.com.br

A figura 5.39, apresenta o modelo da cobertura de uma igreja, composta por treliças planas atirantadas, utilizando peças roliças de pequeno diâmetro, executada pela construtora BEAUDETTE CONSULTING ENGINEERS INC.



Figura 5.39: Cobertura composta por treliças planas atirantadas.

Fonte: BEAUDETTE CONSULTING ENGINEERS INC.

5.9.2 Coberturas compostas por tensoestruturas

As tensoestruturas proporcionam várias formas possíveis através deste sistema, onde a madeira roliça pode exercer a função de poste de sustentação da estrutura principal, figura 5.40, ou como montantes da cobertura, sempre composta por cabos tensionados.



a) Poste de sustentação



b) Tensoestruturas

Figura 5.40: Coberturas compostas por tensoestruturas. Fonte: CALIL (2007).

5.9.3 Coberturas compostas por treliças espaciais (tridimensionais)

As estruturas compostas por treliças espaciais, também denominadas por tridimensionais, formadas a partir de peças de madeira roliça são leves e relativamente econômicas. Para construção destas treliças são utilizadas peças roliças de pequeno diâmetro, menores que 15 cm, onde na maioria das vezes a madeira não precisa ser torneada, mas somente descascada e usinada nas extremidades. São coberturas utilizadas nas construções de galpões de grandes vãos. Segundo PARTEL (1999) onde mais utilizam estas estruturas são na Inglaterra e na Holanda.



Figura 5.41: Cobertura composta por treliças espaciais (tridimensionais). Fonte: CALIL (2007).

5.9.4 Coberturas do tipo parabolóide hiperbólica

As coberturas do tipo parabolóide hiperbólica podem ser construídas com peças roliças retilíneas, e conforme a distribuição e dimensões das peças, durante a montagem, proporcionam formas exuberantes. A figura 5.42 retrata fases de construção da estrutura da torre do silo, com a cobertura do tipo parabolóide hiperbólica utilizando peças de madeira roliça de pequeno diâmetro, construído no LaMEM, no campus I da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo (USP).



a) Montagem da cobertura no solo



b) Cobertura transferida e montada no pórtico

Figura 7.42: Cobertura do tipo parabolóide hiperbólica. Fonte: CALIL (2007).

5.9.5 Coberturas de pontos de ônibus de linhas urbanas

Com peças roliças de pequeno diâmetro, utilizando madeira de reflorestamento tratada, como por exemplo, as espécies de pinus, que são menos densas, e relativamente mais baratas, podem ser utilizadas em sistemas estruturais de coberturas de pontos de ônibus de linhas urbanas. A figura 5.43 é um dos modelos possíveis de construir este tipo de cobertura, construída em Washington.



Figura 5.43: Cobertura em balanço, para pontos de ônibus de linhas urbanas, construída em Washington. À esquerda, detalhe do poste de iluminação com peças roliças de pequeno diâmetro. Fonte: USDA.

5.10 SISTEMAS ESTRUTURAIS E CONSTRUTIVOS DE TORRES

Segundo GARCIA (1986), o problema de incêndio nas florestas, e nos reflorestamentos se deve principalmente à falta de condições que os setores responsáveis e muitas propriedades apresentam na sua preservação, na sua detecção imediata e no seu combate. Existe carência de equipamentos e pessoal preparado para isso. Uma torre de vigia florestal, em uma grande área reflorestada deve ser considerada como elemento indispensável na preservação contra incêndios, pois permite detectá-los em tempo para combatê-los.

Segundo KARLSEN apud GARCIA (1986), o tamanho da torre é determinado por condições especiais, dependentes do propósito da construção. Entretanto, frequentemente estas condições são impostas por razões técnicas ou construtivas, como as torres de grande altura e seção transversal mínima.

Nestes casos, para aumentar a rigidez e reduzir as tensões atuantes na estrutura da torre, ela pode ser estaiada, assumindo forma aproximada de mastros atirantados, figura 5.44e.

5.10.1 Torres compostas por estruturas em treliças

Para TIMOSHENKO et. al. apud GARCIA (1986), a torre é um caso particular de treliça espacial, na qual as barras são ligadas umas às outras pelas extremidades, de maneira a formar uma estrutura rígida no espaço. De acordo com estes autores, as treliças espaciais se classificam quanto à disposição de suas barras em simples, associada e complexa.

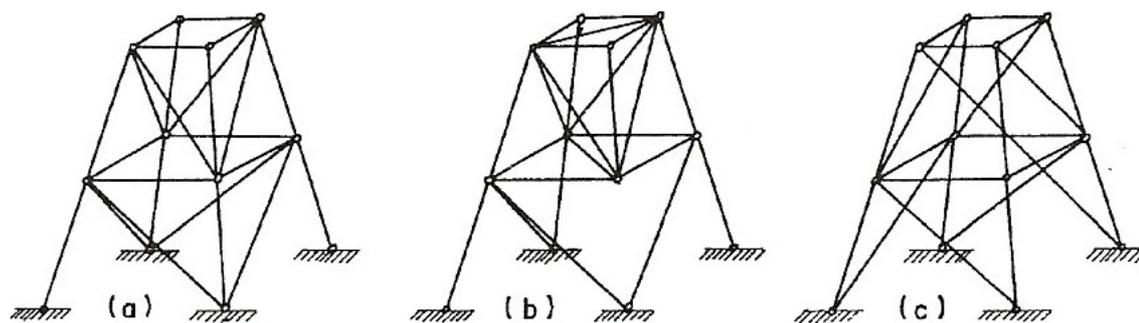


Figura 5.44: Torres compostas por treliças. (a) Simples; (b) Associada; (c) Complexa. Fonte: GARCIA (1986).

KARLSEN et al (1967) apud GARCIA (1986), apresenta os seguintes fatores básicos, relacionados aos tipos de treliças, conforme a figura 5.45.

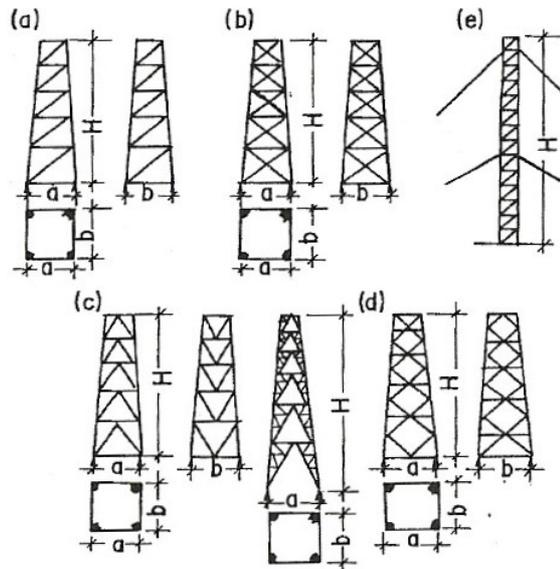


Figura 5.45: Tipos de Torres. Fonte: GARCIA (1986) *apud* BRITO (2010).

Torres treliçadas são constituídas por treliças verticais ou inclinadas, formando em planta, um triângulo, quadrado ou polígono retangular. As relações b/h ou d/h variam entre largos limites de acordo com a função da torre. Frequentemente h é de oito a dez vezes o lado k ou o diâmetro d da base.

5.10.1.1 Torre de diagonal única, parafusada ou pregada (a)

A Torre de diagonal única, figura 5.45a, é caracterizada por grandes comprimentos de flambagem, está sujeita a inversões de esforços. São normalmente utilizadas para torres de observação, suporte para holofotes, guia de bate-estacas, etc.

$$\frac{b}{H} = \frac{1}{1} \quad a = \frac{1}{8} \quad e \quad H_{\text{máx}} = 40\text{m}$$

5.10.1.2 Torre de diagonais cruzadas, parafusadas ou pregadas (b)

A Torre de diagonais cruzadas, figura 5.45b, normalmente comportam-se como torres de diagonal única, pois as diagonais trabalham a tração e, pela sua esbelteza, não têm condições para suportar compressão. A distribuição interna de esforços é melhorada quando são utilizados conectores no cruzamento das diagonais. A estrutura passaria, neste caso, a ser estaticamente indeterminada. Esta torre é normalmente utilizada para reservatórios elevados, prospeção de petróleo, extração de minério, torre de resfriamento, etc. São recomendadas as relações:

$$\frac{b}{H} = \frac{1}{1} \quad a = \frac{1}{10} \quad e \quad H_{\text{máx}} = 40\text{m}$$

5.10.1.3 Torre com semi-diagonais dispostas em forma de triângulo equilátero com as bases horizontais (c)

A Torre com semi-diagonais dispostas em forma de triângulo equilátero com as bases horizontais, figura 5.45c, difere do caso da figura 5.45a, no comprimento da diagonal. As ligações são parafusadas e são utilizadas também para suporte de antenas de rádio. São recomendados os valores:

$$\frac{b}{H} = \frac{1}{1} \quad a = \frac{1}{8} \quad p/ \quad H > 40\text{m}$$

5.10.1.4 Torre com diagonais em losango (d)

A Torre com diagonais em losango, figura 5.45d, é uma das mais eficientes; as barras comprimidas têm somente a metade do comprimento das barras da torre de diagonal única, portanto, estão sujeitas a deformações menores. É apresentada na figura 5.45 uma torre de seção variável, por inflexões do eixo das pernas, com alargamento da seção da base, e conseqüentemente tensões menores nas barras das pernas e maiores nas diagonais e nas barras horizontais. É recomendada a utilização de diafragmas Treliçados para enrijecimento transversal. São indicados os valores:

$$\frac{b}{H} = \frac{1}{1} \quad a = \frac{1}{50} \quad p/ \quad H > 40\text{m}$$

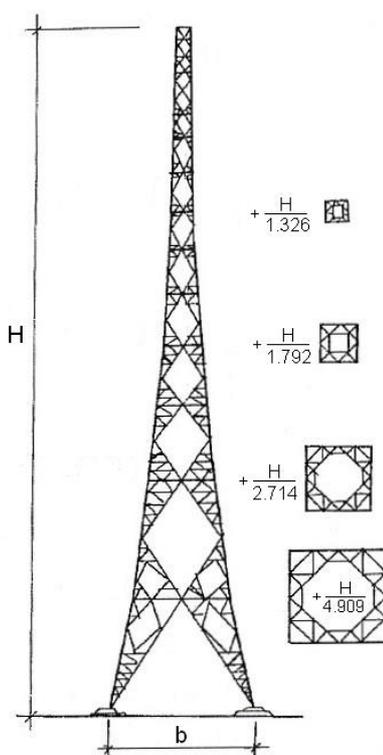


Figura 5.46: Torres de diagonais em losango, para alturas maiores que 40 metros.

Fonte: GARCIA (1986) *apud* BRITO (2010).

5.10.1.5 Torre treliçada estaiada (e)

A Torre treliçada estaiada, figura 5.45e, é uma torre contraventada através de cabos fixados no solo. É utilizada como torre de observação, para iluminação, para elevação de concreto, etc. São indicados os valores:

$$\frac{b}{H} = \frac{1}{10} \quad a = \frac{1}{50} \quad e \quad H > 40\text{m}$$

Uma torre não estaiada sujeita a forças horizontais (vento, tração nas linhas de transmissão, terremoto) é calculada como uma treliça em balanço, com diagonais sujeitas á inversão de esforços.

KARLSEN apud GARCIA (1986), relacionou as cargas mais freqüentes em torres treliçadas:

- peso próprio da torre, usualmente determinado com base na estimativa da seção transversal das barras;
- peso de plataformas, escadas, etc., determinado da mesma maneira;
- cargas úteis como peso da caixa d'água, antena de rádio, peso de tubos, revestimentos, etc.;
- carga de vento, determinada de acordo com as normas. No caso de torres de seção quadrada, a direção do vento é tomada como sendo paralela à diagonal para efeito de cálculo das pernas da torre. No caso de torres ou mastros estaiados, o vento deve ser tomado no plano do tirante e na bissetriz do ângulo formado entre dois deles.

FUCHS et al. apud GARCIA (1986), notaram nos Estados Unidos o emprego de torres de madeira em linhas de transmissão de até 500KV. O Brasil, um dos países mais ricos em madeiras apropriadas e carente de recursos, mantém a madeira em um segundo plano, apesar de se encontrarem no Estado de São Paulo redes de até 138KV. Estas estão operando satisfatoriamente há mais de 40 anos, comprovando a eficiência do material.

As estruturas citadas fazem uso da madeira roliça traçando um diálogo harmonioso com outros sistemas, o que induz a um universo de possibilidades que não se restringem a aplicações específicas.

5.11 SISTEMAS ESTRUTURAIS DE CIMBRAMENTOS

Os cimbramentos são estruturas provisórias destinadas a suportar o peso de uma estrutura em construção até que se torne autoportante. Os cimbramentos são projetados de modo a terem rigidez suficiente para resistir aos esforços solicitantes com deformações moderadas (as deformações do cimbramento dão origem a imperfeições de execução da estrutura em construção) PFEIL (2003).

As características de elevada resistência e reduzido peso específico da madeira, aliadas à facilidade de montagem e desmontagem de peças, tornaram este material vantajoso para uso em estruturas de

cimbramentos. Nestas condições, a madeira foi utilizada com exclusividade nos cimbramentos de arcos e abóbadas em alvenaria de pedra desde a época do Império Romano e nas construções em concreto armado da primeira metade do século XX. Nas últimas décadas do século XX foram desenvolvidos e amplamente utilizados sistemas de cimbramento padronizados tanto em estrutura de aço quanto de madeira PFEIL (2003).

Ainda segundo PFEIL (2003), para o escoramento de obras de pequena altura destaca-se o uso de madeira roliça, em especial no caso de pontes, como ilustra o esquema da figura 7.48. O escoramento é formado por montantes contraventados nas duas direções. No topo do escoramento, devido às irregularidades das madeiras roliças, há necessidade de se colocar calços para nivelamento do assoalho de apoio da fôrma. Em muitos casos utilizam-se peças de madeira roliça apenas para os montantes, completando-se o cimbramento com madeira serrada. Nesta alternativa reduzem-se os problemas de nivelamento e os de ligações entre peças roliças. A figura 5.47 mostra um escoramento de viaduto de concreto executado com torres de madeira de grande altura, a maior com 40 m, e mãos-francesas.

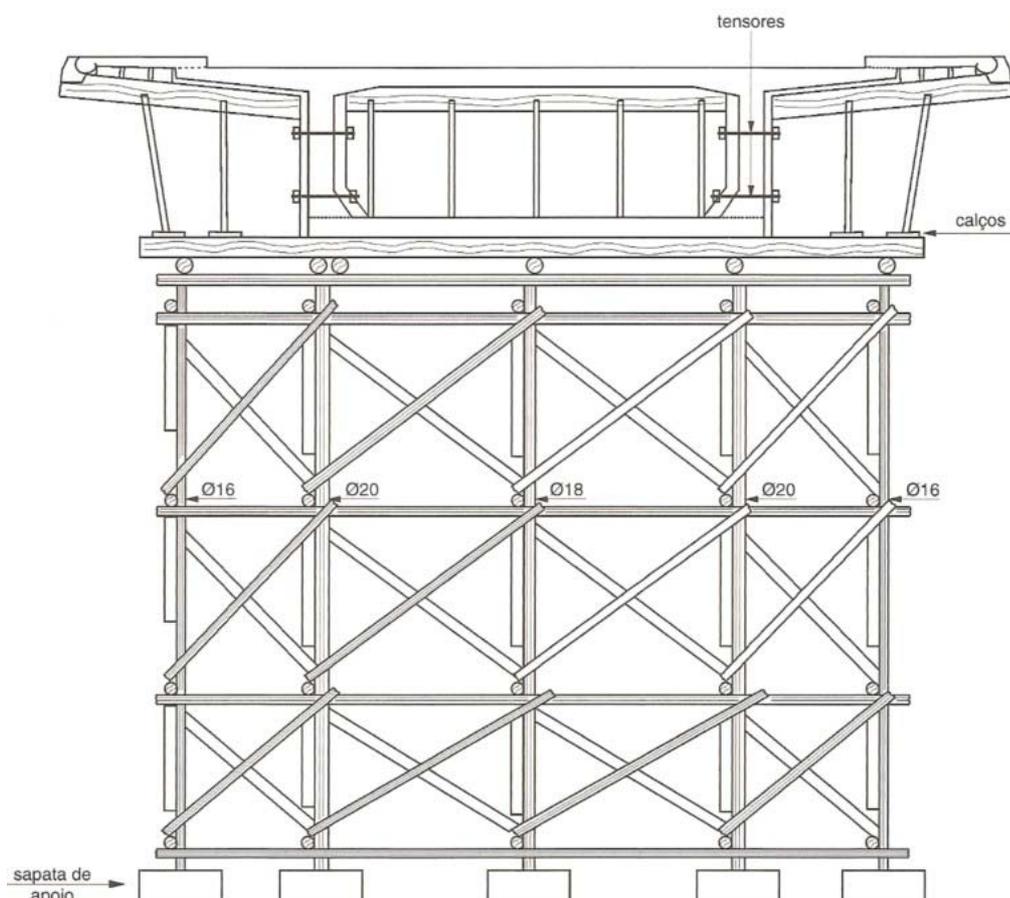


Figura 5.47: Esquema da seção transversal de um escoramento em montantes verticais de madeira roliça, contraventados nas direções transversal e longitudinal. Fonte: PFEIL (2003).

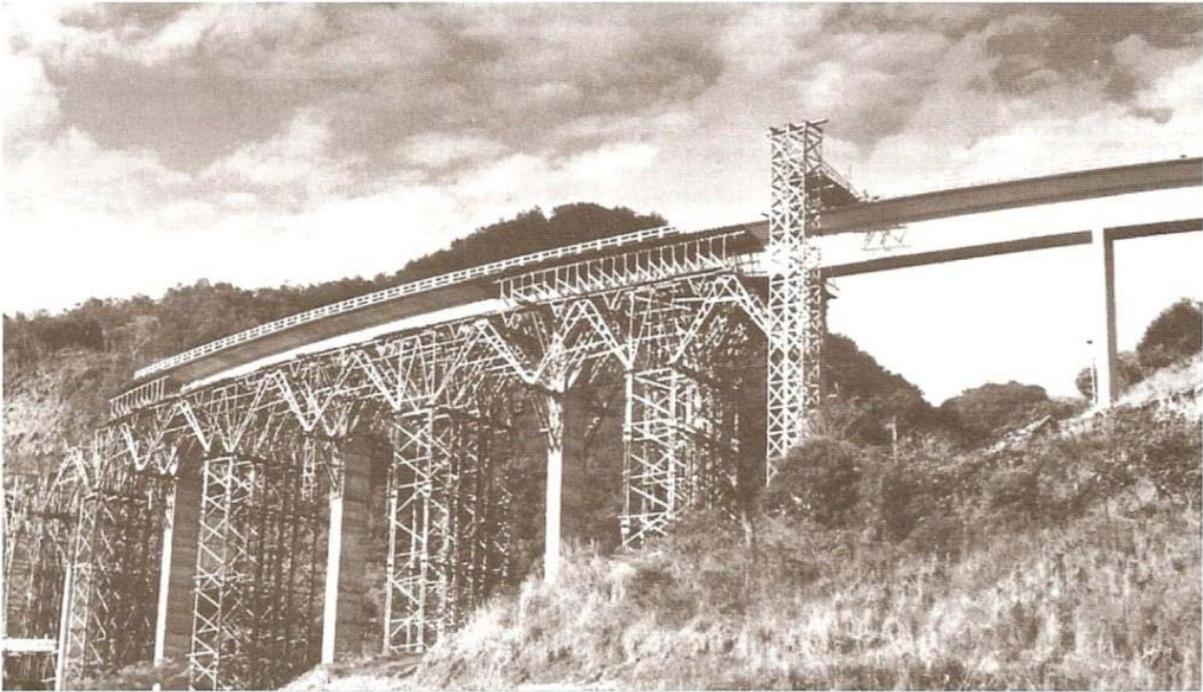


Figura 5.48: Escoramento em torres e mãos-francesas de madeira, para viaduto rodoviário em vigas contínuas de 30 m de vão. As torres mais altas do escoramento têm 40 m. As torres foram executadas com madeira roliça e as mãos-francesas com madeira serrada. Viaduto sobre o Vale dos Diabos, BR-168/RS (1960). Projeto estrutural do eng^o Walter Pfeil. Projeto do escoramento: eng.^o Viktor Boehm. Firma executora: ESBEL. Fonte: PFEIL (2003).

6 CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO

6.1 CLASSIFICAÇÃO GEOMÉTRICA DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS

Utilizando-se um critério das propriedades geométricas, é possível distinguir três e classificação de elementos estruturais básicos: os elementos lineares, os elementos de superfície e os elementos de volume.

6.1.1 Elementos estruturais

Devido à complexidade do estudo do todo tridimensional de uma estrutura e visando simplificar as análises, as estruturas com peças de madeira roliças podem ser consideradas como compostas de elementos estruturais básicos que podem ser classificadas de acordo com sua geometria e função estrutural. Partindo-se deste princípio, pode-se considerar as classificações como serão apresentadas a seguir.

6.1.1.1 Elementos estruturais lineares (estruturas reticuladas)

Elementos estruturais lineares são elementos em que o comprimento é muito superior a dimensão da seção transversal, sendo também denominados por elementos de barras. De acordo com a função estrutural, recebem as seguintes designações especiais:

Vigas: Elementos lineares normalmente horizontais, em que os esforços de flexão são preponderantes, figura 6.1;

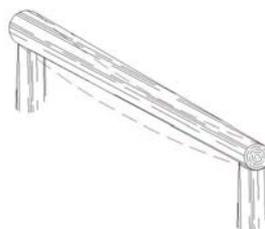


Figura 6.1: Representação dos elementos estruturais denominados vigas. Fonte: BRITO (2010).

Colunas: Elementos lineares de eixo reto, usualmente dispostos na vertical em que as forças normais de compressão são preponderantes (figura 6.2), podendo em alguns casos estar sujeito aos esforços de flexão.



Figura 6.2: Representação dos elementos estruturais denominados colunas. Fonte: BRITO (2010).

Tirantes: Elementos lineares de eixo reto, solicitados por forças normais de tração, figura 6.3.



Figura 6.3: Representação dos elementos estruturais denominados tirantes. Fonte: BRITO (2010).

6.1.1.2 Elementos estruturais de superfície (estruturas laminares)

Elementos estruturais de superfície são elementos em que a menor dimensão, usualmente chamada espessura é relativamente pequena em relação a demais (LEONHARDT e MÖNNIG, 1978). De acordo com sua função estrutural podem receber as seguintes designações:

Placas: Elementos de superfície plana, sujeitas principalmente às ações normais ao seu plano. Placas de concreto são usualmente denominadas lajes, figura 6.4.

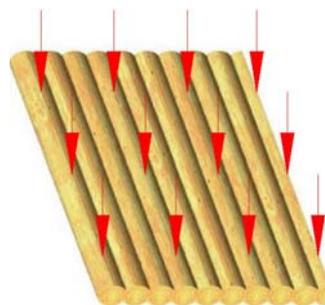


Figura 6.4: Representação dos elementos estruturais denominados placas. Fonte: BRITO (2010).

Chapas: Elementos de superfície plana sujeitas principalmente às ações contidas em seu plano, figura 6.5.

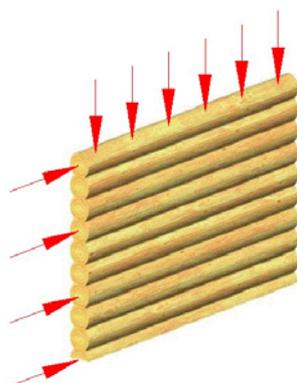


Figura 6.5: Representação dos elementos estruturais denominados chapas. Fonte: BRITO (2010).

6.1.1.3 Elementos estruturais de volume (estruturas volumétricas)

Elementos estruturais de volume são elementos que apresentam as três dimensões com a mesma ordem de grandeza. Nesse caso a análise a ser efetuada deve considerar esta condição tridimensional. Usualmente, são os elementos estruturais de fundações, como as sapatas e os blocos de concreto armado, figura 6.6.

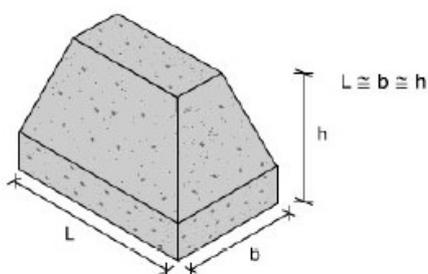


Figura 6.6: Representação dos elementos estruturais de volume.

As dimensões relativas das peças fazem com que os diferentes elementos estruturais tenham comportamentos diferentes. As barras geralmente podem ser estudadas com as resistências dos materiais. Já os elementos de superfície necessitam de outras teorias, como a teoria das placas, teoria das chapas, teoria das cascas. Todas as teorias citadas anteriormente são simplificações da teoria da elasticidade, que é necessária para o estudo de elementos tridimensionais.

6.2 CRITÉRIOS PARA O DIMENSIONAMENTO

Este item tem o objetivo de fornecer os critérios básicos para o dimensionamento de elementos estruturais, com peças roliças de madeira de reflorestamento.

6.2.1 Propriedades de Resistência e Rigidez

As propriedades de resistência e rigidez são influenciadas pela disposição dos elementos anatômicos responsáveis pela resistência mecânica, que são sobretudo as fibras, no caso das dicotiledôneas (folhosas) , e os traqueídes, no caso das coníferas (CALIL et al, 2003).

As principais propriedades da madeira a serem consideradas no dimensionamento de elementos estruturais são: densidade, resistência, rigidez ou módulo de elasticidade e umidade.

A densidade é utilizada na determinação do peso próprio da estrutura, e pode-se adotar o valor da densidade aparente.

A rigidez ou módulo de elasticidade da madeira determina o seu comportamento na fase elástico-linear. Conforme a NBR 7190:1997, Devem ser conhecidos os módulos nas direções, paralela (E_{C0}) e normal (E_{C90}) às fibras.

O percentual da umidade presente na madeira altera as propriedades de resistência e elasticidade. Por esta razão, essas propriedades devem ser ajustadas em função das condições ambientais onde permanecerão as estruturas. Este ajuste é feito em função das classes de umidade como apresentado na tabela 6.1.

Tabela 6.1: Classes de Umidade.

Classes de umidade	Umidade relativa do ambiente (U_{amb})	Umidade de equilíbrio da madeira (U_{eq})
1	$\leq 65 \%$	12 %
2	$65 \% < U_{amb} \leq 75 \%$	15 %
3	$75 \% < U_{amb} \leq 85 \%$	18 %
4	$U_{amb} > 85 \%$ durante longos períodos	$\geq 25 \%$

Fonte: NBR 7190:1997

Para valores de umidade superior a 20 % e temperaturas entre 10°C e 60°C admite-se como desprezível as variações nas propriedades da madeira.

A figura 6.7 apresenta o mapa de referência da umidade relativa anual do ar, dentro do território nacional.

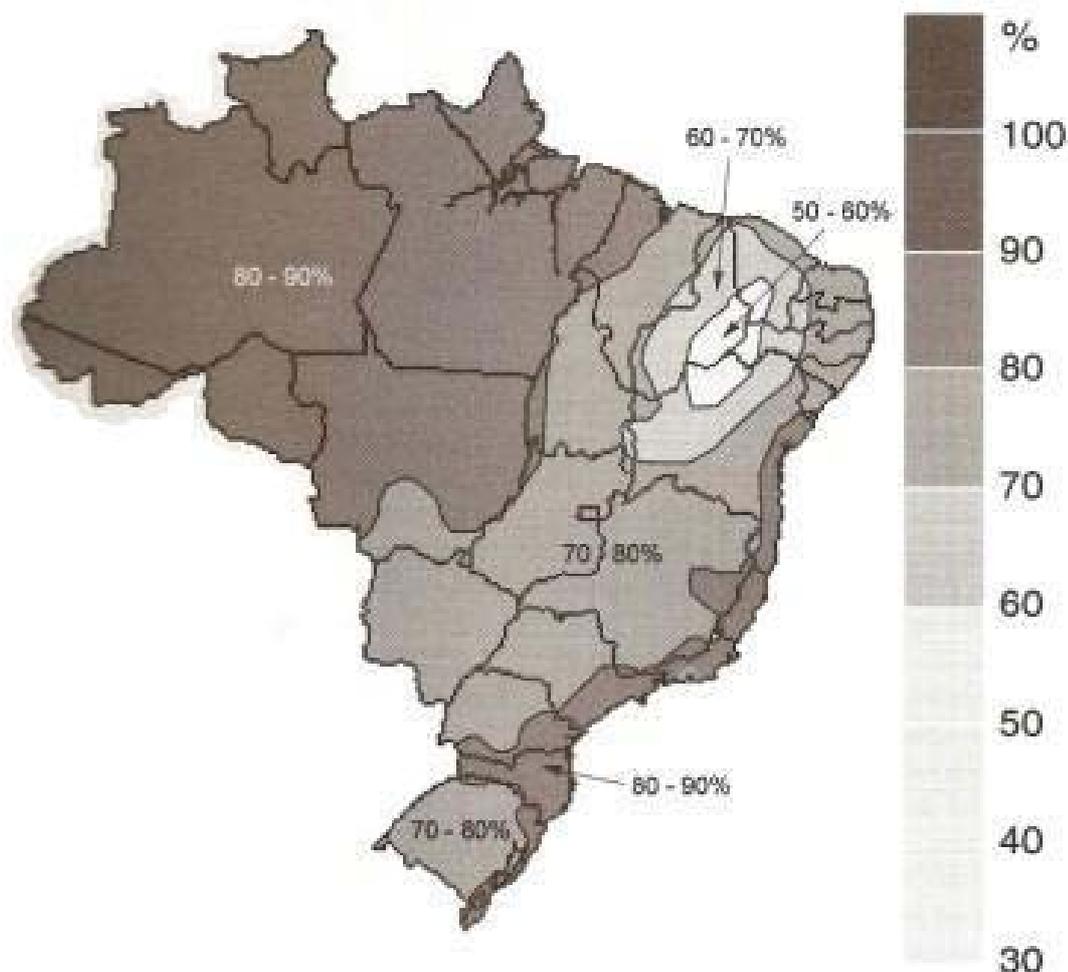


Figura 6.7: Mapa de umidade relativa anual do ar. Fonte: INMET 1931/1990

6.2.2 Propriedades a serem consideradas no Projeto Estrutural

Em projetos de estruturas de madeira, visando à padronização das propriedades da madeira, a NBR 7190:1997 adota o conceito de classes de resistência, propiciando, assim, a utilização de várias espécies com propriedades similares em um mesmo projeto. Para isto, o lote de madeira deve ter sido classificado e o revendedor deve apresentar certificados de laboratórios idôneos, que comprovem as propriedades do lote dentro de uma das classes de resistência. As tabelas 6.2 e 6.3, apresentam respectivamente as propriedades das classes de resistência estabelecidas pela NBR 7190:1997, para as coníferas e as dicotiledôneas, e já incorporando a classe C50 das dicotiledôneas, que será adicionada na nova versão da NBR7190, que está em fase de revisão.

Tabela 6.2: Classes de resistência das coníferas.

Coníferas					
(Valores na condição padrão de referência U = 12%)					
Classe	f_{cok} (MPa)	f_{vk} (MPa)	E_{co,m} (MPa)	ρ_{bas,m} (kg/m³)	ρ_{aparente} (kg/m³)
C 20	20	4	3500	400	500
C 25	25	5	8500	450	550
C 30	30	6	14500	500	600

Fonte: NBR 7190:1997

Tabela 6.3: Classes de resistência das dicotiledôneas.

Dicotiledôneas					
(Valores na condição padrão de referência U = 12%)					
Classe	f_{cok} (MPa)	f_{vk} (MPa)	E_{co,m} (MPa)	ρ_{bas,m} (kg/m³)	ρ_{aparente} (kg/m³)
C 20	20	4	9500	500	650
C 30	30	5	14500	650	800
C 40	40	6	19500	750	950
C 50 ¹⁾	50	7	22000	770	970
C 60	60	8	24500	800	1000

Fonte: ¹⁾ A Classe C50 está publicada em CALIL et al (2006), e será adicionada na nova versão da NBR 7190, que está em fase de revisão.

Conforme a NBR 7190:1997, a realização de ensaios de laboratório para a determinação das propriedades da madeira fornece, a partir da análise estatística dos resultados, valores médios dessas propriedades (X_m). Para a utilização destas propriedades em cálculos de estruturas de madeira, devem ser obtidos os valores característicos (X_k), e, posteriormente, os valores de cálculo (X_d). A obtenção de valores característicos para resistência de espécies de madeira já investigadas por laboratórios idôneos, é feita a partir dos valores médios dos ensaios pela seguinte relação: $X_{k,12} = 0,7 \cdot X_{m,12}$

Ainda conforme a NBR 7190:1997, caso seja feita uma investigação direta da resistência para uma dada espécie de madeira, os valores devem ser obtidos de acordo com o tipo de classificação adotado. Para a caracterização simplificada de espécies usuais deve-se extrair uma amostra composta por pelo menos 6 exemplares, retirados de modo aleatório do lote, que serão ensaiados à compressão paralela às fibras. Já para a caracterização mínima de espécies pouco conhecidas, de cada lote serão ensaiados no mínimo 12 corpos-de-prova, para cada uma das resistências a serem determinadas. Cada lote ensaiado não deve ter volume

superior a 12 m³ e todos os valores devem ser expressos para o teor de umidade padrão de 12%.

O valor característico da resistência deve ser estimado pela expressão:

$$X_k = \left(2 \cdot \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_{\frac{n}{2}-1}}{\frac{n}{2}-1} - X_{\frac{n}{2}} \right) \cdot 1,1$$

onde: n é o número de corpos de prova ensaiados.

Os resultados devem ser colocados em ordem crescente $X_1 \leq X_2 \leq \dots \leq X_n$, desprezando-se o valor mais alto se o número de corpos-de-prova for ímpar e, não se tomando para X_k valor inferior a X_1 e nem a 0,7 do valor médio.

A partir do valor característico determinado da madeira pode-se obter o seu valor de cálculo X_d , pela seguinte expressão:

$$X_d = K_{\text{mod}} \cdot \frac{X_k}{\gamma_w}$$

onde: γ_w = coeficiente de minoração das propriedades da madeira.

K_{mod} = coeficiente de modificação.

Os coeficientes de modificação (K_{mod}) afetam os valores de cálculo de propriedades da madeira em função da classe de carregamento da estrutura, da classe de umidade e da qualidade da madeira utilizada. O coeficiente de modificação é determinado pela expressão:

$$K_{\text{mod}} = K_{\text{mod},1} \cdot K_{\text{mod},2} \cdot K_{\text{mod},3}$$

O coeficiente de modificação $K_{\text{mod},1}$ leva em conta a classe de carregamento e o tipo de material empregado conforme apresentado na tabela 6.4.

Tabela 6.4: Valores de $K_{\text{mod},1}$.

Classes de carregamento	TIPOS DE MADEIRA	
	Madeira serrada	Madeira recomposta
	Madeira laminada colada	
	Madeira compensada	
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: NBR 7190:1997

O coeficiente de modificação $K_{mod,2}$ leva em conta a classe de umidade, que pode ser analisado conforme o mapa da figura 6.7 e o tipo de material empregado (tabela 6.5).

Tabela 6.5: Valores de $K_{mod,2}$.

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

Fonte: NBR 7190:1997

Caso a madeira seja utilizada submersa, deve-se adotar o seguinte valor para o coeficiente de modificação: $K_{mod,2} = 0,65$.

O coeficiente de modificação $K_{mod,3}$ leva em conta a categoria da madeira utilizada. Para madeira de primeira categoria, ou seja, aquela que passou por classificação visual para garantir a isenção de defeitos e por classificação mecânica para garantir a homogeneidade da rigidez, o valor de $K_{mod,3}$ é 1,0. Caso contrário, a madeira é considerada como de segunda categoria e o valor de $K_{mod,3}$ é 0,8.

Para as verificações de segurança que dependem da rigidez da madeira, o módulo de elasticidade na direção paralela às fibras deve ser tomado como:

$$E_{co,ef} = K_{mod,1} \cdot K_{mod,2} \cdot K_{mod,3} \cdot E_{co,m}$$

Para verificações de Estados Limites Últimos (ELU), a NBR 7190:1997 especifica os valores dos coeficientes de ponderação, de acordo com a solicitação:

- Compressão paralela às fibras: $\gamma_{wc} = 1,4$
- Tração paralela às fibras: $\gamma_{wt} = 1,8$
- Cisalhamento paralelo às fibras: $\gamma_{wv} = 1,8$

Para verificações de Estados Limites de Serviço (ELS), adota-se o valor básico de $\gamma_w = 1,0$.

Tendo em mãos os resultados dos ensaios de classificação e caracterização das peças de Madeira Roliça de algumas espécies de madeira de reflorestamento, ensaiados no LaMEM, foi possível montar uma tabela geral, apresentando os valores médios das propriedades de resistência e rigidez, para consulta durante a elaboração de projetos. Estes resultados estão disponíveis na tabela 6.6.

Tabela 6.6: Valores médios de resistência e rigidez de algumas Madeiras Roliças de Reflorestamento.

Espécie da MRR ¹⁾	L ²⁾ (m)	d _m ³⁾ (cm)	ρ _{12%} ⁴⁾ (kg/m ³)	f _{c0} ⁵⁾ (MPa)	f _v ⁶⁾ (MPa)	E _{c0} ⁷⁾ (MPa)	MOE ⁸⁾ (MPa)	MOR ⁹⁾ (MPa)	n ¹⁰⁾ n
Eucalipto Alba	-	7	768	50,46	-	17549	-	-	42
Eucalipto Alba	2,5	7,5	1022	-	-	-	13690	89	25
Eucalipto Citriodora	4,5	7	840	-	-	-	18620	-	66
Eucalipto Citriodora	6,01	26,4	1016	-	-	-	19116	107	25
Eucalipto Citriodora	11,4	34,3	1087	-	-	-	23487	-	23
Pinus Oocarpa	6,25	42	653	-	-	-	8151	46	12
E. Cloenziana SAF75x74 13anos	2,06	13	905	44,75	11,78	14130	24660	125	6
E. Camaldulensis SAF76 20anos	2,02	22,6	1153	46,82	15,48	16043	15820	85	6
E. Camaldulensis SAF97 11anos	2,01	23	660	34,08	8,4	15459	12310	81	6
E. Camaldulensis SAF99 4anos	2,01	19,8	583	33,53	11,04	16231	15270	83	6
E. Camaldulensis SAF2003 5anos	2,02	19,6	540	24,62	7,98	13522	10960	65	6
E. Camaldulensis SAF2004 4anos	2,06	13,3	500	27,62	7,66	12729	14460	70	6
E. Camaldulensis SAF2004 4anos	2,03	13,3	495	25,66	6,86	10731	13200	69	6

Fonte: Tabela elaborada por BRITO (2010), conforme ensaios realizados no LaMEM.

Onde:

- 1) Espécie da Madeira Roliça de Reflorestamento
- 2) L é o comprimento da peça roliça
- 3) d_m é o diâmetro médio das peças roliças de madeira com seção variável, calculado em função do comprimento da circunferência da tora em (L/2)
- 4) ρ_{12%} é a massa específica a 12% de umidade.
- 5) f_{c0} é a resistência à compressão paralela às fibras.
- 6) f_v é a resistência ao cisalhamento.
- 7) E_{c0} é o módulo de elasticidade longitudinal obtido no ensaio de compressão paralela às fibras.
- 8) MOE é o módulo de elasticidade longitudinal obtido no ensaio à flexão.
- 9) MOR é o módulo de resistência obtido no ensaio à flexão.
- 10) n é o número de corpos-de-prova ensaiados.

6.2.3 Critério de cálculo para o dimensionamento da seção da peça roliça

Conforme o item 7.2.8 da NBR 7190:1987, as peças de seção circular, sob ação de solicitações normais ou tangenciais, podem ser consideradas como se fossem de seção quadrada, de área equivalente. As peças de seção circular variável podem ser calculadas como se fossem de seção uniforme, igual à seção situada a uma distância da extremidade mais delgada igual a 1/3 do comprimento total, não se considerando, no entanto, um diâmetro superior a 1,5 vez o diâmetro nessa extremidade. Na figura 6.8 o d_{eq} representa o diâmetro equivalente de cálculo para peças de seção circular variável, situada a uma distância da extremidade mais delgada igual a um terço do comprimento total.

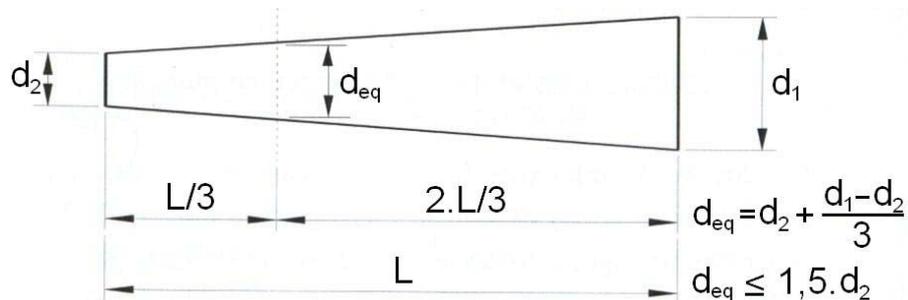


Figura 6.8: Diâmetro equivalente para peças de seção circular variável. Fonte: CALIL et al (2003).

Onde: d_{eq} corresponde ao diâmetro equivalente de cálculo

d_1 é o maior diâmetro (diâmetro da base)

d_2 é o menor diâmetro (diâmetro do topo)

L é o comprimento total da peça

6.2.4 Propriedades geométricas da seção transversal de peças roliças

O procedimento simplificado para a determinação de diâmetro aproximado de uma determinada seção transversal de peças roliças de madeira é sugerido da seguinte maneira:

Primeiro identifica-se a seção transversal correspondente ao diâmetro em que se quer saber. Cita-se como exemplo para a determinação do diâmetro equivalente (d_{eq}), igual à seção situada a uma distância da extremidade mais delgada igual a $1/3$ do comprimento total.

Com a utilização de uma fita métrica flexível, é medido o perímetro em torno da seção transversal correspondente ao diâmetro equivalente (d_{eq}) conforme a figura 6.9 e aplicar a equação 8.6:

$$d_{eq} = \frac{P}{\pi}$$

Onde: P é o perímetro em torno da seção transversal correspondente ao diâmetro equivalente (d_{eq})



Figura 6.9: Medida do perímetro externo com utilização de uma fita métrica flexível. Fonte: BRITO (2010).

Determinado o diâmetro equivalente (d_{eq}), pode-se calcular a área da seção transversal (A) pela equação da área da circunferência:

$$A = \frac{\pi \cdot (d_{eq})^2}{4}$$

Onde: A é a área da seção transversal
 d_{eq} corresponde ao diâmetro equivalente de cálculo

O Momento de Inércia da seção transversal da circunferência é calculado pela equação:

$$I = \frac{\pi \cdot (d_{eq})^4}{64}$$

Onde: I é o Momento de Inércia da seção transversal
 d_{eq} corresponde ao diâmetro equivalente de cálculo

O Raio de Giração da seção transversal da circunferência é calculado pela equação:

$$i_{mim} = \sqrt{\frac{I_{mim}}{A}} \Rightarrow i_{mim} = \sqrt{\frac{\pi \cdot (d_{eq})^4}{64} \cdot \frac{4}{\pi \cdot (d_{eq})^2}} \Rightarrow i = \frac{d_{eq}}{4} \Rightarrow i = 0,25 \cdot d_{eq}$$

O índice de esbeltez λ é calculado pela equação:

$$\lambda = \frac{L_0}{i_{mim}}$$

Onde: λ é o índice de esbeltez;

L_0 é o comprimento de flambagem da barra;

i_{mim} é O Raio de Giração da seção transversal da circunferência.

Para cada configuração das condições de contorno impostas nas extremidades das barras submetidas à compressão, apresenta um modo de flambagem diferente. Por esta razão, é fundamental que o comprimento L real da barra seja substituído pelo comprimento teórico de flambagem L_0 . Sendo assim, $L_0 = K_E \cdot L$, conforme as condições de contorno impostas nas extremidades das barras, tabela 6.7. A nova versão da NBR7190, que está em revisão, apresentará os valores de K_E da tabela 6.7, que foi adaptada do EUROCODE 5.

Tabela 6.7: Valores de projeto para K_E , correspondente a cada modo de flambagem, em função das condições de contorno impostas nas extremidades das barras submetidas à compressão.

Modos de flambagem						
Valores de projeto para K_E	0,65	0,80	1,20	1,00	2,10	2,40
Código das condições de extremidade		Rotação e translação impedidas				
		Rotação livre e translação impedida				
		Rotação impedida e translação livre				
		Rotação e translação livres				

Fonte: EUROCODE 5

Onde: L é o comprimento real da barra;

K_E é parâmetro de flambagem da barra em função das vinculações impostas nas extremidades.

O Módulo de Resistência da seção transversal da circunferência é calculado pela equação:

$$W = \frac{\pi \cdot (d_{eq})^3}{32}$$

Onde: W é o Módulo de Resistência da seção transversal da circunferência; d_{eq} corresponde ao diâmetro equivalente de cálculo.

Os valores da tabela 6.8 correspondem às propriedades geométricas da seção transversal para peças roliças de madeira, considerando as dimensões dos diâmetros equivalentes d_{eq} .

Tabela 6.8: Propriedades geométricas para peças roliças de madeira.

d_{eq} (cm)	i (cm)	A (cm ²)	I (cm ⁴)	W (cm ³)
8	2,0	50	201	50
10	2,5	79	491	98
12	3,0	113	1018	170
14	3,5	154	1886	269
15	3,8	177	2485	331
16	4,0	201	3217	402
18	4,5	254	5153	573
20	5,0	314	7854	785
22	5,5	380	11499	1045
24	6,0	452	16286	1357
25	6,3	491	19175	1534
26	6,5	531	22432	1726
28	7,0	616	30172	2155
30	7,5	707	39761	2651
32	8,0	804	51472	3217
34	8,5	908	65597	3859
35	8,8	962	73662	4209
36	9,0	1018	82448	4580
38	9,5	1134	102354	5387
40	10,0	1257	125664	6283
42	10,5	1385	152745	7274
44	11,0	1521	183985	8363
45	11,3	1590	201289	8946
46	11,5	1662	219787	9556
48	12,0	1810	260577	10857
50	12,5	1963	306797	12272
52	13,0	2124	358909	13804
54	13,5	2290	417394	15459
55	13,8	2376	449181	16334
56	14,0	2463	482751	17241
58	14,5	2642	555498	19155
60	15,0	2827	636174	21206

Fonte: BRITO (2010).

Onde:

d_{eq} corresponde ao diâmetro equivalente situado à $L/3$ da extremidade mais delgada da peça, desde que $d_{eq} \leq 1,5 \cdot d_2$;

i é o raio de giração para a seção circular em função de d_{eq} ;

A é a área correspondente da seção transversal circular d_{eq} ;

I é o Momento de Inércia correspondente da seção transversal circular d_{eq} ;

W é o Módulo de Resistência correspondente da seção transversal circular d_{eq} .

Um breve estudo comparativo do momento de inércia teórico das seções de vigas circulares simples e compostas é apresentado por MATTHIESEN (1987), conforme mostrados na figura 6.10.

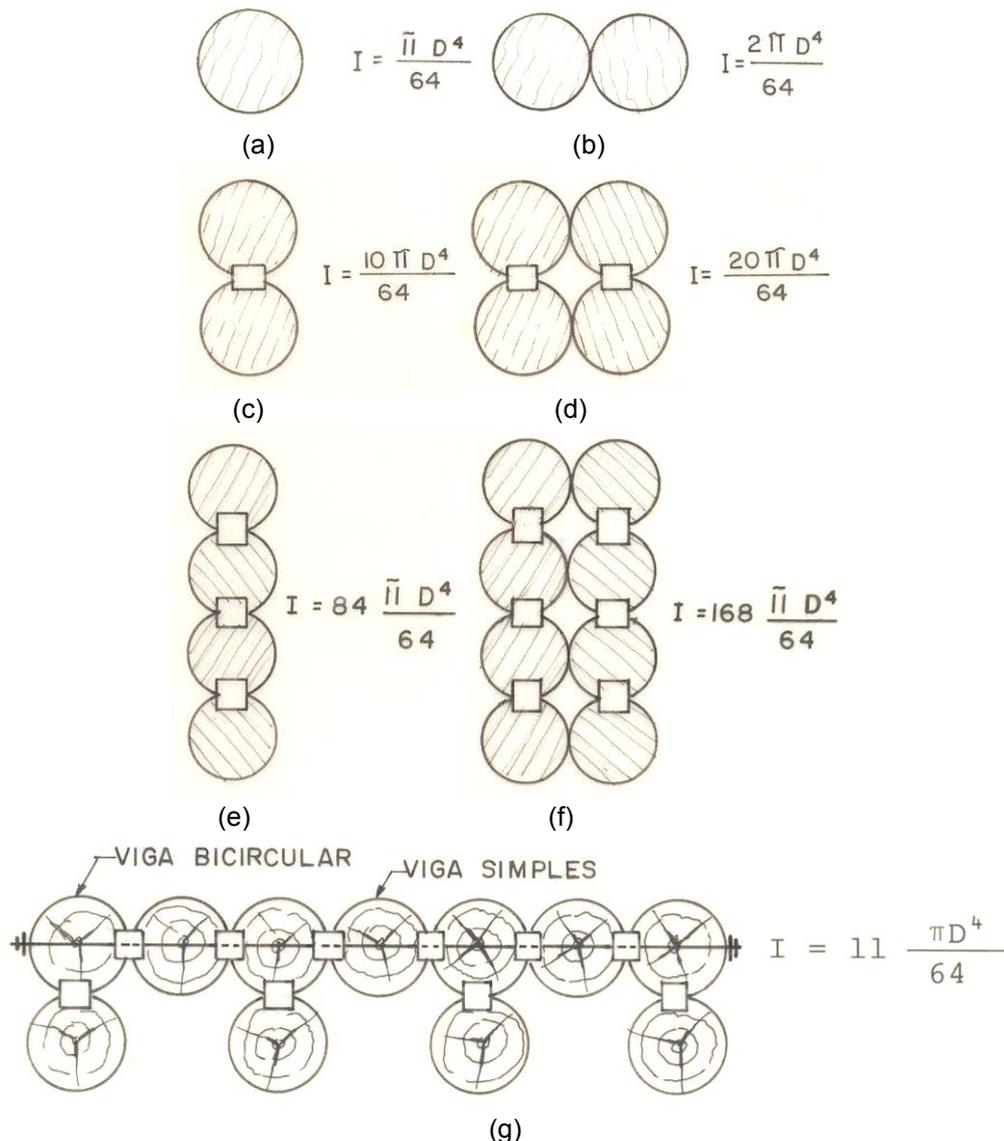


Figura 6.10: Estudo comparativo do momento de inércia teórico das seções de vigas circulares simples e compostas: (a) viga de seção circular simples; (b) viga de seção bicircular com peças dispostas na horizontal; (c) viga de seção bicircular com peças dispostas na vertical; (d) viga de seção bicircular dupla; (e) viga de seção quadricircular; (f) viga de seção quadricircular dupla; (g) momento de inércia teórico da seção nervurada. Fonte: MATTHIESEN (1987).

Ensaio realizados no LaMEM, com as seções compostas da figura 6.10, mostraram um valor real da inércia, muito menor que os valores teóricos e não são recomendados para os casos das figuras 6.10(e) e 6.10(f) em composições de 4 peças roliças dispostas na vertical.

6.2.5 Limites de Esbeltez para peças de madeira

Para elementos estruturais comprimidos, o comprimento máximo não pode ultrapassar quarenta vezes a dimensão transversal correspondente ao eixo de flambagem. No caso de elementos tracionados, este Limite sobe para cinquenta vezes NBR 7190:1997.

Há interesse na fixação de limites superiores do índice de esbeltez, para se evitar estruturas muito flexíveis. A NBR 7190:1997, fixa o valor de esbeltez máxima em $\lambda \leq 140$.

Do ponto de vista de resistência, o índice de esbeltez determina três tipos distintos de dimensionamento de peças, para os quais a NBR 7190:1997 atribui os seguintes limites:

- compressão de peças curtas $0 < \lambda \leq 40$
- compressão de peças medianamente esbeltas $40 < \lambda \leq 80$
- compressão de peças esbeltas $80 < \lambda \leq 140$

6.2.6 Peças submetidas à flexão

As vigas estão sujeitas a tensões normais de tração e compressão longitudinais e portanto na direção paralela às fibras; nas regiões de aplicação de carga, como por exemplo nos apoios, estão submetidas a tensões de compressão normal às fibras. Além disso atuam tensões de cisalhamento na direção normal às fibras (tensões verticais na seção) e na direção paralela às fibras (tensões horizontais). As vigas principais de pavimentos de edificações ou tabuleiro de pontes podem ser simplesmente apoiadas ou contínuas.

Para o dimensionamento de peças de madeira, submetidas à flexão são utilizados dois critérios básicos:

- limitação das tensões;
- limitação de deslocamentos.

As limitações de deformações têm, em obras de madeira, importância relativamente maior que em outros materiais. Isto porque se trata de um material com alta relação resistência/rigidez.

Pela limitação de tensões, que caracteriza o Estado Limite Último (ELU), o problema de verificação de tensões, em obras de madeira, é formulado com a teoria clássica de resistência dos materiais, muito embora o material não siga a lei linear (Lei de Hooke) de tensões até a ruptura. A condição de segurança relativa à possível ELU é garantida pela condição:

$$S_d \leq R_d$$

Onde:

S_d é o valor de cálculo da sollicitação;

R_d é o valor de cálculo da resistência.

Em peças compostas, leva-se em conta as deformações das ligações através de valores reduzidos dos momentos de inércia ou dos momentos resistentes.

Pela limitação de deslocamentos, que caracteriza o Estado Limite de Serviço (ELS), as limitações de flechas das vigas visam a atender a requisitos estéticos, evitar danos a componentes acessórios e ainda visam ao conforto dos usuários (evitar vibrações exageradas no caso de pavimentos de edificações ou tabuleiro de pontes).

Os valores limites de deslocamentos de peças de madeira, submetidas à flexão, indicados pela NBR 7190:1997, encontram-se na tabela 6.9 e levam em conta a existência ou não de materiais frágeis ligados à estrutura, tais como forros, pisos e divisórias, aos quais se pretende evitar danos através de controle de deslocamentos das vigas.

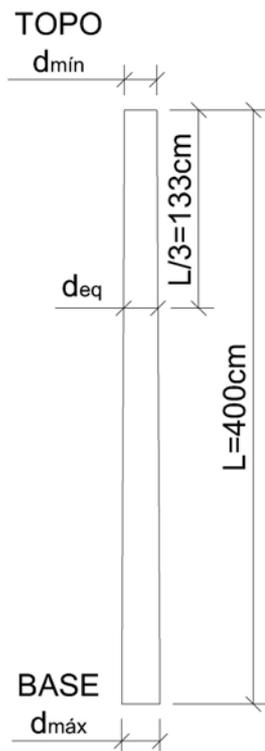
Tabela 6.9: Valores limites de deslocamentos verticais segundo a norma NBR 7190.

Tipo	Consideração das Ações	Limites de Deslocamentos (u_{Lim})
Construções correntes	permanentes + variáveis em combinação de longa duração	1/200 dos vãos
		1/100 do comp. dos balanços
Construções com materiais frágeis ligados às estrutura, como forros, pisos e divisórias	permanentes + variáveis em combinação de média ou curta duração	1/350 dos vãos
		1/175 do comp. dos balanços
	variáveis em combinação de média ou curta duração	1/300 dos vãos 1/150 do comp. dos balanços
		15 mm

6.3 EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

6.3.1 Exemplo de peça roliça solicitada por compressão axial

Crerios de dimensionamento de uma coluna solicitada sob força normal à compressão axial, utilizando peça roliça de madeira de reflorestamento, com diâmetro variável, figura 6.11.



Dados:

Vinculação da coluna:

Coluna engastada na base e livre no topo.
(vinculação para coluna típica de galpões)

Conforme a NBR 7190:1997:

$$L = 400 \text{ cm} \quad \therefore L_0 = 2 \times L \Rightarrow L_0 = 800 \text{ cm}$$

Coluna com diâmetro equivalente: $d_{eq} = 20 \text{ cm}$

Força Normal de cálculo: $N_d = 15 \text{ kN}$

Classe de serviço (situação de risco de deterioração):
Umidade 1

Classe de resistência adotada (Dicotiledônea):
C40 $\Rightarrow f_{c0,k} = 40 \text{ MPa} \Rightarrow f_{c0,k} = 4 \text{ kN/cm}^2$

Madeira não Classificada: Segunda categoria

Carregamento de longa duração.

Figura 6.11: Geometria da Coluna

Fonte: BRITO (2010).

Solução:

Com o diâmetro equivalente (d_{eq}), calcula-se a área da seção transversal (A) pela equação da área da circunferência:

$$A = \frac{\pi \cdot (d_{eq})^2}{4} \Rightarrow A = \frac{\pi \cdot (20)^2}{4} \Rightarrow A \cong 314 \text{ cm}^2 \text{ (ou direto da tabela 6.8)}$$

Cálculo do Momento de Inércia da seção transversal da circunferência pela equação:

$$I = \frac{\pi \cdot (d_{eq})^4}{64} \Rightarrow I = \frac{\pi \cdot (20)^4}{64} \Rightarrow I \cong 7854 \text{ cm}^4 \text{ (ou direto da tabela 6.8)}$$

O Raio de Giração da seção transversal da circunferência é calculado pela equação:

$$i = \frac{d_{eq}}{4} \Rightarrow i = \frac{20}{4} \Rightarrow i = 5 \text{ cm (ou direto da tabela 6.8)}$$

O cálculo do comprimento de flambagem λ é calculado pela equação:

$$\lambda = \frac{L_0}{i_{\text{mim}}} \Rightarrow \lambda = \frac{800}{5} \Rightarrow \lambda = 160$$

Portanto a coluna não passa na verificação de esbeltez, pois conforme o item 7.5.5 da NBR 7190:1997, não se admite calculo de compressão de peças esbeltas com índice de esbeltez (λ) maior que 140.

No entanto, como solução do problema deste elemento estrutural, dois procedimentos podem ser tomados: aumentar o diâmetro equivalente ou travar o topo da coluna com vigas de respaldo.

Para o primeiro caso, supondo aumentar o diâmetro equivalente, no processo de cálculo, deve-se determinar qual o diâmetro mínimo limitando o índice de esbeltez em 140, conforme o seguinte procedimento:

$$\lambda = \frac{L_0}{i_{\text{mim}}} \Rightarrow 140 = \frac{800}{i_{\text{mim}}} \Rightarrow i_{\text{mim}} = \frac{800}{140} \Rightarrow i_{\text{mim}} = 5,714\text{cm}$$

Com o valor do raio de giração mínimo, determina-se então o mínimo diâmetro equivalente:

$$i_{\text{mim}} = \sqrt{\frac{I_{\text{mim}}}{A}} \Rightarrow 5,714 = \sqrt{\frac{\pi \cdot (d_{\text{eq}})^4}{64} \cdot \frac{4}{\pi \cdot (d_{\text{eq}})^2}} \Rightarrow 5,714 = \frac{d_{\text{eq}}}{4} \Rightarrow d_{\text{eq}} \cong 23\text{cm}$$

Tendo um novo diâmetro equivalente, calcula-se o novo momento de inércia:

$$I = \frac{\pi \cdot (d_{\text{eq}})^4}{64} \Rightarrow I = \frac{\pi \cdot (23)^4}{64} \Rightarrow I \cong 13737\text{cm}^4$$

Calcula-se então a nova área da seção transversal circular, com o novo diâmetro equivalente de 23 cm:

$$A = \frac{\pi \cdot (d_{\text{eq}})^2}{4} \Rightarrow A = \frac{\pi \cdot (23)^2}{4} \Rightarrow A \cong 415\text{cm}^2$$

Considerando então, esta nova configuração da coluna, com diâmetro equivalente de 23cm, e vinculações mantendo a base engastada e o topo livre, tem-se o novo comprimento de flambagem:

$$\lambda = \frac{L_0}{i_{\text{mim}}} \Rightarrow \lambda = \frac{800}{5,714} \Rightarrow \lambda = 140 \therefore \text{Peça Esbelta}$$

Portanto, ainda conforme o item 7.5.5 da NBR7190:1997, peças submetidas a esforços de compressão, com índice de esbeltez entre os limites no domínio $80 < \lambda \leq 140$, são consideradas peças esbeltas. Neste domínio, admite-se na situação de projeto como se a peça esteja submetida à flexo-compressão com os esforços de cálculo N_d e M_{1d} e a verificação deve ser feita pela expressão:

$$\frac{\sigma_{Nd}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Md}}{f_{c0,d}} \leq 1$$

A resistência de cálculo à compressão paralela as fibras da madeira roliça é determinada através da equação:

$$f_{c0,d} = \frac{f_{c0,k}}{\gamma_w} \cdot k_{mod}$$

Os coeficientes de modificação k_{mod} afetam os valores de cálculo de propriedades da madeira em função da classe de carregamento da estrutura, da classe de umidade e da qualidade da madeira utilizada. O coeficiente de modificação se subdivide em três coeficientes:

$$k_{mod} = k_{mod1} \cdot k_{mod2} \cdot k_{mod3}$$

O coeficiente de modificação k_{mod1} leva em conta a classe de carregamento e o tipo de material empregado, conforme descrito na Tabela 10 da NBR7190:1997.

A umidade presente na madeira pode alterar suas propriedades de resistência e elasticidade. Por este motivo, estas propriedades devem ser ajustadas de acordo com as condições ambientais em que as estruturas permanecerão. Este ajuste é feito segundo as classes de umidade como apresentado na Tabela 7 da NBR7190:1997.

O coeficiente de modificação k_{mod2} , que leva em conta a classe de umidade e o tipo de material empregado, é dado pela Tabela 11 da NBR7190:1997.

O coeficiente de modificação k_{mod3} leva em conta a categoria da madeira utilizada. Para madeira de primeira categoria, ou seja, aquela que passou por classificação visual para garantir a isenção de defeitos e por classificação mecânica para garantir a homogeneidade da rigidez, o valor de k_{mod3} é 1,0. Caso contrário, a madeira é considerada de segunda categoria e o valor de k_{mod3} é 0,8. No caso particular das

coníferas, deve-se sempre adotar o valor de 0,8, para levar em conta a presença de nós não detectáveis pela inspeção visual.

Portanto para o exemplo em questão, o valor de k_{mod} fica:

Para carregamento de longa duração, $k_{\text{mod}1}$ é 0,7.

Considerando a umidade relativa pontual, ou seja, no local onde a peça será instalada, como classe de umidade 1, o valor de $k_{\text{mod}2}$ é 1.

E considerando que as peças de madeira roliça não serão classificadas, portanto o valor de $k_{\text{mod}3}$ é 0,8.

$$k_{\text{mod}} = k_{\text{mod}1} \cdot k_{\text{mod}2} \cdot k_{\text{mod}3}$$

$$k_{\text{mod}} = 0,7 \cdot 1 \cdot 0,8$$

$$k_{\text{mod}} = 0,56$$

Desta forma, a resistência de cálculo à compressão paralela as fibras da peça roliça de madeira é:

$$f_{c0,d} = \frac{f_{c0,k}}{\gamma_w} \cdot k_{\text{mod}} \Rightarrow f_{c0,d} = \frac{4}{1,4} \cdot 0,56 \Rightarrow f_{c0,d} = 1,6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Determinação do valor de cálculo da tensão de compressão devida à força normal de compressão:

$$\sigma_{N_d} = \frac{N_d}{A} \Rightarrow \sigma_{N_d} = \frac{15}{415} \cong 0,04 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Determinação do valor de cálculo da tensão de compressão devida ao momento fletor M_d calculado conforme o item da NBR7190:1997, pela expressão:

$$M_d = N_d \cdot e_{1,ef} \cdot \left(\frac{F_E}{F_E - N_d} \right)$$

Tendo F_E o valor dado em 7.5.4 conforme a mesma norma, sendo a excentricidade efetiva de primeira ordem $e_{1,ef}$ dada por:

$$e_{1,ef} = e_1 + e_c \Rightarrow e_{1,ef} = e_i + e_a + e_c$$

Onde e_i é a excentricidade de primeira ordem decorrente da situação de projeto, e_a é a excentricidade acidental mínima e e_c é uma excentricidade suplementar de primeira ordem que representa a fluência da madeira.

Como para este exemplo, a coluna está solicitada apenas por compressão axial, ou seja, sem solicitação de momento fletor, nesse caso e_i pode ser desprezível.

$$e_1 = e_i + e_a \Rightarrow e_1 = 0 + \frac{L_0}{300} \Rightarrow e_1 = \frac{23}{30} + \frac{800}{300} \Rightarrow e_1 \cong 2,7 \text{cm}$$

Com a classe de resistência adotada C40, verificando na Tabela 9 da NBR7190:1997, classes de resistência das dicotiledôneas, com os valores na condição-padrão de referência $U = 12\%$, admite-se o valor representativo para $E_{c0,m}$ igual a 1950kN/cm^2 , correspondente com a classe de resistência adotada.

$$E_{c0,ef} = k_{mod1} \cdot k_{mod2} \cdot k_{mod3} \cdot E_{c0,m} \Rightarrow E_{c0,ef} = 07,1 \cdot 0,8 \cdot 1950 \Rightarrow E_{c0,ef} = 1092 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Determinação da Força de Euler, que leva em consideração a perda de estabilidade:

$$F_E = \frac{\pi^2 \cdot E_{c0,ef} \cdot I}{L_0^2} \Rightarrow F_E = \frac{\pi^2 \cdot 1092 \cdot 13737}{800^2} \Rightarrow F_E \cong 231\text{kN}$$

$$e_d = e_1 \cdot \left(\frac{F_E}{F_E - N_d} \right) \Rightarrow e_d = 2,7 \cdot \left(\frac{231}{231 - 15} \right) \Rightarrow e_d \cong 2,89\text{cm}$$

$$\frac{N_d}{A} = \frac{15}{415} \cong 0,04 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

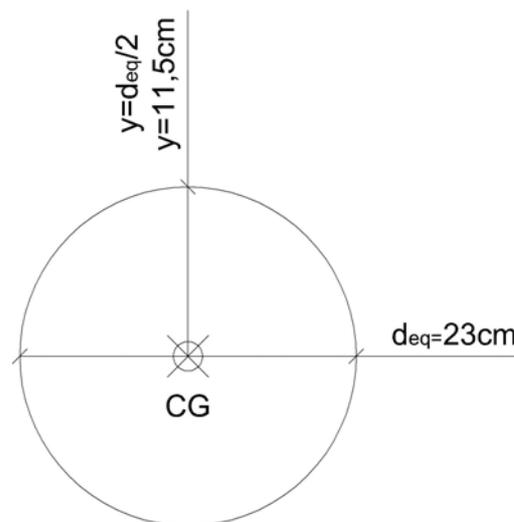


Figura 6.12: Seção transversal do diâmetro equivalente $d_{eq}=23\text{cm}$: Posição $y=11,5\text{cm}$.

$$\frac{N_d \cdot e_d \cdot y}{I} = \frac{15 \cdot 2,89 \cdot 11,5}{13737} \cong 0,04 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\frac{N_d}{A} + \frac{N_d \cdot e_d \cdot y}{I} \leq f_{c0,d} \Rightarrow 0,04 + 0,04 \leq f_{c0,d} \Rightarrow 0,08 \lll 1,6 \therefore \text{Muito a favor da segurança.}$$

A coluna adotada com diâmetro equivalente de 20cm não passou no limite de esbeltez sugerido pela norma NBR7190. No entanto, considerando o novo diâmetro equivalente de 23cm , na verificação da tensão a seção transversal de 23cm está muito a favor da segurança. Portanto, neste sentido, o dimensionamento considerando a coluna engastada na base e livre no topo e utilizando o novo

diâmetro equivalente de 23cm para atender o limite de esbeltez da NBR7190, está muito conservador.

Desta forma sugere-se então a verificação como solução do problema deste elemento estrutural, utilizando o segundo procedimento, travando o topo da coluna com vigas de respaldo. Sendo assim considera-se que o comprimento L (real) da altura da coluna, corresponde com o comprimento de flambagem L_0 .

Consideração da nova configuração das vinculações nas extremidades da coluna, coluna engastada na base e articulada no topo.

$$L = L_0 = 400 \text{ cm}$$

No processo de cálculo para este caso, também se deve determinar qual o diâmetro mínimo limitando o índice de esbeltez em 140, considerando agora o comprimento de flambagem da coluna igual a 400cm, conforme o seguinte procedimento:

$$\lambda = \frac{L_0}{i_{\text{mim}}} \Rightarrow 140 = \frac{400}{i_{\text{mim}}} \Rightarrow i_{\text{mim}} = \frac{400}{140} \Rightarrow i_{\text{mim}} = 2,857 \text{ cm}$$

Com o valor do raio de giração mínimo, determina-se então o mínimo diâmetro equivalente :

$$i_{\text{mim}} = \sqrt{\frac{I_{\text{mim}}}{A}} \Rightarrow 2,857 = \sqrt{\frac{\pi \cdot (d_{\text{eq}})^4}{64} \cdot \frac{4}{\pi \cdot (d_{\text{eq}})^2}} \Rightarrow 2,857 = \frac{d_{\text{eq}}}{4} \Rightarrow d_{\text{eq}} \cong 12 \text{ cm}$$

Desta maneira, tendo um novo diâmetro equivalente, calcula-se o novo momento de inércia:

$$I = \frac{\pi \cdot (d_{\text{eq}})^4}{64} \Rightarrow I = \frac{\pi \cdot (12)^4}{64} \Rightarrow I \cong 1018 \text{ cm}^4$$

Observa-se então que como o diâmetro equivalente é oriundo de uma função exponencial para determinação do momento de inércia da seção circular, com uma redução significativa no diâmetro equivalente, de 20cm para 12cm, o momento de inércia diminui significativamente.

Calcula-se então a nova área da seção transversal circular, com o novo diâmetro equivalente de 12cm:

$$A = \frac{\pi \cdot (d_{\text{eq}})^2}{4} \Rightarrow A = \frac{\pi \cdot (12)^2}{4} \Rightarrow A \cong 113 \text{ cm}^2$$

Como para determinar a área da seção transversal circular, o diâmetro equivalente também é uma função exponencial, a área da seção transversal do novo diâmetro equivalente de 12cm é bem inferior a do diâmetro equivalente proposto inicialmente de 20cm.

Considerando então, esta nova configuração da coluna, com diâmetro equivalente de 12cm, e mudando as vinculações na base engastada e no topo articulado, tem-se o novo índice de esbeltez:

$$\lambda = \frac{L_0}{i_{\min}} \Rightarrow \lambda = \frac{400}{2,857} \Rightarrow \lambda = 140 \therefore \text{Peça Esbelta}$$

Como já comentado anteriormente, conforme o item 7.5.5 da NBR7190:1997, peças submetidas a esforços de compressão, com índice de esbeltez entre os limites no domínio $80 < \lambda \leq 140$, são consideradas peças esbeltas. Neste domínio, admite-se na situação de projeto como se a peça esteja submetida à flexo-compressão com os esforços de cálculo N_d e M_{1d} e a verificação deve ser feita pela expressão:

$$\frac{\sigma_{Nd}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Md}}{f_{c0,d}} \leq 1$$

Determinação da Força de Euler, que leva em consideração a perda de estabilidade, com a nova configuração nas vinculações da coluna:

$$F_E = \frac{\pi^2 \cdot E_{c0,ef} \cdot I}{L_0^2} \Rightarrow F_E = \frac{\pi^2 \cdot 1092 \cdot 1018}{400^2} \Rightarrow F_E \cong 69 \text{ kN}$$

Cálculo do novo e_1 :

$$e_1 = e_i + e_a \Rightarrow e_1 = 0 + \frac{L_0}{300} \Rightarrow e_1 = \frac{400}{300} \Rightarrow e_1 \cong 1,33 \text{ cm}$$

Cálculo do novo e_d :

$$e_d = e_1 \cdot \left(\frac{F_E}{F_E - N_d} \right) \Rightarrow e_d = 1,33 \cdot \left(\frac{69}{69 - 15} \right) \Rightarrow e_d \cong 1,7 \text{ cm}$$

$$\frac{N_d}{A} = \frac{15}{113} \cong 0,13 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

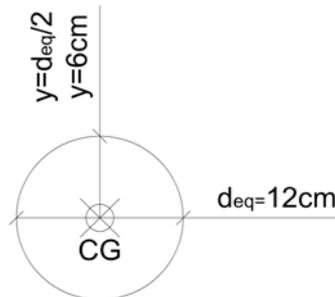


Figura 6.13: Seção transversal do diâmetro equivalente $d_{eq}=12\text{cm}$: Posição $y=6\text{cm}$.

$$\frac{N_d \cdot e_d \cdot y}{I} = \frac{15 \cdot 1,7 \cdot 6}{1092} \cong 0,14 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\frac{N_d}{A} + \frac{N_d \cdot e_d \cdot y}{I} \leq f_{c0,d} \Rightarrow 0,13 + 0,14 \leq f_{c0,d} \Rightarrow 0,27 < 1,6 \therefore \text{Ok, passou com folga!}$$

Portanto considerando a coluna engastada na base e articulada no topo, travando o topo da coluna com vigas de respaldo, melhora bem o comportamento da estrutura, pois reduz significativamente o comprimento de flambagem, e conseqüentemente diminui o diâmetro equivalente da peça que passa a ser 12cm.

Observação: Recomenda-se para cada caso de projeto, a necessidade de fazer uma análise do quantitativo de material a mais, que utilizará para as vigas de respaldo, e comparar com a diminuição do diâmetro das peças das colunas, e verificar qual dos dois procedimentos ficará mais viável, ou seja, se é melhor manter a coluna engastada na base e livre no topo, porém aumentando o diâmetro das colunas ou se passar a adotar o segundo procedimento considerando as colunas engastadas na base e articuladas no topo utilizando como travamento vigas de respaldo.

6.3.2 Exemplo de uma terça de madeira roliça de seção variável

Verificar se a terça com peça de madeira roliça de seção variável conforme figura 6.14, disposta em um telhado com inclinação de 22° , com madeira da classe C60, segunda categoria, classe de umidade 2, atende os requisitos de Estado Limite Último (ELU) referentes às tensões normal e às tensões tangenciais, e ao Estado Limite de Serviço (ELS). Considerar o carregamento composto pela ação permanente de $0,5 \text{ kN/m}$ e pela ação variável 1 kN relativa à previsão de um homem fazendo manutenção do telhado, conforme a figura 6.15.

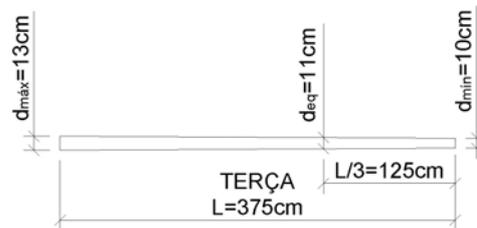


Figura 6.14: Detalhe da terça com peça de madeira roliça de seção variável. Fonte: BRITO (2010).

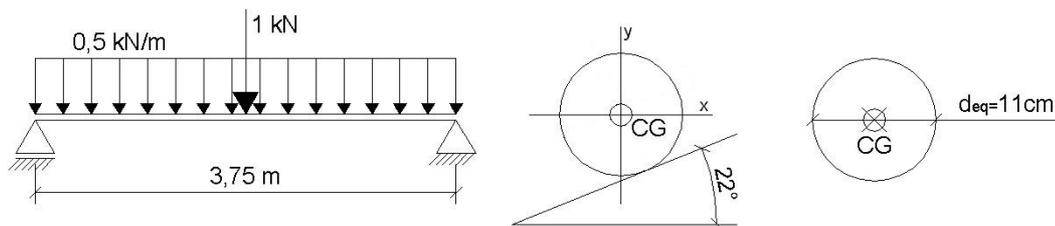


Figura 6.15: Esquema estático e de carregamento da terça com madeira roliça variável.

Fonte: BRITO (2010).

Solução:

Verificação do Estado Limite Último (ELU)

Esforços atuantes:

$$M_{g,k} = \frac{q \cdot L^2}{8} \Rightarrow M_{g,k} = \frac{0,5 \cdot 3,75^2}{8} \Rightarrow M_{g,k} = 0,88 \text{ kN} \cdot \text{m} \Rightarrow M_{g,k} = 88 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

Força de 1kN no meio do vão:

$$M_{q,k} = \frac{P \cdot L}{4} \Rightarrow M_{q,k} = \frac{1 \cdot 3,75}{4} \Rightarrow M_{q,k} = 0,94 \text{ kN} \cdot \text{m} \Rightarrow M_{q,k} = 94 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

$$V_{g,k} = \frac{q \cdot L}{2} \Rightarrow V_{g,k} = \frac{0,5 \cdot 3,75}{2} \Rightarrow V_{g,k} = 0,94 \text{ kN}$$

$$V_{q,k} = 1 \text{ kN (Força de 1kN muito próxima ao apoio)}$$

Como para o dimensionamento das peças roliças de madeira, considera-se uma equivalência à seção circular, nestes casos não se tem flexão oblíqua, considerando as verificações apenas com os critérios de flexão simples.

Valores de cálculos dos esforços solicitantes, segundo a direção dos eixos principais da seção:

$$M_{x,d} = 1,4 \cdot 88 + 1,4 \cdot 94 \Rightarrow M_{x,d} = 254,80 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

$$V_{y,d} = 1,4 \cdot 0,94 + 1,4 \cdot 1 \Rightarrow V_{y,d} = 2,72 \text{ kN}$$

Cálculo do K_{mod} :

$$k_{\text{mod}} = k_{\text{mod},1} \cdot k_{\text{mod},2} \cdot k_{\text{mod},3} \Rightarrow k_{\text{mod}} = 0,7 \cdot 1 \cdot 0,8 \Rightarrow k_{\text{mod}} = 0,56$$

Valores de resistência:

$$f_{c0,d} = k_{\text{mod},1} \cdot k_{\text{mod},2} \cdot k_{\text{mod},3} \cdot \frac{f_{c0,k}}{\gamma_w} \Rightarrow f_{c0,d} = 0,7 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot \frac{60}{1,4} \Rightarrow f_{c0,d} = 24 \text{ MPa} \Rightarrow f_{c0,d} = 2,4 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$f_{v0,d} = k_{\text{mod},1} \cdot k_{\text{mod},2} \cdot k_{\text{mod},3} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_w} \Rightarrow f_{v0,d} = 0,7 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot \frac{8}{1,8} \Rightarrow f_{v0,d} = 2,5 \text{ MPa} \Rightarrow f_{v0,d} = 0,25 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

A seção transversal referente ao diâmetro equivalente $d_{\text{eq}}=11$ cm, que possui as seguintes características geométricas:

b) Propriedades geométricas das seções

Área da seção circular:

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot (11)^2}{4} = 95 \text{ cm}^2$$

Módulo resistente da seção circular:

$$w = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{\pi \cdot (11)^3}{32} = 131 \text{ cm}^3$$

Momento de inércia da seção circular:

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot (11)^4}{64} = 719 \text{ cm}^4$$

Momento estático do semicírculo em relação ao diâmetro:

$$S = \frac{d^3}{12} = \frac{(11)^3}{12} = 111 \text{cm}^3$$

Condições de segurança:

Tensões normais:

$$\frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{c0,d}} = \frac{254,80}{2,4} = 0,81 \leq 1 \text{ (Ok)}$$

Tensões tangenciais:

Tensão cisalhante de projeto no centro de gravidade da seção:

$$\tau_{y,d} = \frac{V_d \cdot S}{b \cdot I} = \frac{2,72 \cdot 111}{11 \cdot 719} = 0,038 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < f_{v0,d} = 0,25 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \text{ (Ok)}$$

Verificação do Estado Limite de Serviço (ELS)

Neste caso, será admitida a atuação apenas da ação permanente, com o seu valor característico ($g = 0,5 \text{ kN/m}$). Como o material da cobertura não é frágil, isto é, a deformação da terça não afeta a sua integridade, utiliza-se a combinação de longa duração para a verificação do estado-limite de serviço. A ação variável de 1 kN , que atua somente poucas vezes durante a vida útil da terça, não está sendo considerada para o cálculo da flecha.

$$E_{c0,ef} = k_{mod,1} \cdot k_{mod,2} \cdot k_{mod,3} \cdot E_{c0,m}$$

$$E_{c0,ef} = 0,7 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 24500 \Rightarrow E_{c0,ef} = 13720 \text{MPa} \Rightarrow E_{c0,ef} = 1372 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

A verificação do deslocamento vertical deve ser feita, segundo a direção do eixo do plano principal de flexão, obtendo-se:

$$u_{lim} = \frac{L}{200} \Rightarrow u_{lim} = \frac{375}{200} \Rightarrow u_{lim} = 1,88 \text{cm}$$

$$u_y = \frac{5 \cdot g_y \cdot L^4}{384 \cdot E_{c0,ef} \cdot I_x} \Rightarrow u_y = \frac{5 \cdot 0,005 \cdot 375^4}{384 \cdot 1372 \cdot 719} \Rightarrow u_y = 1,31 < u_{lim} \text{ (Ok)}$$

Portanto, a peça de madeira roliça, utilizada como terça, com as propriedades, dimensões e carregamentos propostos, atende os requisitos das verificações de Estado Limite Último (ELU) e de Estado Limite de Serviço (ELS).

7 DIRETRIZES PARA PROJETO

Nesse capítulo são indicadas as diretrizes para o projeto e dimensionamento de estruturas com peças roliças de madeira, apresentados em exemplos de pré-dimensionamentos de pontes e de galpão tipo pórtico.

As informações a seguir, têm o objetivo de ajudar o engenheiro projetista de estruturas, indicando as configurações geométricas e especificações na modelagem de sistemas estruturais de pontes e edificações, especificando os passos para o dimensionamento de cada sistema estrutural. O engenheiro projetista pode utilizar estes modelos, durante a fase preliminar de dimensionamento para determinar o sistema estrutural mais adequado para a sua situação.

Para obter maiores informações sobre as diretrizes para projeto e critérios de dimensionamento, recomenda-se que os profissionais envolvidos projetistas, engenheiros, arquitetos, consultem as normas técnicas da ABNT relacionadas de acordo com cada tipo de projeto:

- NBR 6120:1980 “Cargas para o cálculo de estruturas de edificações”;
- NBR 6123:1988 “Forças devidas ao vento em edificações”;
- NBR 6231:1980 “Postes de Madeira - Resistência à Flexão”
- NBR 6232:1973 “Postes de Madeira - Penetração e Retenção de Preservativo”;
- NBR 7188:1982 “Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre”;
- NBR 7190:1997 “Projeto de Estruturas de Madeira”;
- NBR 8681:2003 “Ações e segurança nas estruturas - Procedimento”.

Em alguns casos, pode ser necessário consultar nas normas:

- NBR 6118:2003 “Projeto de estruturas de concreto - Procedimento”;
- NBR 6122:1996 “Projeto e execução de fundações”;
- NBR 8800:1986 “Projeto e execução de estruturas de aço em edifícios”.

7.1 PONTE EM VIGAS COM PEÇAS ROLIÇAS DE MADEIRA

O sistema estrutural de ponte em vigas com peças roliças de madeira de reflorestamento tratadas é o mais utilizado no país, principalmente devido a sua facilidade na fase construtiva aliado ao seu baixo custo. Entretanto, a falta de projeto elaborado por profissionais capacitados, faz com que este sistema estrutural também seja o que apresenta menor durabilidade. Neste item são especificadas as diretrizes básicas para o projeto de ponte em vigas simples de peças roliças e

detalhes construtivos, bem como uma tabela prática para o pré-dimensionamento deste tipo de ponte.

7.1.1 Esquema geral da ponte

Nas pontes em vigas simples de peças roliças de madeira tratada, é comum utilizar os elementos estruturais de longarinas, tabuleiro, rodeiro, guarda-rodas e defesa.

As longarinas são constituídas por peças roliças de madeira dispostas no sentido longitudinal, alternando-se a disposição topo-base, tendo em vista a conicidade das peças. As longarinas são responsáveis por suportarem o peso próprio da estrutura e também as cargas acidentais e seus efeitos dinâmicos. São ligadas por barras rosqueadas de 25,4 mm de diâmetro.

O tabuleiro é composto por peças de madeira serrada, dispostas no sentido transversal, e ligadas nas longarinas por parafusos auto atarraxantes de 10 mm de diâmetro. O veículo tipo deve atuar sobre o rodeiro; entretanto, o tabuleiro deve suportar a carga acidental do veículo tipo, no caso excepcional do mesmo sair do rodeiro.

Normalmente, o rodeiro é composto por peças de madeira serrada, dispostas no sentido longitudinal, e ligadas ao tabuleiro por parafusos auto atarraxantes de 10 mm de diâmetro. O rodeiro 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. No rodeiro devem ser utilizadas madeiras duras que resistam à abrasão dos pneus dos veículos CALIL et al (2006).

Os guarda-rodas e as defensas constituem de 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, sendo utilizadas peças de madeira serrada para a defesa. Os guarda-rodas e os pilaretes da defesa devem ser ligados às longarinas de borda com barras rosqueadas de 25,4 mm de diâmetro.

As figuras seguintes mostram a configuração básica das pontes em vigas simples de peças roliças, indicando a localização dos elementos constituintes. Também são indicados os espaçamentos entre longarinas, disposição do tabuleiro, defesa e rodeiro. As pontes em vigas simples de peças roliças de madeira tratadas, normalmente são construídas em zonas rurais com baixo volume de tráfego e, conseqüentemente, possuem somente uma faixa de tráfego, com largura de 4 metros.

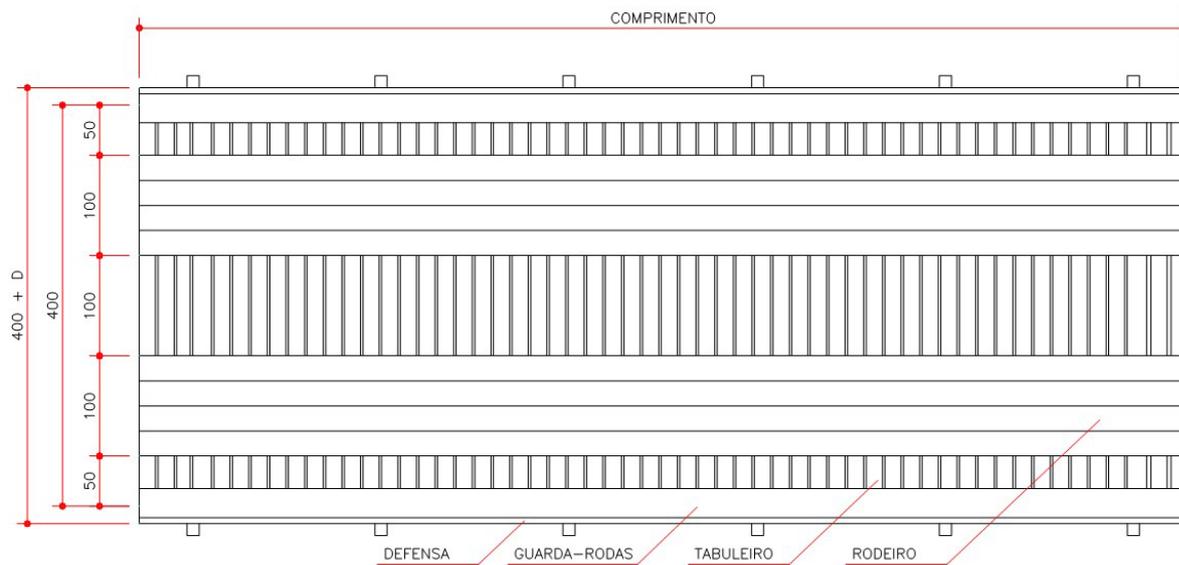


Figura 7.1: Ponte em vigas roliças de madeira tratada: vista superior da ponte. Fonte: CALIL et al (2006).

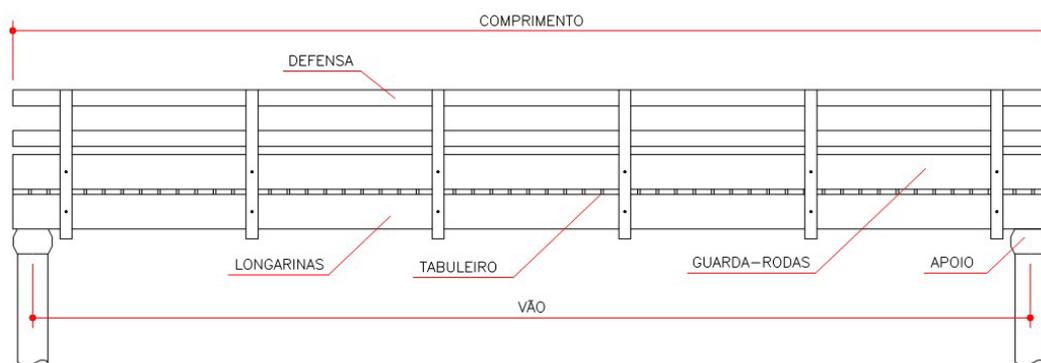


Figura 7.2: Ponte em vigas roliças de madeira tratada: vista lateral da ponte. Fonte: CALIL et al (2006).

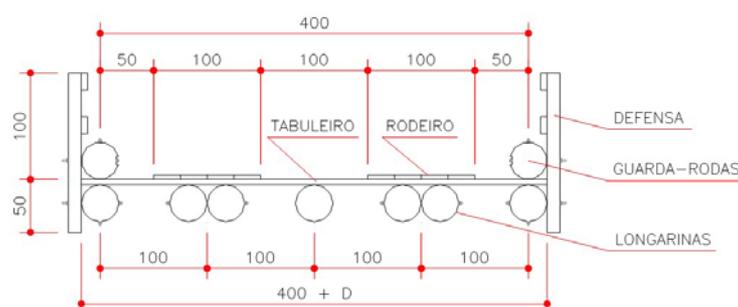


Figura 7.3: Ponte em vigas roliças de madeira tratada: seção transversal. Fonte: CALIL et al (2006).

7.1.2 Hipóteses de cálculo

Para o cálculo das pontes em vigas com peças roliças de madeira tratada devem ser consideradas as seguintes hipóteses de cálculo:

- As longarinas diretamente abaixo do rodeiro são dimensionadas para suportar a ação permanente de peso próprio e as ações acidentais e seus efeitos dinâmicos. O

diâmetro de referência utilizado no cálculo estrutural deve ser o diâmetro equivalente a 1/3 do topo, considerando a conicidade;

- Em cada linha de rodas do veículo-tipo têm-se duas vigas suportando o carregamento;
- Apesar do tabuleiro e rodeiro contribuírem na distribuição transversal do carregamento para as longarinas vizinhas, este efeito não é considerado para o dimensionamento.

7.1.3 Etapas de dimensionamento

A seguir são apresentados os passos para o dimensionamento de pontes em vigas roliças.

1º passo: Definir a geometria e a classe estrutural da ponte

O projetista deve inicialmente definir o vão, largura e número de faixas da ponte baseado em fatores decorrentes das condições locais, como por exemplo, área necessária para a calha do córrego, volume de tráfego, etc. O vão efetivo da ponte é a distância medida de centro a centro dos apoios. Para o sistema de ponte em questão, o número de faixas de tráfego e, conseqüentemente, a largura da ponte ficam limitadas ao padrão de 4m, já que são utilizadas principalmente em vias rurais de baixo volume de tráfego.

A classe estrutural da ponte é definida pelo projetista em função dos veículos que possam trafegar com maior freqüência sobre a ponte. A norma NBR7188:1982 “Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre”, define três classes de pontes, Classe 12, Classe 30 e Classe 45. Apesar deste tipo de ponte normalmente ser utilizado em vias rurais com baixo volume de tráfego, a Classe 12 não é recomendada, pois os veículos atuais utilizados nas vias rurais não pavimentadas facilmente superam este limite.

2º passo: Definir a classe de resistência da madeira

O projetista deve definir o tipo de material que será empregado nos elementos estruturais da ponte. A NBR 7190 permite que o projetista especifique uma espécie de madeira ou utilize as recomendações de classes de resistência. O dimensionamento por classes de resistência permite que o projetista, ao final do projeto, especifique as espécies de madeira que se enquadrem na classe utilizada. O cliente ou construtor poderá optar pela espécie mais conveniente para a obra, dentro das indicações do projetista.

3º passo: Estimar a carga permanente

Definida a classe da ponte, o vão teórico e classe da madeira a ser utilizada, pode-se recorrer às indicações das tabelas 7.1 e 7.2 para estimar a carga permanente. Lembrando-se que se deve acrescentar 3% ao peso próprio da madeira, devido aos conectores metálicos.

4º passo: Posicionamento transversal do veículo-tipo

Nas pontes de madeira em vigas roliças, o rodeiro indica o local correto por onde o veículo deve transitar. Esta é a posição mais crítica para as longarinas, que devem suportar os esforços provocados pela totalidade de uma linha de rodas do veículo-tipo. A figura 7.4 ilustra o posicionamento transversal crítico para o dimensionamento das longarinas.

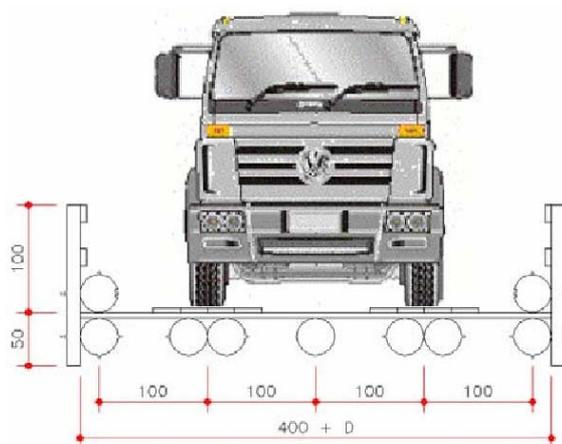


Figura 7.4: Posicionamento transversal do veículo-tipo sobre o rodeiro. Fonte: CALIL et al (2006).

Outra possibilidade de solicitação que pode ocorrer nas pontes em vigas roliças, é quando o veículo-tipo porventura possa sair fora do rodeiro. Esta é a situação mais crítica para o tabuleiro. A figura 7.5 ilustra o posicionamento transversal crítico para o dimensionamento do tabuleiro.

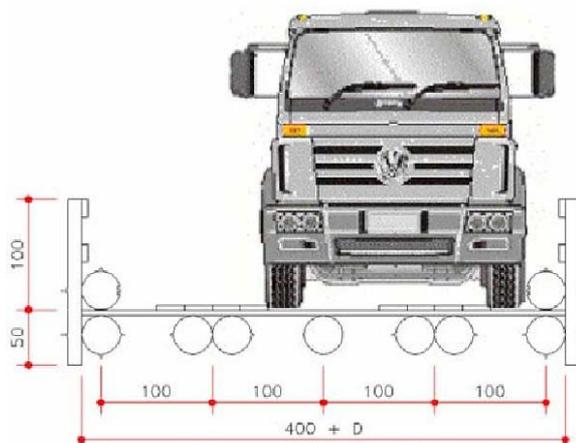


Figura 7.5: Posicionamento transversal do veículo-tipo fora do rodeiro. Fonte: CALIL et al (2006).

5º Passo: Realizar o cálculo dos esforços máximos

Para o dimensionamento das longarinas deve-se calcular o momento fletor máximo, a cortante máxima e a flecha máxima devido à carga permanente e à acidental. A figura 7.6 ilustra o posicionamento mais crítico do veículo-tipo para o cálculo do momento fletor e flecha.

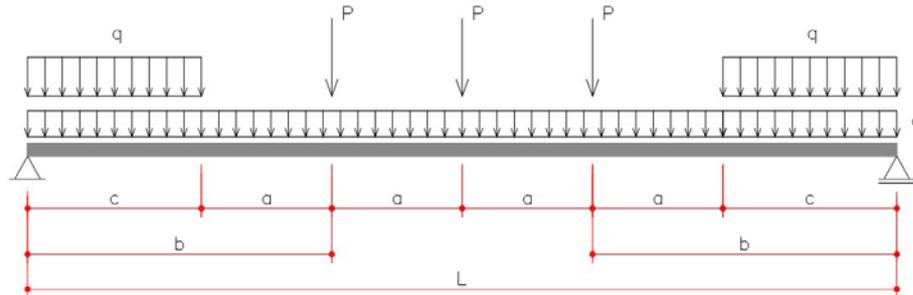


Figura 7.6: Posicionamento do veículo-tipo para momento fletor e flecha. Fonte: CALIL et al (2006).

O momento máximo devido à carga permanente é dado pela seguinte equação:

$$M_{g,k} = \frac{q \cdot L^2}{8}$$

Para as classes estruturais 30 e 45, podem ser consideradas as seguintes equações de momento máximo:

$$M_{q,k} = \left(\frac{3 \cdot P \cdot L}{4} - P \cdot a \right), \text{ para } 3 \text{ m} < L \leq 6 \text{ m}$$

$$M_{q,k} = \left(\frac{3 \cdot P \cdot L}{4} - P \cdot a \right) + \frac{q \cdot c^2}{2}, \text{ para } L > 6 \text{ m}$$

onde: L = vão teórico;

$$a = 1,5 \text{ m (Classes 30 e 45);}$$

$$b = (L - 2a)/2;$$

$$c = (L - 4a)/2;$$

$$P = 7,5 \text{ kN para Classe 45 ou } 5,0 \text{ kN para Classe 30;}$$

$$q = \text{carga acidental;}$$

$$g = \text{carga permanente.}$$

A flecha máxima devido à carga permanente é dada pela seguinte equação:

$$\delta_{g,k} = \frac{5}{384} \cdot \frac{g \cdot L^4}{E_{M,ef} \cdot I}$$

Para as classes estruturais 30 e 45, pode ser considerada a seguinte equação de flecha, desprezando o efeito da carga acidental distribuída perto dos apoios:

$$\delta_{q,k} = \frac{1}{48} \cdot \frac{P}{E_{M,ef} \cdot I} \cdot [L^3 + 2 \cdot b \cdot (3 \cdot L^2 - 4 \cdot b^2)]$$

Para o cálculo da reação de apoio o veículo-tipo deve ser posicionado conforme a figura 7.7. O valor é usado para o dimensionamento da região dos apoios e fundações.

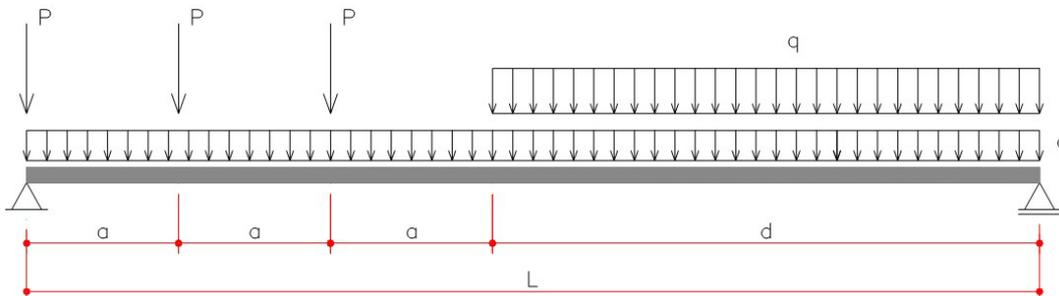


Figura 7.7: Posicionamento do veículo-tipo para reação de apoio. Fonte: CALIL et al (2006).

A reação de apoio devido à carga permanente é dada pela seguinte equação:

$$R_{g,k} = \frac{g \cdot L}{2}$$

Para as classes estruturais 30 e 45, deve ser considerada a seguinte equação para reação de apoio.

$$R_{q,k} = \frac{P}{L} \cdot (L + 3 \cdot a + 2 \cdot d) + \frac{q \cdot d^2}{2 \cdot L}$$

onde: $d = L - 3 \cdot a$

Para o cálculo da cortante, o veículo-tipo pode ser posicionado conforme a figura 7.8, levando em consideração a redução da cortante.

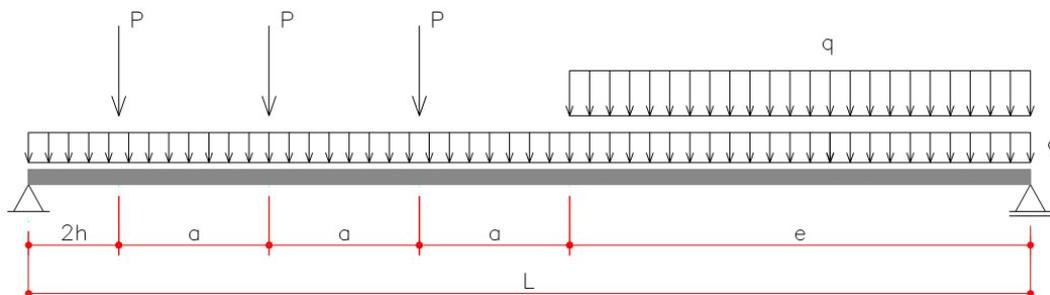


Figura 7.8: Posicionamento do veículo-tipo para cortante. Fonte: CALIL et al (2006).

A cortante máxima devido à carga permanente é dada pela seguinte equação:

$$Q_{g,k} = \frac{g \cdot L}{2}$$

Para as classes estruturais 30 e 45, pode ser considerada a seguinte equação para o cálculo da cortante máxima reduzida:

$$Q_{q,k} = \frac{P}{L} \cdot (6 \cdot a + 3 \cdot e) + \frac{q \cdot e^2}{2 \cdot L}$$

onde: $e = L - 3 \cdot a - 2 \cdot h$;

h = diâmetro médio da longarina.

Para o dimensionamento do tabuleiro deve-se apenas calcular o momento fletor máximo devido à carga acidental e seus efeitos dinâmicos. É desnecessária a

verificação da reação, cortante e flecha. Os efeitos do peso próprio, para o pré-dimensionamento, podem ser desprezados, devido à pequena influência quando comparado com a carga acidental.

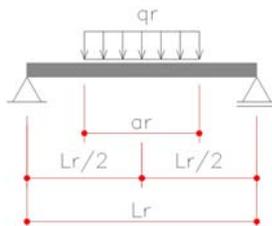


Figura 7.9: Posicionamento crítico de uma roda sobre o tabuleiro. Fonte: CALIL et al (2006).

O momento fletor máximo é dado pela seguinte equação:

$$M_{rq,k} = \frac{P}{4} \cdot (L_r - a_r)$$

onde: $q_r = \frac{P}{a_r}$;

$a_r = 0,5$ m para Classe 45 e $0,4$ m para Classe 30;

$L_r =$ vão do tabuleiro (distância entre longarinas).

A sugestão de análise do tabuleiro descrita acima é uma aproximação razoável.

Para uma análise mais precisa, o projetista pode considerar o tabuleiro como uma viga contínua apoiada sobre as longarinas que por sua vez podem ser analisadas como apoios elásticos.

6º passo: Realizar as combinações das ações

Para o dimensionamento das longarinas, os valores de cálculo das ações momento fletor e cortante, devem ser obtidos da combinação última normal seguindo as especificações da NBR 7190.

$$M_d = \gamma_g \cdot M_{g,k} + \gamma_q \cdot [M_{q,k} + 0,75 \cdot (\varphi - 1) \cdot M_{q,k}]$$

$$Q_d = \gamma_g \cdot Q_{g,k} + \gamma_q \cdot [Q_{q,k} + 0,75 \cdot (\varphi - 1) \cdot Q_{q,k}]$$

Onde: $\gamma_g = 1,3$ para madeira classificada (pequena variabilidade) e $1,4$ quando o peso próprio não supera 75% da totalidade dos pesos permanentes (grande variabilidade);

$\gamma_q = 1,4$ para ações variáveis (cargas acidentais móveis);

$\varphi =$ coeficiente de impacto vertical.

$$\varphi = 1 + \frac{\alpha}{40 + L}$$

Onde: $\alpha = 20$ para pontes rodoviárias com assoalho de madeira;

$L =$ vão teórico em metros.

Para o dimensionamento dos apoios, o valor de cálculo da reação de apoio, deve ser obtido da combinação última normal não considerando o coeficiente de impacto, seguindo as especificações da NBR 7190.

$$R_d = \gamma_g \cdot R_{g,k} + \gamma_q \cdot R_{q,k}$$

Para as longarinas em pontes de madeira, sugere-se que a flecha deva ser verificada considerando a seguinte condição:

$$\delta_{q,k} \leq \frac{L}{360}$$

O valor de cálculo do momento fletor no tabuleiro deve ser obtido da combinação última excepcional, desprezando os efeitos da carga permanente.

$$M_{r,d} = M_{rq,k}$$

7º passo: Dimensionamento das longarinas e tabuleiro

O diâmetro mínimo das longarinas é determinado pelo maior resultado dentre as seguintes condições:

$$D_{\text{mim}} \geq \left(\frac{16 \cdot M_d}{\pi \cdot f_{c0,d}} \right)^{\frac{1}{3}}, \text{ tensões normais.}$$

$$D_{\text{mim}} \geq \left(\frac{8 \cdot Q_d}{3 \cdot \pi \cdot f_{v0,d}} \right)^{\frac{1}{2}}, \text{ tensões tangenciais.}$$

$$D_{\text{mim}} \geq \left\{ \frac{360}{L} \cdot \frac{4 \cdot P}{3 \cdot \pi \cdot E_{M,ef} \cdot L} \cdot [L^3 + 2 \cdot b \cdot (3 \cdot L^2 - 4 \cdot b^2)] \right\}^{\frac{1}{4}}, \text{ flecha}$$

A altura do tabuleiro é determinada pela seguinte condição:

$$\text{esp.} \geq \left(\frac{6 \cdot M_{r,d}}{\text{larg.} \cdot f_{c0,d}} \right)^{\frac{1}{2}}, \text{ tensões normais.}$$

Onde: esp. = espessura do tabuleiro;

larg. = largura da roda (20 cm para as Classes 45 e 30).

8º passo: Conferir o peso próprio considerado

Neste passo o projetista deve conferir o peso próprio estimado no início dos cálculos com o obtido das dimensões obtidas no 6º passo. Se a diferença entre o peso próprio estimado e o real for maior que 10% deve-se refazer os cálculos agora com o novo valor de peso-próprio. Esse procedimento iterativo deve continuar até que a diferença seja menor que 10%. Em geral não é preciso mais do que uma revisão dos cálculos.

7.1.4 Tabelas práticas de pré-dimensionamento

As peças do rodeiro são formadas por pranchas de madeira madeiras duras que resistam à abrasão dos pneus dos veículos (Classe C50 ou C60). Com 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, o rodeiro possui espessura mínima de 4 cm. A largura das pranchas do rodeiro é em geral de 25 cm, sendo necessária quatro pranchas dispostas lado a lado para uma linha de rodas.

A tabela 7.1 indica a espessura mínima das peças do tabuleiro em função da classe estrutural da ponte e da classe de madeira empregada. As seções serradas empregadas no tabuleiro possuem largura padrão de 16 cm ou 20 cm.

A tabela 7.2 indica o diâmetro mínimo para as longarinas em função do vão da ponte, da classe da madeira empregada e da classe estrutural da ponte. Apesar deste sistema estrutural de pontes ser mais utilizado em vias rurais, com baixo volume de tráfego, a tabela não apresenta a classe estrutural 12, pois os veículos atuais, utilizados nas vias rurais não pavimentadas, facilmente superam este limite.

Tabela 7.1: Pontes em vigas com peças roliças de madeira (altura do tabuleiro).

Veículo-tipo	Madeira		
	C60	C50	C40
Classe 30	6 cm	7 cm	8 cm
Classe 45	8 cm	9 cm	10 cm

Fonte: CALIL et al (2006).

Tabela 7.2: Pontes em vigas simples de peças roliças (diâmetro médio das longarinas).

Comprimento (m)	Vão (m)	Classe 30			Classe 45		
		C60	C50	C40	C60	C50	C40
6,0	5,5	37 cm	39 cm	43 cm	43 cm	45 cm	48 cm
7,0	6,5	40 cm	43 cm	46 cm	46 cm	49 cm	
8,0	7,5	43 cm	46 cm	50 cm	50 cm		
9,0	8,5	46 cm	49 cm				
10,0	9,5	49 cm					

Fonte: CALIL et al (2006).

7.1.5 Recomendações construtivas

- Todas as peças de madeira de reflorestamento devem ser tratadas com CCA.
- Todas as peças metálicas devem ser tratadas com anticorrosão (galvanização a fogo).
- As peças do tabuleiro devem ser espaçadas a cada 15 mm a 25 mm.
- As longarinas devem ser niveladas pela parte superior e nos apoios são recomendados calços de madeira. Não é recomendado o uso de entalhes para nivelamento das longarinas, entretanto se indispensável, não deve superar $\frac{1}{4}$ da altura da seção. Deve ser verificado o fendilhamento no entalhe.
- As longarinas devem ser fixadas nos apoios de madeira por meio de barras de aço CA-50 de 19 mm de diâmetro, coladas com adesivo epóxi.
- As infra-estruturas das fundações devem ser projetadas por profissional, que tenha pleno conhecimento na área de solos.

7.2 PONTE EM PLACA MISTA DE MADEIRA ROLIÇA E CONCRETO ARMADO

O sistema estrutural de ponte em placa mista com peças roliças de madeira e concreto armado tem sido utilizado com sucesso na construção de pontes. O sistema constitui de uma laje de concreto armado moldada “in loco” sobre uma série de vigas roliças de madeira, dispostas lado a lado. A solidarização parcial entre os materiais é garantida por uma série de conectores metálicos colados com resina epóxi em furos nas peças de madeira roliças, que fazem a ligação entre o concreto e a madeira, de tal modo que as partes funcionem em conjunto, formando uma placa ortotrópica. Os materiais são usados na sua melhor condição, isto é, a madeira resistindo na tração e o concreto na compressão.

Nos tabuleiros mistos, a laje de concreto, além de proteger a madeira contra as intempéries e o desgaste superficial por abrasão, diminui as vibrações provocadas pelas cargas dinâmicas com o aumento do peso próprio, aumenta o isolamento acústico, a proteção contra fogo e proporciona maior rigidez e resistência, comparada ao sistema unicamente de madeira.

Segundo CALIL et al (2006), outra importante característica dos tabuleiros mistos é o baixo custo se comparado com o sistema estrutural todo em concreto. No concreto armado, grande parte do custo e mão-de-obra são despendidos na confecção de fôrmas e cimbramentos (geralmente de madeira), que tem a finalidade de suportar temporariamente o peso do concreto fresco, e após sua cura são retiradas. No sistema misto, a madeira empregada cumpre a função de suporte quando o concreto está fresco e após a cura são incorporadas ao tabuleiro, colaborando para resistir os esforços externos de trabalho. Na maioria dos casos é dispensado o cimbramento, reduzindo ainda mais o custo e tempo de execução.

Por essas e outras razões, as pontes em placa mista de madeira roliça e concreto armado, rapidamente ganharam a preferência das prefeituras municipais do Estado de São Paulo, tanto para vias rurais como para vias urbanas, CALIL et al (2006).

A seguir são especificadas as diretrizes básicas para o projeto, bem como detalhes construtivos e também uma tabela prática para o pré-dimensionamento deste tipo de ponte.

7.2.1 Esquema geral da ponte

Nas pontes em placa de madeira-concreto, é comum utilizar como elementos estruturais, o tabuleiro formado de vigas de madeira roliça; a laje de concreto armado; as instalações de conectores metálicos; os guarda-rodas de concreto armado e as defensas de madeira.

O tabuleiro é formado por longarinas com peças de madeira roliça de reflorestamento tratadas, dispostas lado a lado, e apoiadas as suas extremidades na fundação. São colocadas alterando-se a disposição topo-base, tendo em vista a conicidade das peças. O tabuleiro de madeira é responsável por suportar o seu peso próprio e também o peso próprio da laje de concreto armado, conectores metálicos, guarda-rodas, no estágio inicial quando o concreto ainda está fresco. Após a cura do concreto, o tabuleiro trabalha em conjunto com a laje de concreto armado para suportar as ações de peso próprio da pavimentação asfáltica e defesa e também as cargas acidentais e seus efeitos dinâmicos, CALIL et al (2006).

A laje de concreto armado contribui na rigidez e resistência da ponte na direção longitudinal, agindo conjuntamente com o tabuleiro de madeira. Outra função da laje de concreto é de realizar a distribuição de carga no sentido transversal. A rigidez transversal é dada única e exclusivamente pela rigidez transversal da laje de concreto armado, ou seja, o tabuleiro de madeira não contribui na distribuição transversal de carga.

Os conectores metálicos são os elementos estruturais responsáveis pela solidarização da laje de concreto armado no tabuleiro de madeira, e devem ser dimensionados para suportar o fluxo de cisalhamento que surge entre os dois materiais (madeira e concreto).

O guarda-rodas e a defesa constituem nos itens de segurança da ponte. Devem ser dimensionados de maneira a evitar que o veículo possa sair da ponte. Os guarda-rodas são moldados "in loco" em concreto armado e as defensas normalmente são formadas por peças de madeira serrada. As figuras seguintes mostram as configurações básicas das pontes em placa mista de madeira-concreto, indicando a localização dos elementos constituintes.

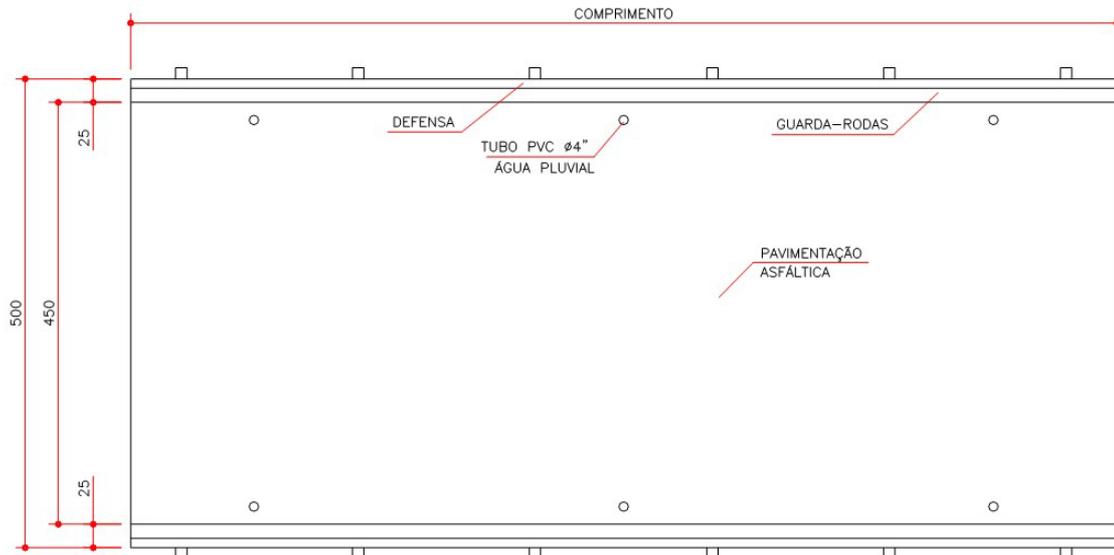


Figura 7.10: Vista superior da ponte em placa mista com peças de madeira roliça e concreto armado. Fonte: CALIL et al (2006).

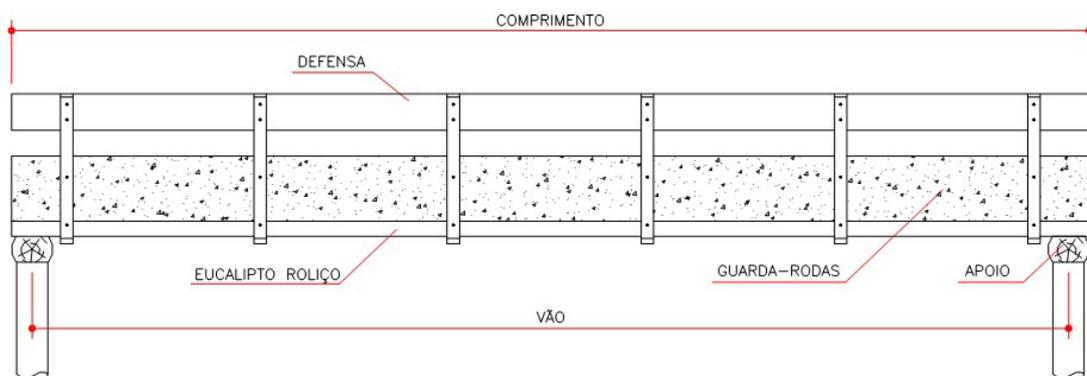


Figura 7.11: Vista lateral da ponte em placa mista madeira-concreto. Fonte: CALIL et al (2006).

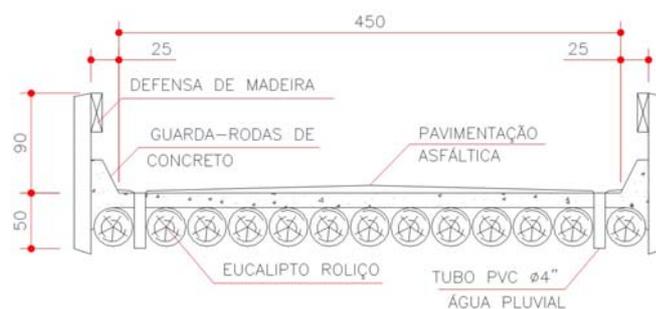


Figura 7.12: Seção transversal da ponte em placa mista de madeira-concreto com uma faixa de tráfego. Fonte: CALIL et al (2006).

7.2.2 Hipóteses de cálculo

Para o cálculo das pontes em placa mista de peças de madeira roliça e concreto armado são consideradas as seguintes hipóteses de cálculo:

- No instante inicial as vigas de madeira roliça que formam o tabuleiro de madeira suportam seu peso próprio e o peso do concreto fresco. Neste instante de tempo os conectores metálicos não estão trabalhando.
- Após a cura do concreto, o tabuleiro de madeira e a laje de concreto armado se comportam como uma placa composta que suporta o peso próprio do revestimento asfáltico (quando houver) e as ações variáveis e seus efeitos dinâmicos.
- A ponte em placa mista de peças de madeira roliça e o concreto armado tem comportamento semelhante a uma placa maciça formada por um material hipotético com propriedades ortotrópicas e deve ser calculada como tal. Para o cálculo dos esforços e deslocamentos da placa ortotrópica podem ser utilizadas várias técnicas, dentre elas, a solução por séries ou a técnica dos elementos finitos.

7.2.3 Etapas de dimensionamento

A seguir são apresentados os passos para o dimensionamento de pontes em placa mista de peças roliças de madeira e concreto armado.

1º passo: Definir a geometria e a classe estrutural da ponte

O projetista deve definir a priori o vão, largura e número de faixas da ponte baseado em fatores decorrentes das condições locais, como por exemplo, área necessária para a calha do córrego, volume de tráfego, etc. O vão efetivo da ponte é a distância medida de centro a centro dos apoios. Para o sistema de ponte em questão, não há limitação quanto à largura do tabuleiro. As pontes em placa mista de madeira-concreto podem ser utilizadas em vias urbanas, pavimentadas e com alto volume de tráfego, ou em vias rurais, não pavimentadas e com baixo volume de tráfego.

A classe estrutural da ponte é definida pelo projetista em função dos veículos que possam trafegar com maior frequência sobre a ponte. Atualmente, as Classes 30 e ou 45 são as recomendadas para pontes projetadas em vias urbanas e rurais.

2º passo: Definir as propriedades dos materiais

O projetista deve definir o tipo de material que será empregado nos elementos estruturais da ponte. Lembrando que nesse tipo de ponte são empregados três materiais distintos, madeira, concreto e aço.

As peças de madeira roliça podem ser de várias espécies, entretanto, no Estado de São Paulo são geralmente utilizadas madeiras de reflorestamento (eucalipto). O uso de madeira de reflorestamento sem durabilidade natural ao ataque de insetos e fungos implica obrigatoriamente no uso de produtos preservativos. Para pontes é recomendado o uso de madeira tratada com CCA em autoclave.

O concreto especificado deve garantir a resistência à compressão necessária para as situações de uso corrente, geralmente em torno de 25 MPa ($f_{ck,28}$).

3º passo: Estimar a carga permanente

Definida a classe da ponte, o vão teórico e a classe da madeira a ser utilizada, pode-se recorrer às indicações da tabela 7.5 para estimar a carga permanente. Deve-se acrescentar 5% ao peso próprio da madeira devido aos conectores metálicos.

4º passo: Calcular os esforços e deslocamentos máximos com o concreto ainda fresco

As pontes mistas madeira-concreto possuem comportamento distinto em diferentes instantes de tempo.

No instante inicial, ou seja, com o concreto ainda fresco, as vigas de madeira roliça estão sujeitas ao carregamento permanente de peso próprio da madeira, conectores metálicos e da laje de concreto armado.

Com as dimensões indicadas na tabela 7.3 e a carga permanente estimada na etapa anterior, são calculados os esforços e deslocamento máximos nas vigas de madeira no instante inicial, com as equações:

$$\sigma_{1wgi,k} = -\sigma_{2wgi,k} = \frac{4 \cdot g \cdot L^2}{\pi \cdot D^3}, \text{ tensões normais.}$$

$$\tau_{wgi,k} = \frac{8 \cdot g \cdot L}{3 \cdot \pi \cdot D^2}, \text{ tensão cisalhante.}$$

$$R_{gi,k} = \frac{g \cdot L}{2}, \text{ reação de apoio.}$$

$$\delta_{wgi,k} = \frac{5 \cdot g \cdot L^4}{6 \cdot E_{M,ef} \cdot \pi \cdot D^4}, \text{ flecha.}$$

Onde: $\sigma_{1wgi,k}$ = tensão normal máxima característica na face superior da viga de madeira roliça, devido à carga permanente, no instante inicial com concreto fresco (compressão);

$\sigma_{2wg,k}$ = tensão normal máxima característica na face inferior da viga de madeira roliça, devido à carga permanente, no instante inicial com concreto fresco (tração);

g = carga permanente;

L = vão teórico;

D = diâmetro inicial estimado da viga roliça de madeira.

5º passo: Estimar o valor do módulo de deslizamento da ligação (K)

O valor do módulo de deslizamento da ligação é um dos fatores mais importantes que influenciam no comportamento dos elementos mistos ou compostos. Este valor deve ser determinado experimentalmente para tipo de conector, espécie de madeira e propriedades do concreto. Estudos já realizados por pesquisadores do LaMEM podem fornecer valores estimados de módulo de deslizamento da ligação, CALIL et al (2006).

Para os conectores inclinados, colados com adesivo epóxi, desenvolvidos por PIGOZZO (2004), podem ser utilizados os valores de módulo de deslizamento descritos na tabela 7.3.

Tabela 7.3: Valores dos módulos de deslizamento das ligações.

Tipo de conector	Módulo de deslizamento (kN/cm)	
	K_{ser}	K_u
Em "X" com $\phi 3/8"$	1050	700
Em "X" com $\phi 1/2"$	1190	790

Fonte: CALIL et al (2006).

O módulo de deslizamento de serviço (K_{ser}) deve ser utilizado quando se verificam os estados limites de utilização (flecha). O módulo de deslizamento último (K_u) deve ser utilizado quando se verificam os estados limites últimos (tensões normais, tensões tangenciais, força no conector, etc.).

6º passo: Determinar as propriedades elásticas da placa ortotrópica equivalente

As pontes em placa mista de peças de madeira roliça e concreto armado têm comportamento semelhante ao de uma placa ortotrópica com propriedades elásticas equivalentes. Nesta etapa, as propriedades elásticas $(E_L)_{eq}$, $(E_T)_{eq}$ e $(G_{LT})_{eq}$ da placa ortotrópica equivalente são calculadas com as equações:

$$(E_L)_{eq} = 12 \cdot \frac{D_x}{t_{eq}^3} \cdot (1 - \nu_{xy} \cdot \nu_{yx})$$

$$(E_T)_{eq} = 12 \cdot \frac{D_y}{t_{eq}^3} \cdot (1 - \nu_{xy} \cdot \nu_{yx})$$

$$(G_{LT})_{eq} = 6 \cdot \frac{D_{xy}}{t_{eq}^3}$$

Onde: $(E_L)_{eq}$ = módulo de elasticidade à flexão longitudinal da placa ortotrópica equivalente;

$(E_T)_{eq}$ = módulo de elasticidade à flexão transversal da placa ortotrópica equivalente;

$(G_{LT})_{eq}$ = módulo de elasticidade à torção da placa ortotrópica equivalente;

t_{eq} = espessura da placa equivalente.

D_x = rigidez à flexão da ponte na direção longitudinal;

D_y = rigidez à flexão da ponte na direção transversal;

D_{xy} = rigidez à torção da ponte.

De forma geral, para a ponte em questão, os coeficientes de Poisson podem ser atribuídos nulos, por representarem pequena influência no comportamento destas placas quando biapoiadas.

A seguir são apresentadas as equações para a determinação da rigidez à flexão da ponte na direção longitudinal e transversal e a rigidez à torção.

$$D_x = \frac{1}{b} \cdot (E_c \cdot I_c + \gamma_c \cdot E_c \cdot A_c \cdot a_c^2 + E_w \cdot I_w + \gamma_w \cdot E_w \cdot A_w \cdot a_w^2)$$

$$D_y = \frac{1}{L} \cdot \left(E_c \cdot \frac{L \cdot h_c^3}{12} \right)$$

$$D_{xy} = \frac{G_c \cdot t^3}{6}$$

Com:

$$I_c = \frac{b \cdot h_c^3}{12} \quad \text{e} \quad I_w = n_v \cdot \frac{b_w \cdot h_w^3}{12}$$

$$A_c = b \cdot h_c \quad \text{e} \quad A_w = n_v \cdot b_w \cdot h_w$$

$$\gamma_w = 1 \quad \text{e} \quad \gamma_c = \left[1 + \frac{\pi^2 \cdot E_c \cdot A_c \cdot s}{K \cdot L^2} \right]^{-1}$$

$$a_w = \frac{\gamma_c \cdot E_c \cdot A_c \cdot (h_c + h_w)}{2 \cdot (\gamma_c \cdot E_c \cdot A_c + \gamma_w \cdot E_w \cdot A_w)} \quad \text{e} \quad a_c = \left(\frac{h_c + h_w}{2} \right) - a_w$$

$$E_c = 0,85 \cdot 5600 \cdot \sqrt{f_{ck,28}}$$

Onde: n_v = número de vigas de madeira roliça;

b = largura total da ponte;

$E_w = E_{M,ef}$ = módulo de elasticidade à flexão efetivo da madeira;

E_c = módulo de elasticidade secante à compressão do concreto (MPa), conforme a NBR 6118:2003;

$f_{ck,28}$ = Resistência à compressão característica do concreto aos 28 dias.

7º passo: Determinação dos esforços e deslocamentos máximos com o concreto já curado

De posse das propriedades elásticas $(E_L)_{eq}$, $(E_T)_{eq}$ e $(G_{LT})_{eq}$ da placa ortotrópica equivalente de espessura t_{eq} (qualquer), deve-se calcular os esforços e deslocamentos máximos devido à carga permanente (pavimentação asfáltica quando houver) e carga acidental (veículo-tipo). Para esse fim, pode-se utilizar a solução por séries ou a técnica dos elementos finitos.

Neste tipo de ponte em placa o veículo tem total liberdade para transitar em qualquer posição transversal. O projetista deve posicionar o veículo-tipo na região mais desfavorável para cada um dos esforços analisados. Quando a flecha e o momento fletor na direção longitudinal são analisados, o posicionamento crítico do veículo-tipo é no centro no vão e na lateral da ponte. O momento fletor transversal máximo positivo é obtido quando o veículo é posicionado no centro geométrico da ponte. O momento fletor máximo negativo é obtido quando o veículo é posicionado no centro do vão e na lateral da ponte. A cortante máxima é obtida quando o veículo-tipo é posicionado na região perto dos apoios.

A reação de apoio é obtida quando o veículo-tipo é posicionado sobre um dos apoios.

São determinados o momento fletor máximo longitudinal devido à carga permanente da pavimentação asfáltica ($M_{Lg,k}$), a cortante máxima devido à carga permanente da pavimentação asfáltica ($V_{g,k}$), reação de apoio devido à carga permanente da pavimentação asfáltica ($R_{g,k}$), flecha máxima devido à carga permanente da pavimentação asfáltica ($\delta_{g,k}$), o momento fletor máximo longitudinal devido à carga acidental ($M_{Lq,k}$), momento fletor máximo positivo transversal devido à carga acidental ($M_{T1q,k}$), momento fletor máximo negativo transversal devido à carga

acidental ($M_{T2q,k}$), cortante máxima devido à carga acidental ($V_{q,k}$), reação de apoio devido à carga acidental ($R_{q,k}$) e flecha máxima devido à carga acidental ($\delta_{q,k}$).

De posse destes valores as tensões máximas são determinadas conforme as equações seguintes:

$$\sigma_{1cg,k} = \frac{M_{Lg,k} \cdot E_c}{(E \cdot I)_{ef}} \cdot (\gamma_c \cdot a_c + 0,5 \cdot h_c) \quad \text{e} \quad \sigma_{1cq,k} = \frac{M_{Lq,k} \cdot E_c}{(E \cdot I)_{ef}} \cdot (\gamma_c \cdot a_c + 0,5 \cdot h_c)$$

$$\sigma_{2cg,k} = \frac{M_{Lg,k} \cdot E_c}{(E \cdot I)_{ef}} \cdot (\gamma_c \cdot a_c - 0,5 \cdot h_c) \quad \text{e} \quad \sigma_{2cq,k} = \frac{M_{Lq,k} \cdot E_c}{(E \cdot I)_{ef}} \cdot (\gamma_c \cdot a_c - 0,5 \cdot h_c)$$

$$\sigma_{1wg,k} = \frac{M_{Lg,k} \cdot E_w}{(E \cdot I)_{ef}} \cdot (\gamma_w \cdot a_w + 0,5 \cdot h_w) \quad \text{e} \quad \sigma_{1wq,k} = \frac{M_{Lq,k} \cdot E_w}{(E \cdot I)_{ef}} \cdot (\gamma_w \cdot a_w + 0,5 \cdot h_w)$$

$$\sigma_{2wg,k} = \frac{M_{Lg,k} \cdot E_w}{(E \cdot I)_{ef}} \cdot (\gamma_w \cdot a_w - 0,5 \cdot h_w) \quad \text{e} \quad \sigma_{2wq,k} = \frac{M_{Lq,k} \cdot E_w}{(E \cdot I)_{ef}} \cdot (\gamma_w \cdot a_w - 0,5 \cdot h_w)$$

$$\tau_{wg,k} = 0,5 \cdot E_w \cdot b_w \cdot h_w^2 \cdot \frac{V_{g,k}}{b_w \cdot (E \cdot I)_{ef}} \quad \text{e} \quad \tau_{wq,k} = 0,5 \cdot E_w \cdot b_w \cdot h_w^2 \cdot \frac{V_{q,k}}{b_w \cdot (E \cdot I)_{ef}}$$

$$F_{g,k} = \gamma_w \cdot E_w \cdot A_w \cdot a_w \cdot s \cdot \frac{V_{g,k}}{(E \cdot I)_{ef}} \quad \text{e} \quad F_{q,k} = \gamma_w \cdot E_w \cdot A_w \cdot a_w \cdot s \cdot \frac{V_{q,k}}{(E \cdot I)_{ef}}$$

Onde: $\sigma_{1cg,k}$ ou ($\sigma_{1cq,k}$) = tensão normal máxima característica na face superior da laje de concreto, devido à carga permanente (ou acidental), no instante final com concreto curado (compressão);

$\sigma_{2cg,k}$ ou ($\sigma_{2cq,k}$) = tensão normal máxima característica na face inferior da laje de concreto, devido à carga permanente (ou acidental), no instante final com concreto curado (compressão ou tração);

$\sigma_{1wg,k}$ ou ($\sigma_{1wq,k}$) = tensão normal máxima característica na face superior da viga de madeira, devido à carga permanente (ou acidental), no instante final com concreto curado (compressão);

$\sigma_{2wg,k}$ ou ($\sigma_{2wq,k}$) = tensão normal máxima característica na face inferior da viga de madeira, devido à carga permanente (ou acidental), no instante final com concreto curado (tração);

$\tau_{wg,k}$ ou ($\tau_{wq,k}$) = tensão cisalhante máxima característica, devido à carga permanente (ou acidental), no instante final com concreto curado;

$F_{g,k}$ ou ($F_{q,k}$) = força máxima característica no conector, devido à carga permanente (ou acidental), no instante final com concreto curado.

8º passo: Realizar as combinações das ações

Para o dimensionamento da laje de concreto, das vigas de madeira roliça e dos conectores metálicos, os valores de cálculo das tensões normais, tensões tangenciais e força no conector devem ser obtidas da combinação última normal seguindo as especificações da NBR 7190.

$$\sigma_{1c,d} = \gamma_g \cdot (\sigma_{1cg,k}) + \gamma_q \cdot \varphi \cdot (\sigma_{1cq,k})$$

$$\sigma_{2c,d} = \gamma_g \cdot (\sigma_{2cg,k}) + \gamma_q \cdot \varphi \cdot (\sigma_{2cq,k})$$

$$\sigma_{1w,d} = \gamma_g \cdot (\sigma_{1wgi,k} + \sigma_{1wv,g,k}) + \gamma_q \cdot [\sigma_{1cq,k} + 0,75 \cdot (\varphi - 1) \cdot M_{1cq,k}]$$

$$\sigma_{2w,d} = \gamma_g \cdot (\sigma_{2wgi,k} + \sigma_{2wv,g,k}) + \gamma_q \cdot [\sigma_{2cq,k} + 0,75 \cdot (\varphi - 1) \cdot M_{2cq,k}]$$

$$\tau_{w,d} = \gamma_g \cdot (\tau_{wgi,k} + \tau_{wv,g,k}) + \gamma_q \cdot [\tau_{wq,k} + 0,75 \cdot (\varphi - 1) \cdot \tau_{wq,k}]$$

$$F_d = \gamma_g \cdot (F_{g,k}) + \gamma_q \cdot \varphi \cdot (F_{q,k})$$

Onde: $\gamma_g = 1,3$ para madeira classificada (pequena variabilidade) e $1,4$ quando o peso próprio não supera 75% da totalidade dos pesos permanentes (grande variabilidade);

$\gamma_q = 1,4$ para ações variáveis (cargas acidentais móveis);

φ = coeficiente de impacto vertical.

$$\varphi = 1 + \frac{\alpha}{40 + L}$$

Onde: $\alpha = 12$ para pontes rodoviárias com assoalho revestido de asfalto;

L = vão teórico da ponte em metros.

Para o dimensionamento dos apoios, o valor de cálculo da reação de apoio, deve ser obtido da combinação última normal não considerando o coeficiente de impacto, seguindo as especificações da NBR 7190.

$$R_d = \gamma_g \cdot (R_{gi,k} + R_{g,k}) + \gamma_q \cdot R_{q,k}$$

9º passo: Verificar os estados limites

Os estados limites últimos de tensões normais no concreto e na madeira, tensões tangenciais na madeira e força máxima no conector devem ser atendidos conforme segue:

$$\sigma_{1c,d} \leq 0,85 \cdot \frac{f_{ck,28}}{1,4}$$

$$\sigma_{2c,d} \leq 0,85 \cdot \frac{f_{ck,28}}{1,4} \quad \text{ou} \quad \sigma_{2c,d} \leq 0,85 \cdot \frac{f_{tk,28}}{1,4}$$

$$\sigma_{1w,d} \leq f_{c0,d} \quad \text{ou} \quad \sigma_{1w,d} \leq f_{t0,d}$$

$$\sigma_{2w,d} \leq f_{t0,d}$$

$$\tau_{w,d} \leq f_{v,d}$$

$$F_d \leq R_d$$

A força máxima limite nos conectores inclinados (figura 7.13), colados com adesivo epóxi em madeira com umidade de 15%, desenvolvidos por PIGOZZO (2004) é dada pela tabela 7.4.

Tabela 7.4: Valores da força máxima limite das ligações.

Tipo de conector	R_d (kN)
Em "X" com $\phi 3/8$ "	50
Em "X" com $\phi 1/2$ "	60

Fonte: CALIL et al (2006).

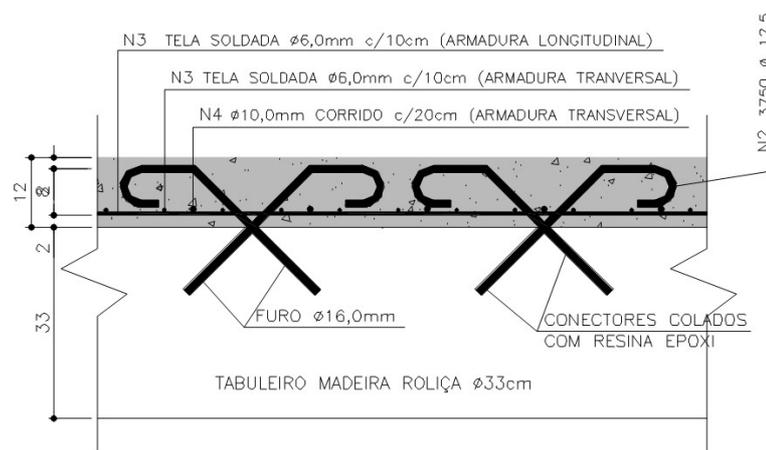


Figura 7.13: Conectores de aço, inclinados, colados com adesivo epóxi na madeira.
Fonte: CALIL et al (2006).

O estado limite de utilização de flecha para as pontes em placa mista madeira e concreto armado, deve ser verificado considerando a seguinte condição:

$$\delta_{qi,k} \leq \frac{L}{500} \quad \text{e} \quad \delta_{q,k} \leq \frac{L}{500}$$

10º passo: Conferir o peso próprio considerado

Neste passo o projetista deve conferir o peso próprio estimado no início dos cálculos com o obtido das dimensões adotadas. Se a diferença entre o peso próprio estimado e o real for maior que 10% deve-se refazer os cálculos agora com o novo valor de peso-próprio. Esse procedimento iterativo deve continuar até que a diferença seja menor que 10%. Em geral não é preciso mais do que uma revisão dos cálculos.

7.2.4 Tabela prática de pré-dimensionamento

Considerando uma laje de concreto armado com espessura de 15 cm e resistência à compressão f_{ck28} de 25 MPa, são indicados na tabela 7.5, os diâmetros mínimos das vigas roliças de eucalipto (C60, C50 e C40) em função do vão e da classe estrutural da ponte.

Tabela 7.5: Pontes em placa mista madeira-concreto (diâmetro médio das vigas roliças).

Comprimento (m)	Vão (m)	Classe 30			Classe 45		
		C60	C50	C40	C60	C50	C40
6,0	5,5	30 cm	30 cm	30 cm	30 cm	30 cm	30 cm
7,0	6,5	30 cm	30 cm	30 cm	30 cm	30 cm	30 cm
8,0	7,5	30 cm	30 cm	30 cm	30 cm	30 cm	30 cm
9,0	8,5	32 cm	33 cm	35 cm	32 cm	33 cm	35 cm
10,0	9,5	36 cm	37 cm	39 cm	36 cm	37 cm	39 cm
11,0	10,5	40 cm	41 cm	43 cm	40 cm	41cm	43 cm
12,0	11,5	44 cm	45 cm		44 cm	45 cm	

Fonte: CALIL et al (2006).

Pode ser observado que não há diferença nas dimensões mínimas do diâmetro das vigas roliças para a classe estrutural da ponte (Classe 30 ou 45), pois para pontes com essas geometrias o fator limitante é a flecha inicial devido ao concreto ainda fresco. Outro fato a ser observado é o uso de vigas de madeira roliça com no mínimo 30 cm de diâmetro, mesmo que o dimensionamento leve a um menor diâmetro.

7.2.5 Recomendações construtivas

- Todas as peças de madeira de reflorestamento devem ser tratadas com CCA em autoclave.
- Os conectores metálicos devem ser tratados com anticorrosão (galvanização a fogo) e colados na madeira com adesivo epóxi.
- Para facilitar o escoamento de água, devem ser instalados dutos de PVC nas laterais da ponte, perto do rodeiro.
- É recomendável aplicação de pavimentação asfáltica sobre a laje de concreto.
- As infra-estruturas das fundações devem ser projetadas por profissional, que tenha pleno conhecimento na área de solos.

7.3 PROJETO DE GALPÃO TIPO PÓRTICO RÍGIDO

Este item tem como objetivo apresentar um roteiro de cálculo para o dimensionamento de estruturas com peças roliças de madeira, do sistema estrutural tipo pórtico rígido, para construção de um galpão industrial. Os critérios de dimensionamento são de acordo com o texto normativo da NBR 7190:1997, Projeto de Estruturas de Madeira, baseado no Método dos Estados Limites (MEL).

As dimensões para o pré-dimensionamento do anteprojeto do galpão, tais como largura, comprimento, altura, entre outras, foram propostas em função da possibilidade de empregar os resultados fornecidos neste trabalho, em um projeto prático, contribuindo como referência para os calculistas.

7.3.1 Esquema geral do modelo de galpão tipo pórtico rígido

As estruturas de galpões tipo pórtico rígido, projetadas com peças roliças de madeira, normalmente são compostas pelos elementos estruturais das terças e pelos pórticos compostos pelas vigas inclinadas engastadas sobre as colunas e contraventados com sistemas de tirantes de barras de aço, e as bases das colunas, são geralmente engastadas nos blocos de fundações. A figura 7.14 representa a planta de locação das colunas do galpão tipo pórtico rígido. A figura 7.15 representa a vista de elevação do pórtico central detalhado no Corte A.A. As figuras 7.17 e 7.18 representam respectivamente os contraventamentos verticais e horizontais do galpão, em forma de X, com tirantes de barras de aço e com esticadores.

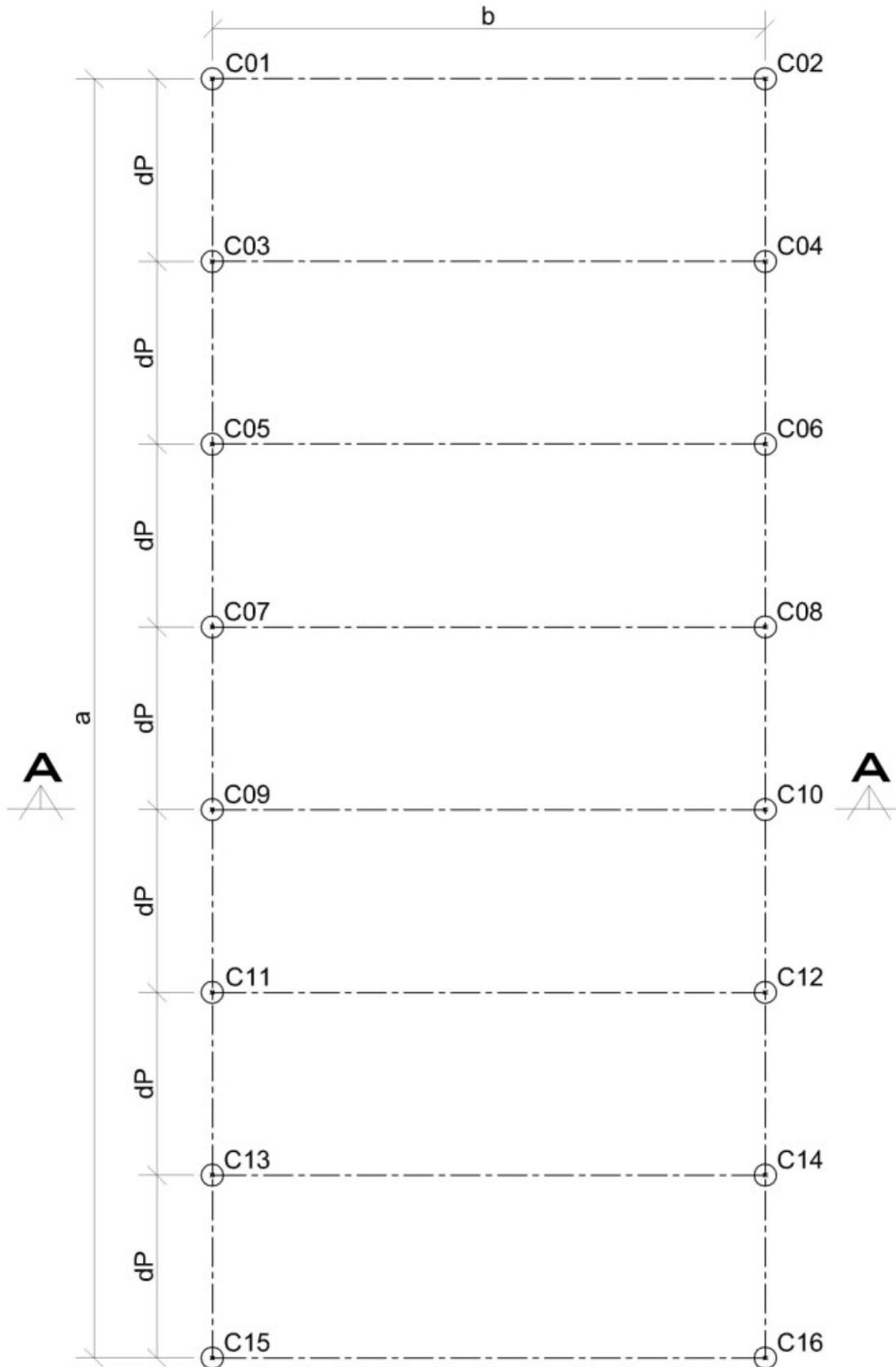


Figura 7.14: Planta de Localização das Colunas (sem escala). Fonte: BRITO (2010).

Onde:
 a corresponde ao comprimento longitudinal do galpão;
 b corresponde ao vão do pórtico, entre os eixos das colunas;
 C é a nomenclatura da posição de cada coluna;
 dP é a distância do espaçamento entre pórticos, entre os eixos das colunas.

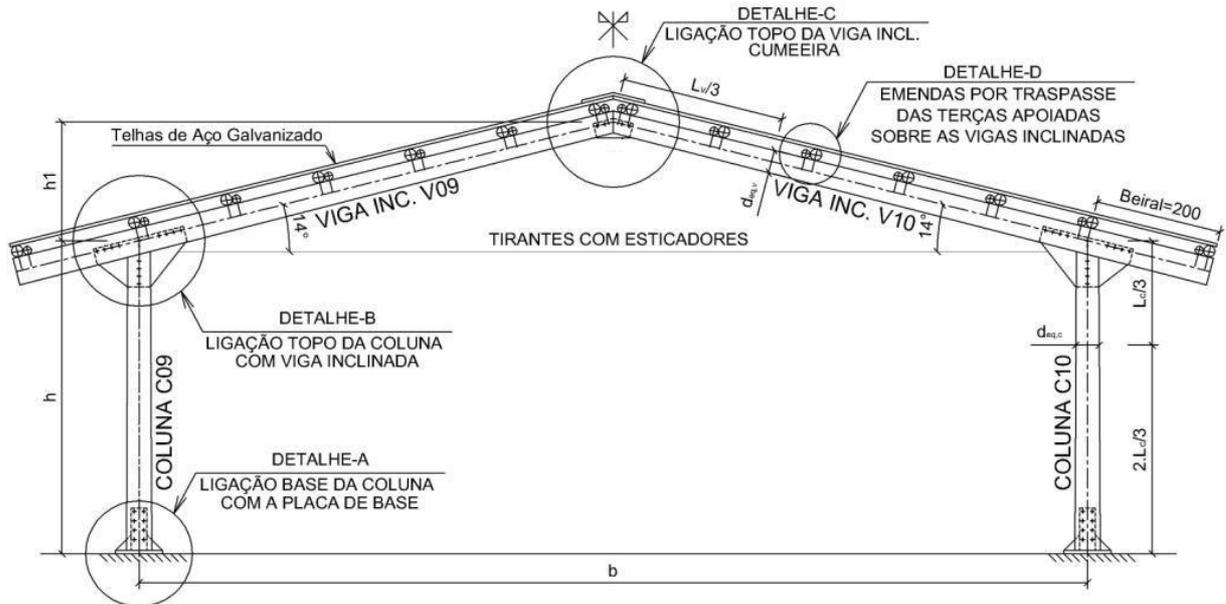


Figura 7.15: Corte A-A: vista de elevação do pórtico central (sem escala). Fonte: BRITO (2010).
 Onde: b corresponde ao vão do pórtico, entre os eixos das colunas;
 $d_{eq,c}$ corresponde ao diâmetro equivalente da coluna;
 $d_{eq,v}$ corresponde ao diâmetro equivalente da viga inclinada;
 h corresponde à altura do nível do piso acabado até o eixo da viga inclinada (pé direito);
 h_1 é a altura da cobertura;
 L_c corresponde ao comprimento efetivo da coluna;
 L_v corresponde ao vão efetivo da viga inclinada.

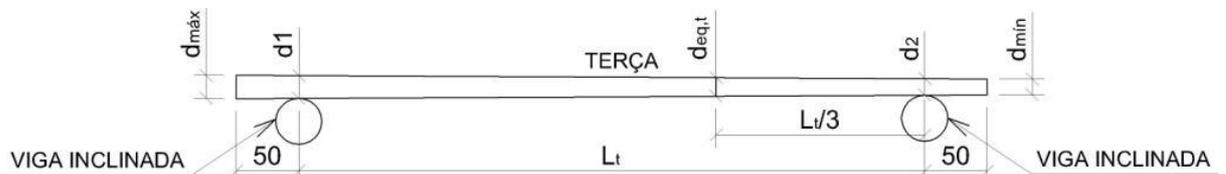


Figura 7.16: Detalhes das terças: diâmetros correspondentes na peça roliça. (sem escala).
 Onde: d_1 corresponde ao maior diâmetro da terça apoiado sobre a viga inclinada;
 d_2 corresponde ao menor diâmetro da terça apoiado sobre a viga inclinada;
 $d_{eq,t}$ corresponde ao diâmetro equivalente da terça;
 $d_{máx}$ corresponde ao diâmetro máximo da terça (base da peça roliça);
 $d_{mín}$ corresponde ao diâmetro mínimo da terça (topo da peça roliça);
 L_t corresponde ao vão efetivo da terça.

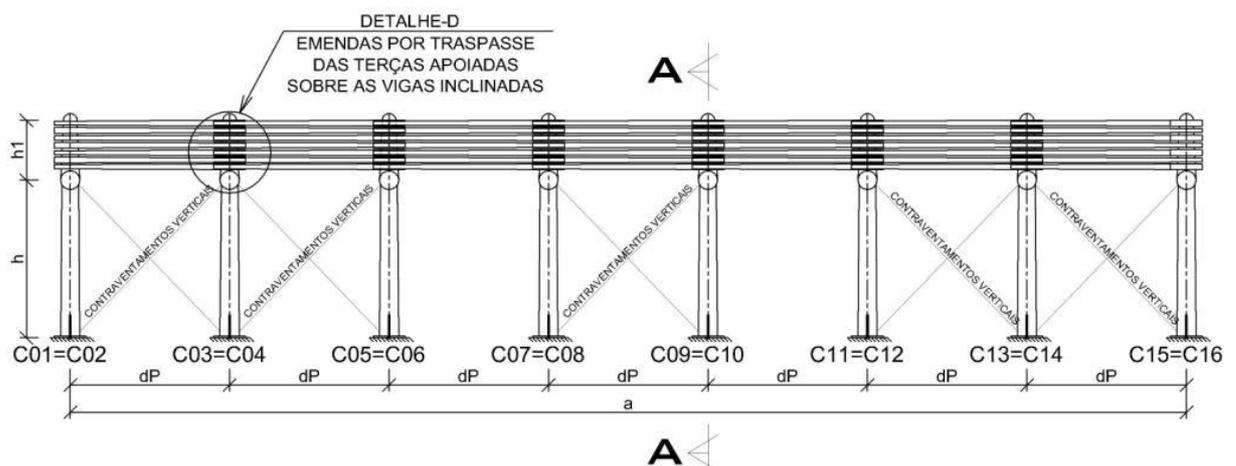


Figura 7.17: Contraventamentos verticais em X: tirantes com barras de aço. (sem escala).

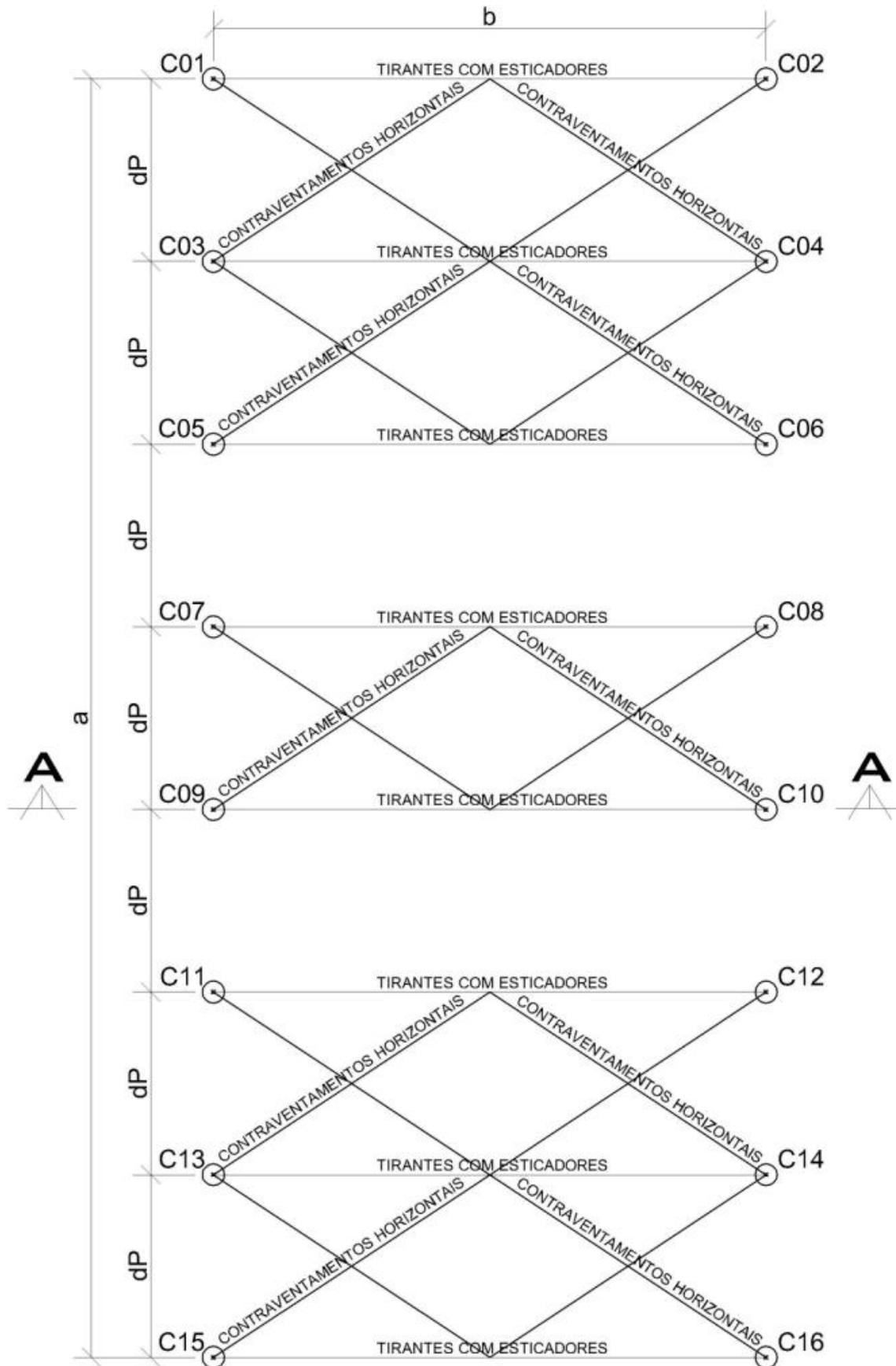


Figura 7.18: Contraventamentos horizontais em X e tirantes com barras de aço. (sem escala).

As figuras 7.19, 7.20, 7.21 e 7.22, representam os detalhes das ligações entre elementos estruturais.

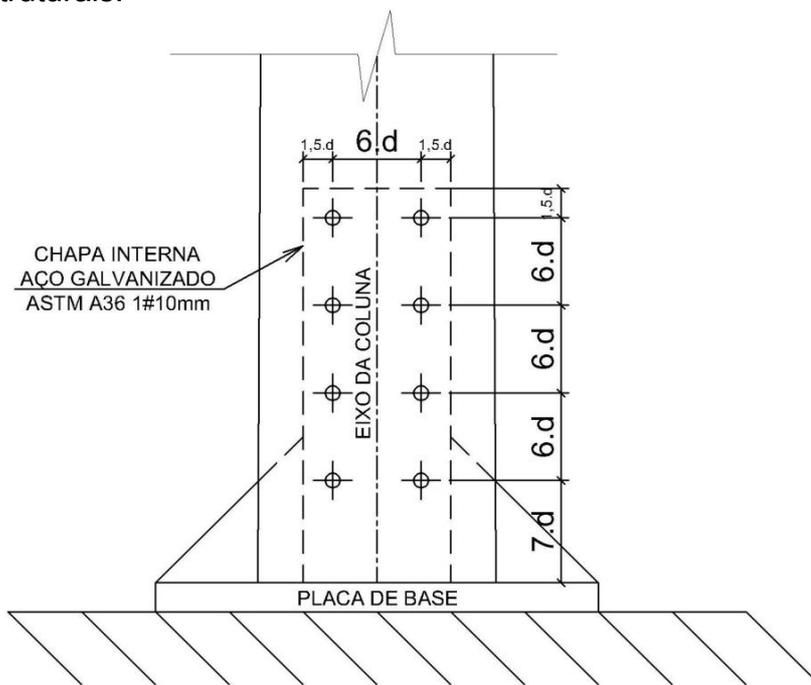


Figura 7.19: Detalhe A: Modelo genérico da conexão da placa de base enrijecida, chumbada no bloco de fundação de concreto armado, para a ligação com a base da coluna de peça roliça de madeira.

Onde: d é o diâmetro do parafuso.

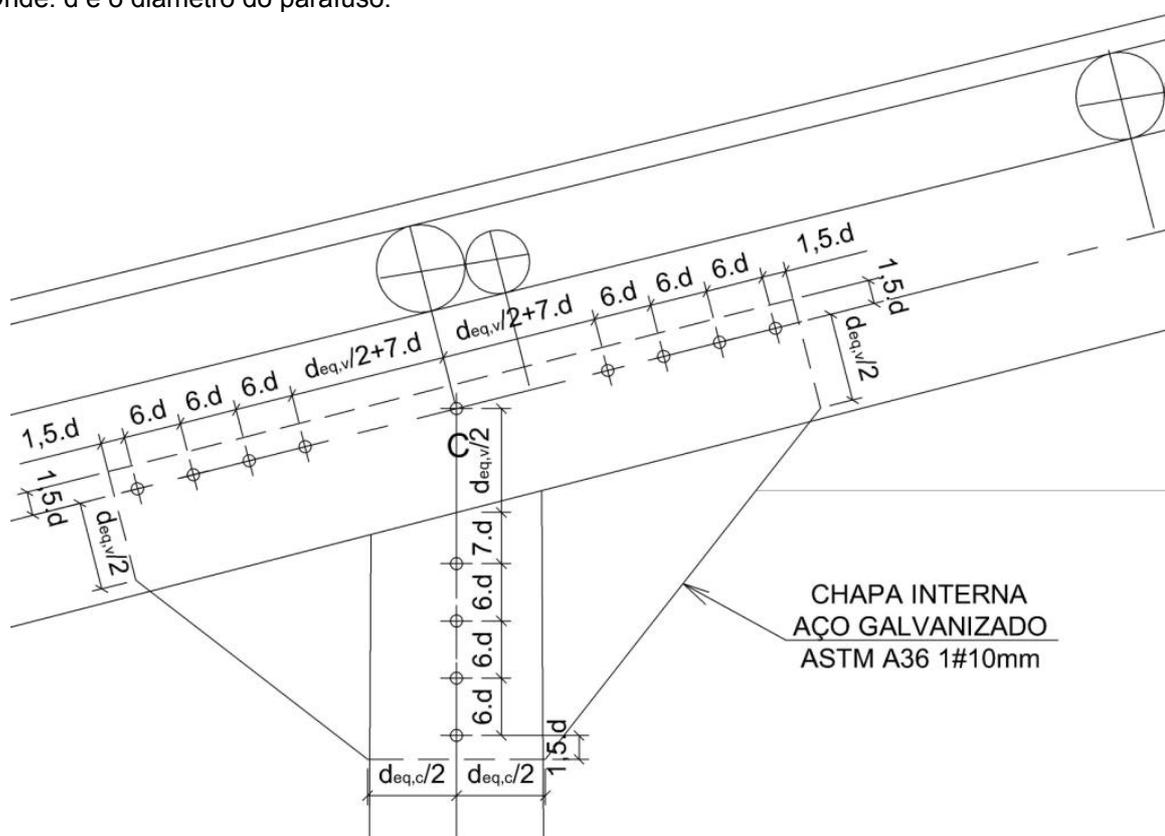


Figura 7.20: Detalhe B: Modelo genérico de conexão interna, c/ chapa de aço galvanizado, na ligação do topo da coluna com a base da viga inclinada da cobertura, que compõe o nó rígido do pórtico.

Onde: d é o diâmetro do parafuso;

$d_{eq,c}$ corresponde ao diâmetro equivalente da coluna;

$d_{eq,v}$ corresponde ao diâmetro equivalente da viga inclinada.

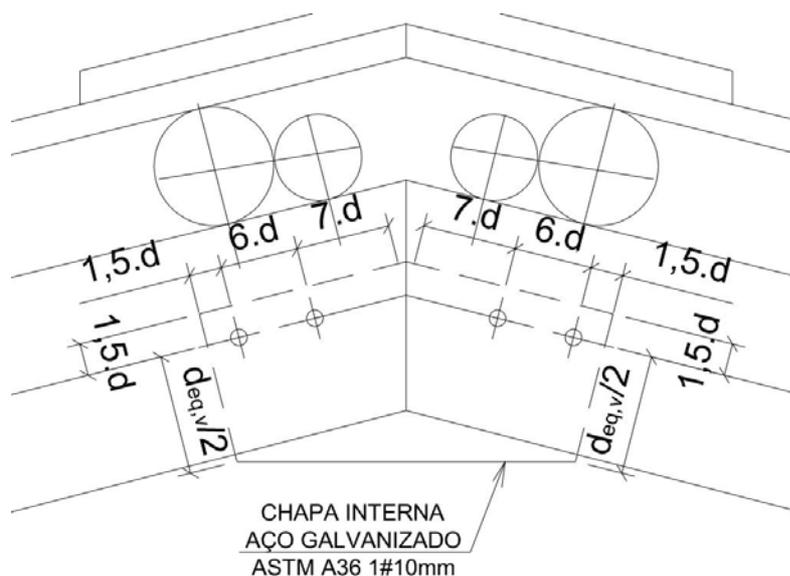


Figura 7.21: Detalhe C: Modelo genérico da conexão interna, com chapa de aço galvanizado, na ligação de topo, das vigas inclinadas, que corresponde ao nó articulado da cumeeira da cobertura. Onde: d é o diâmetro do parafuso; $d_{eq,c}$ corresponde ao diâmetro equivalente da coluna; $d_{eq,v}$ corresponde ao diâmetro equivalente da viga inclinada.

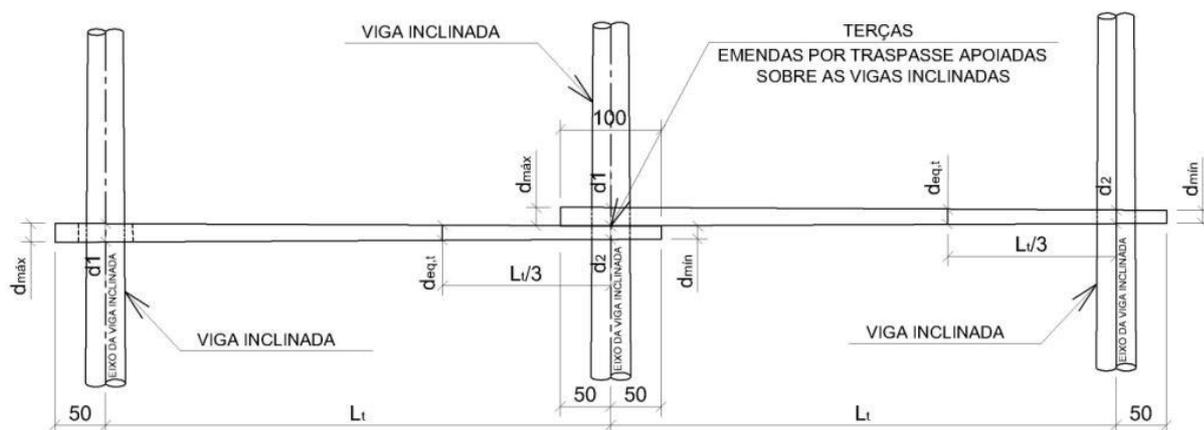


Figura 7.22: Detalhe D: vista superior das emendas por traspasse das terças. (sem escala).

7.3.2 Hipóteses de cálculo

Para o cálculo de galpões com sistema estrutural de pórticos rígidos, com peças roliças de madeira devem ser consideradas as seguintes hipóteses de cálculo:

- As terças normalmente são dimensionadas para suportar a ação permanente (peso próprio das peças e das telhas, mais um acréscimo de 3% para os conectores metálicos das ligações) e as ações variáveis (carga concentrada $Q=1\text{kN}$ no meio do vão da terça, referente a uma pessoa fazendo manutenção). É usual dimensioná-las

como vigas biapoiadas, onde as resultantes das reações de apoio são transferidas como cargas concentradas para as vigas inclinadas.

-as vigas inclinadas, do pórtico, podem ser consideradas engastadas no topo das colunas a depender do tipo de ligação a ser empregada, são dimensionadas para suportar às ações permanentes (peso próprio, cobertura, entre outras.) e as ações variáveis (manutenção, vento, entre outras). Para estruturas de galpões as ações de vento são preponderantes e sempre devem ser consideradas.

Como visto anteriormente, para peças roliças com variação na conicidade, o diâmetro de referência do poste, utilizado para o dimensionamento dos elementos estruturais, deve ser o diâmetro equivalente d_{eq} , posicionado a 1/3 do topo da peça.

- As colunas e as vigas devem ser dimensionadas como peças solicitadas a flexo-compressão. Na maioria dos casos, é usual considerar para as condições de contorno das colunas de galpões engastadas na base e travadas no topo com vigas, em uma ou duas direções, estas vinculações são consideradas como engastadas na base e apoiadas no topo reduzindo assim o comprimento de flambagem L_0 .

7.3.3 Etapas de dimensionamento

A seguir são apresentados os passos para o dimensionamento da estrutura do galpão.

1º passo: Definir a geometria e o uso da edificação

O projetista deve inicialmente definir o tipo de telha a ser empregada para definir os espaçamentos entre terças e as cargas permanentes da cobertura.

Posteriormente deve-se definir o vão, largura e a quantidade de pórticos do galpão baseado em fatores decorrentes das condições locais, como por exemplo, área do terreno e as dimensões totais do galpão. Os vãos efetivos do galpão são as distâncias medidas de centro a centro dos apoios.

Em geral, para o sistema do galpão, a quantidade de pórticos e, conseqüentemente, as larguras entre estes, são determinadas em função do comprimento do galpão.

O uso do galpão deve ser verificado pelo projetista, com o proprietário da obra, para a utilização correta das cargas conforme a NBR 6120:1980. Também para determinar qual é o grupo a ser adotado para o fator probabilístico S_3 da NBR 6123:1988, que é baseado em conceitos estatísticos, e que considera o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação. E para determinar as classes de uso, de acordo com as situações do risco de biodeterioração nos locais da instalações dos elementos estruturais, conforme a NBR 7190:1997.

2º passo: Definir a classe de resistência da madeira

O projetista deve definir os tipos de materiais que serão utilizados como elementos estruturais do galpão. A NBR 7190:1997 permite que o projetista especifique uma espécie de madeira ou utilize as recomendações de classes de resistência para madeira serrada. Porém esta norma, ainda não disponibiliza tabelas específicas para dimensionamento, com propriedades e rigidezes de espécies de madeira, considerando a seção transversal roliça. No entanto, o dimensionamento por classes de resistência permite que o projetista, ao final do projeto, especifique as espécies de madeira que se enquadrem na classe utilizada, conforme a tabela 6.6 de valores médios de resistência e rigidez de algumas espécies Madeiras Roliças de Reflorestamento, ensaiadas no LaMEM, apresentada no capítulo 6 deste trabalho. O proprietário ou o construtor poderá optar pela espécie mais conveniente para a obra, dentro das indicações do projetista.

3º passo: Estimar a ação permanente

Definido o uso do galpão, o vão teórico e classe da madeira a ser utilizada, pode-se recorrer às indicações das tabelas práticas de pré-dimensionamento do item 7.3.4 para estimar a carga permanente. Lembrando-se que se deve acrescentar 3% ao peso próprio da madeira, devido aos conectores metálicos.

4º passo: Estimar a ação variável (acidental)

Segundo a NBR 6120, no item 2.2.1.4, deve-se considerar uma carga concentrada de 1kN (uma pessoa) aplicada na posição mais desfavorável da peça em estudo. Portanto para terças de galpões, é usual considerar a ação variável acidental de uma carga concentrada $Q = 1\text{kN}$ aplicada no meio do vão da mesma.

5º passo: Ações variáveis acidentais devido ao vento nas edificações

O procedimento para o cálculo das forças devidas ao vento nas edificações deve ser analisado conforme a NBR 6123:1988, e sempre deve ser considerado.

As forças devidas ao vento sobre uma edificação devem ser calculadas separadamente para:

- elementos de vedação e suas fixações (telhas, vidros, esquadrias, painéis de vedação, entre outros.);
- partes da estrutura (telhados, paredes, entre outros.);
- os pórticos;
- a estrutura como um todo.

6º passo: Cálculo dos esforços solicitantes máximos

Para o dimensionamento de vigas, é necessário calcular os esforços solicitantes máximos, devido à carga permanente e à acidental.

O momento máximo característico, devido à carga permanente, no meio do vão de vigas biapoiadas, por exemplo, as que correspondem às terças, é dado pela equação clássica:

$$M_{g,k} = \frac{q \cdot L^2}{8}$$

A flecha máxima característica, devido à carga permanente, no meio do vão de vigas biapoiadas, é dada pela equação:

$$u_{g,k} = \frac{5}{384} \cdot \frac{g \cdot L^4}{E_{M,ef} \cdot I}$$

A reação de apoio característica, devido à carga permanente de vigas biapoiadas, é dada pela seguinte equação:

$$R_{g,k} = \frac{g \cdot L}{2}$$

A cortante máxima característica, devido à carga permanente de vigas biapoiadas, é dada pela seguinte equação:

$$V_{g,k} = \frac{g \cdot L}{2}$$

As sugestões de cálculos dos esforços máximos, para os casos de flexão descritos, são simplificações para determinações dos esforços de vigas biapoiadas, que fornecem uma aproximação razoável. Para outros tipos de vinculações nas extremidades das barras submetidas à flexão, o projetista pode recorrer às tabelas da teoria clássica de flexão. Ou ainda, para uma análise mais elaborada, o projetista pode utilizar programas computacionais, de pórticos espaciais, elementos finitos, entre outros. Porém é recomendado que o profissional conheça a fundo, os parâmetros e limitações do programa a ser utilizado.

7º passo: Realizar as combinações das ações

Para as verificações dos Estados Limites Últimos nas situações de projeto de estruturas de madeira, as combinações de ações devem ser definidas de acordo a NBR 7190:1997, conforme o critério:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{gj} \cdot G_{kj} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{qi} \cdot Q_{ki}$$

Onde: $\gamma_g = 1,3$ para madeira classificada (pequena variabilidade) e 1,4 quando o peso próprio não supera 75% da totalidade dos pesos permanentes (grande variabilidade);

$\gamma_q = 1,4$ para ações variáveis (cargas acidentais);

Para o dimensionamento dos elementos estruturais, os valores de cálculo das ações momento fletor e cortante, devem ser obtidos pela envoltória das combinações.

8º passo: Verificações dos Estados Limites

Neste passo, o projetista deve fazer as verificações dos Estados Limites Últimos (ELU) que devem atender às condições satisfatórias das tensões nos elementos estruturais e as verificações dos Estados Limites de Serviço (ELS) que correspondem em atender aos limites de deformações dos elementos estruturais, conforme os critérios da NBR 7190:1997. A segurança da estrutura em relação a possíveis estados limites será garantida pelo respeito às condições construtivas especificadas pela NBR 7190:1997 e, simultaneamente, pela obediência às condições analíticas de segurança expressas por $S_d \leq R_d$. Onde S_d é a solicitação de cálculo e R_d é a resistência de cálculo, e são determinadas em função dos valores de cálculo de suas respectivas variáveis básicas de segurança. Em casos especiais, permite-se tomar a resistência de cálculo R_d como uma fração da resistência característica R_k estimada experimentalmente, sendo:

$$R_d = K_{\text{mod}} \cdot \frac{R_k}{\gamma_w}$$

Onde: K_{mod} é o coeficiente de modificação;

γ_w é o coeficiente de minoração da madeira.

9º passo: Conferir o peso próprio considerado

Neste passo o projetista deve conferir o peso próprio estimado no início dos cálculos com o obtido das dimensões adotadas. Se a diferença entre o peso próprio estimado e o real for maior que 10% deve-se refazer os cálculos agora com o novo valor de peso-próprio. Esse procedimento iterativo deve continuar até que a diferença seja menor que 10%. Em geral não é preciso mais do que uma revisão dos cálculos.

7.3.4 Tabelas práticas de pré-dimensionamento

Para o anteprojeto de galpões do tipo pórtico, a tabela 7.6 indica a critério de pré-dimensionamento, o diâmetro médio para a viga da terça da cobertura em função do vão da distância entre os pórticos, da classe de resistência e do tipo da madeira empregada, considerando carga distribuída de 0,1 kN/m² correspondente à utilização de telhas de aço galvanizadas.

Tabela 7.6: Diâmetro médio das vigas das terças, para galpões tipo pórtico, com cargas de 0,1 kN/m².

Vão (m)	Coníferas			Dicotiledôneas				
	C20	C25	C30	C20	C30	C40	C50	C60
3,0	14 cm	13 cm	13 cm	14 cm	13 cm	12 cm	11 cm	10 cm
5,0	20 cm	18 cm	16 cm	18 cm	16 cm	15 cm	14 cm	13 cm

Fonte: Tabela elaborada por BRITO (2010).

Para montagem das tabelas práticas de pré-dimensionamento, foram estudados 96 modelos de pórticos distintos, sendo para três vãos de pórticos com 10m, 12m e 15m, para as oito classes de resistência de madeira das tabelas 6.2 e 6.3, e considerando a velocidade básica V_0 de vento para quatro regiões. As tabelas de 7.7 a 7.10 indicam para o anteprojeto de galpões do tipo pórtico, a critério de pré-dimensionamento, os diâmetros médios das peças roliças de madeira para as colunas e para as vigas inclinadas da cobertura, em função do vão do pórtico, da classe de resistência e do tipo da madeira empregada, considerando que o galpão será implantado em uma região correspondente com a classe de umidade 3, a carga da cobertura distribuída utilizada foi de 0,1 kN/m², correspondente à utilização de telhas de aço galvanizadas. sendo que a tabela 7.7 é recomendada para regiões com vento cuja velocidade básica V_0 é de 30 m/s, a tabela 7.8 é recomendada para regiões com vento cuja velocidade básica V_0 é de 35 m/s, a tabela 7.9 é recomendada para regiões com vento cuja velocidade básica V_0 é de 40 m/s, e a tabela 7.10 é recomendada para regiões com vento cuja velocidade básica V_0 é de 45 m/s. Nestas tabelas, também são sugeridos, a critério de pré-dimensionamento, a quantidade mínima de barras rosqueadas passantes de aço galvanizados (parafusos ASTM A36, com f_y de 250 MPa e f_u de 400MPa), que devem ser fixados com arruelas e porcas nas extremidades, de acordo com os diâmetros correspondentes, para os três modelos genéricos de conexões internas propostos, com chapas de aço galvanizado A36 com espessura de #10mm, correspondente com a espessura de corte da lâmina da moto-serra. O modelo genérico da conexão da placa de base enrijecida, chumbada no bloco de fundação de concreto armado, para a ligação com a base da coluna de peça roliça de madeira, está detalhado na figura 7.19. O modelo genérico de conexão interna, com chapa de aço galvanizado, na ligação do topo da coluna com a base da viga inclinada da cobertura, que compõe o nó rígido do pórtico, está detalhado na figura 7.20. E o modelo

genérico da conexão interna, com chapa de aço galvanizado, na ligação de topo, das vigas inclinadas, que corresponde ao nó articulado da cumeeira da cobertura, está detalhado na figura 7.21.

Tabela 7.7: Diâmetro médio das colunas e das vigas, para galpões tipo pórtico, com cargas de cobertura de 0,1 kN/m², e para regiões com vento cuja velocidade básica V_0 é de 30 m/s.

Sistema Estrutural de Pórtico Rígido	Elementos Estruturais com Peças Rolijas de Madeira. Regiões com Classe de Umidade 3.					Tirantes Cont. Ver. e Cont. Hor. Φ (mm)	Conexões internas com chapas de aço galvanizado # 10mm			
	Classes de Resistência da Madeira	Colunas pé-direito 5 metros d_{eq} (cm)	Vigas c/ Beirais de 2 metros d_{eq} (cm)	Espaç. entre Pórticos (m)	Terças d_{eq} (cm)		"Placas de Base" Parafusos Aço Galv. Φ (mm)	"Viga-coluna" Parafusos Aço Galv. Φ (mm)	"Cumeeira" Parafusos Aço Galv. Φ (mm)	
Vão de 10 metros	Coníferas	C20	31	31	3	14	10	8 Φ 16	12 Φ 12,5	4 Φ 10
					5	20	12,5			
		C25	29	29	3	13	10	8 Φ 16	12 Φ 12,5	4 Φ 10
					5	18	12,5			
		C30	28	28	3	13	10	8 Φ 16	12 Φ 12,5	4 Φ 10
					5	16	12,5			
	Dicotiledóneas Categoria II	C20	31	31	3	14	10	8 Φ 16	12 Φ 12,5	4 Φ 10
					5	18	12,5			
		C30	28	28	3	13	10	8 Φ 16	12 Φ 12,5	4 Φ 10
					5	16	12,5			
		C40	25	25	3	12	10	8 Φ 16	12 Φ 12,5	4 Φ 10
					5	15	12,5			
C50	24	24	3	11	10	8 Φ 16	12 Φ 12,5	4 Φ 10		
			5	14	12,5					
C60	22	22	3	10	10	8 Φ 12,5	12 Φ 10	4 Φ 10		
			5	13	12,5					
Vão de 12 metros	Coníferas	C20	36	36	3	14	12,5	8 Φ 16	12 Φ 12,5	4 Φ 10
					5	20	16			
		C25	33	33	3	13	12,5	8 Φ 16	12 Φ 12,5	4 Φ 10
					5	18	16			
		C30	31	31	3	13	12,5	8 Φ 16	12 Φ 12,5	4 Φ 10
					5	16	16			
	Dicotiledóneas Categoria II	C20	36	36	3	14	12,5	8 Φ 16	12 Φ 12,5	4 Φ 10
					5	18	16			
		C30	31	31	3	13	12,5	8 Φ 16	12 Φ 12,5	4 Φ 10
					5	16	16			
		C40	29	29	3	12	12,5	8 Φ 16	12 Φ 12,5	4 Φ 10
					5	15	16			
C50	27	27	3	11	12,5	8 Φ 16	12 Φ 12,5	4 Φ 10		
			5	14	16					
C60	25	25	3	10	12,5	8 Φ 16	12 Φ 12,5	4 Φ 10		
			5	13	16					
Vão de 15 metros	Coníferas	C20	44	44	3	14	16	8 Φ 20	12 Φ 16	4 Φ 12,5
					5	20	20			
		C25	38	38	3	13	16	8 Φ 20	12 Φ 16	4 Φ 12,5
					5	18	20			
		C30	37	37	3	13	16	8 Φ 20	12 Φ 16	4 Φ 12,5
					5	16	20			
	Dicotiledóneas Categoria II	C20	44	44	3	14	16	8 Φ 20	12 Φ 16	4 Φ 12,5
					5	18	20			
		C30	37	37	3	13	16	8 Φ 20	12 Φ 16	4 Φ 12,5
					5	16	20			
		C40	33	33	3	12	16	8 Φ 20	12 Φ 16	4 Φ 10
					5	15	20			
C50	31	31	3	11	16	8 Φ 20	12 Φ 16	4 Φ 10		
			5	14	20					
C60	29	29	3	10	16	8 Φ 20	12 Φ 12,5	4 Φ 10		
			5	13	20					

Fonte: Tabela elaborada por BRITO (2010).

Tabela 7.8: Diâmetro médio das colunas e das vigas, para galpões tipo pórtico, com cargas de cobertura de 0,1 kN/m², e para regiões com vento cuja velocidade básica V_0 é de 35 m/s.

Sistema Estrutural de Pórtico Rígido	Elementos Estruturais com Peças Roliças de Madeira. Situação de Risco de Deterioração: Classe de Serviço 3						Tirantes Cont. Ver. Cont. Hor. Φ (mm)	Conexões internas com chapas de aço galvanizado # 10mm		
	Classes de Resistência da Madeira	Colunas pé-direito 5 metros d_{eq} (cm)	Vigas c/ Beirais de 2 metros d_{eq} (cm)	Espaç. entre Pórticos (cm)	Terças d_{eq} (cm)	"Placas de Base" Parafusos Aço Galv. Φ (mm)		"Viga-coluna" Parafusos Aço Galv. Φ (mm)	"Cumeeira" Parafusos Aço Galv. Φ (mm)	
Vão de 10 metros	Coníferas	C20	34	34	3	14	10	8 Φ 16	12 Φ 12,5	4 Φ 12,5
					5	20	12,5			
		C25	31	31	3	13	10	8 Φ 16	12 Φ 12,5	4 Φ 12,5
					5	18	12,5			
		C30	30	30	3	13	10	8 Φ 16	12 Φ 12,5	4 Φ 12,5
					5	16	12,5			
	Dicotiledóneas Categoria II	C20	34	34	3	14	10	8 Φ 16	12 Φ 12,5	4 Φ 12,5
					5	18	12,5			
		C30	30	30	3	13	10	8 Φ 16	12 Φ 12,5	4 Φ 12,5
					5	16	12,5			
		C40	27	27	3	12	10	8 Φ 16	12 Φ 12,5	4 Φ 10
					5	15	12,5			
C50	25	25	3	11	10	8 Φ 16	12 Φ 12,5	4 Φ 10		
			5	14	12,5					
C60	23	23	3	10	10	8 Φ 16	12 Φ 12,5	4 Φ 10		
			5	13	12,5					
Vão de 12 metros	Coníferas	C20	37	37	3	14	12,5	8 Φ 20	12 Φ 16	4 Φ 16
					5	20	16			
		C25	34	34	3	13	12,5	8 Φ 20	12 Φ 16	4 Φ 16
					5	18	16			
		C30	32	32	3	13	12,5	8 Φ 20	12 Φ 16	4 Φ 12,5
					5	16	16			
	Dicotiledóneas Categoria II	C20	37	37	3	14	12,5	8 Φ 20	12 Φ 16	4 Φ 16
					5	18	16			
		C30	32	32	3	13	12,5	8 Φ 20	12 Φ 16	4 Φ 12,5
					5	16	16			
		C40	30	30	3	12	12,5	8 Φ 20	12 Φ 16	4 Φ 12,5
					5	15	16			
C50	28	28	3	11	12,5	8 Φ 16	12 Φ 12,5	4 Φ 12,5		
			5	14	16					
C60	26	26	3	10	12,5	8 Φ 16	12 Φ 12,5	4 Φ 10		
			5	13	16					
Vão de 15 metros	Coníferas	C20	44	44	3	14	16	8 Φ 22	12 Φ 16	4 Φ 16
					5	20	20			
		C25	39	39	3	13	16	8 Φ 22	12 Φ 16	4 Φ 16
					5	18	20			
		C30	37	37	3	13	16	8 Φ 22	12 Φ 16	4 Φ 12,5
					5	16	20			
	Dicotiledóneas Categoria II	C20	44	44	3	14	16	8 Φ 22	12 Φ 16	4 Φ 16
					5	18	20			
		C30	37	37	3	13	16	8 Φ 22	12 Φ 16	4 Φ 12,5
					5	16	20			
		C40	34	34	3	12	16	8 Φ 20	12 Φ 16	4 Φ 12,5
					5	15	20			
C50	32	32	3	11	16	8 Φ 20	12 Φ 16	4 Φ 12,5		
			5	14	20					
C60	29	29	3	10	16	8 Φ 20	12 Φ 16	4 Φ 10		
			5	13	20					

Fonte: Tabela elaborada por BRITO (2010).

Tabela 7.9: Diâmetro médio das colunas e das vigas, para galpões tipo pórtico, com cargas de cobertura de 0,1 kN/m², e para regiões com vento cuja velocidade básica V_0 é de 40 m/s.

Sistema Estrutural de Pórtico Rígido	Elementos Estruturais com Peças Rolijas de Madeira. Regiões com Classe de Umidade 3.					Tirantes Cont. Ver. Cont. Hor. Φ (mm)	Conexões internas com chapas de aço galvanizado # 10mm			
	Classes de Resistência da Madeira	Colunas pé-direito 5 metros d_{eq} (cm)	Vigas c/ Beirais de 2 metros d_{eq} (cm)	Espaç. entre Pórticos (m)	Terças d_{eq} (cm)		"Placas de Base" Parafusos Aço Galv. Φ (mm)	"Viga-coluna" Parafusos Aço Galv. Φ (mm)	"Cumeeira" Parafusos Aço Galv. Φ (mm)	
Vão de 10 metros	Coníferas	C20	36	36	3	14	10	8 Φ 20	12 Φ 16	4 Φ 16
					5	20	12,5			
		C25	33	33	3	13	10	8 Φ 20	12 Φ 16	4 Φ 16
					5	18	12,5			
		C30	31	31	3	13	10	8 Φ 20	12 Φ 16	4 Φ 12,5
					5	16	12,5			
	Dicotiledóneas Categoria II	C20	36	36	3	14	10	8 Φ 20	12 Φ 16	4 Φ 16
					5	18	12,5			
		C30	31	31	3	13	10	8 Φ 20	12 Φ 16	4 Φ 12,5
					5	16	12,5			
		C40	28	28	3	12	10	8 Φ 16	12 Φ 16	4 Φ 12,5
					5	15	12,5			
	C50	26	26	3	11	10	8 Φ 16	12 Φ 12,5	4 Φ 12,5	
				5	14	12,5				
C60	24	24	3	10	10	8 Φ 16	12 Φ 12,5	4 Φ 10		
			5	13	12,5					
Vão de 12 metros	Coníferas	C20	40	40	3	14	12,5	8 Φ 20	12 Φ 16	4 Φ 16
					5	20	16			
		C25	36	36	3	13	12,5	8 Φ 20	12 Φ 16	4 Φ 16
					5	18	16			
		C30	34	34	3	13	12,5	8 Φ 20	12 Φ 16	4 Φ 16
					5	16	16			
	Dicotiledóneas Categoria II	C20	40	40	3	14	12,5	8 Φ 20	12 Φ 16	4 Φ 16
					5	18	16			
		C30	34	34	3	13	12,5	8 Φ 20	12 Φ 16	4 Φ 16
					5	16	16			
		C40	31	31	3	12	12,5	8 Φ 20	12 Φ 16	4 Φ 16
					5	15	16			
	C50	29	29	3	11	12,5	8 Φ 20	12 Φ 16	4 Φ 12,5	
				5	14	16				
C60	27	27	3	10	12,5	8 Φ 20	12 Φ 12,5	4 Φ 12,5		
			5	13	16					
Vão de 15 metros	Coníferas	C20	45	45	3	14	16	8 Φ 25	12 Φ 20	4 Φ 16
					5	20	20			
		C25	41	41	3	13	16	8 Φ 25	12 Φ 20	4 Φ 16
					5	18	20			
		C30	40	40	3	13	16	8 Φ 25	12 Φ 20	4 Φ 16
					5	16	20			
	Dicotiledóneas Categoria II	C20	45	45	3	14	16	8 Φ 25	12 Φ 20	4 Φ 16
					5	18	20			
		C30	40	40	3	13	16	8 Φ 25	12 Φ 20	4 Φ 16
					5	16	20			
		C40	36	36	3	12	16	8 Φ 22	12 Φ 16	4 Φ 16
					5	15	20			
	C50	34	34	3	11	16	8 Φ 22	12 Φ 16	4 Φ 16	
				5	14	20				
C60	31	31	3	10	16	8 Φ 20	12 Φ 16	4 Φ 12,5		
			5	13	20					

Fonte: Tabela elaborada por BRITO (2010).

Tabela 7.10: Diâmetro médio das colunas e das vigas, para galpões tipo pórtico, com cargas de cobertura de 0,1 kN/m², e para regiões com vento cuja velocidade básica V_0 é de 45 m/s.

Sistema Estrutural de Pórtico Rígido	Elementos Estruturais com Peças Rolijas de Madeira. Situação de Risco de Deterioração: Classe de Serviço 3					Tirantes Cont. Ver. Cont. Hor. Φ (mm)	Conexões internas com chapas de aço galvanizado # 10mm			
	Classes de Resistência da Madeira	Colunas pé-direito 5 metros d_{eq} (cm)	Vigas c/ Beirais de 2 metros d_{eq} (cm)	Espaç. entre Pórticos (cm)	Terças d_{eq} (cm)		"Placas de Base" Parafusos Aço Galv. Φ (mm)	"Viga-coluna" Parafusos Aço Galv. Φ (mm)	"Cumeeira" Parafusos Aço Galv. Φ (mm)	
Vão de 10 metros	Coníferas	C20	37	37	3	14	10	8 Φ 20	12 Φ 16	4 Φ 16
					5	20	12,5			
		C25	34	34	3	13	10	8 Φ 20	12 Φ 16	4 Φ 16
					5	18	12,5			
		C30	32	32	3	13	10	8 Φ 20	12 Φ 16	4 Φ 16
					5	16	12,5			
	Dicotiledóneas Categoria II	C20	37	37	3	14	10	8 Φ 20	12 Φ 16	4 Φ 16
					5	18	12,5			
		C30	32	32	3	13	10	8 Φ 20	12 Φ 16	4 Φ 16
					5	16	12,5			
		C40	29	29	3	12	10	8 Φ 20	12 Φ 16	4 Φ 12,5
					5	15	12,5			
	C50	27	27	3	11	10	8 Φ 20	12 Φ 16	4 Φ 12,5	
				5	14	12,5				
C60	25	25	3	10	10	8 Φ 16	12 Φ 12,5	4 Φ 12,5		
			5	13	12,5					
Vão de 12 metros	Coníferas	C20	42	42	3	14	12,5	8 Φ 22	12 Φ 16	4 Φ 16
					5	20	16			
		C25	38	38	3	13	12,5	8 Φ 22	12 Φ 16	4 Φ 16
					5	18	16			
		C30	36	36	3	13	12,5	8 Φ 22	12 Φ 16	4 Φ 16
					5	16	16			
	Dicotiledóneas Categoria II	C20	42	42	3	14	12,5	8 Φ 22	12 Φ 16	4 Φ 16
					5	18	16			
		C30	36	36	3	13	12,5	8 Φ 22	12 Φ 16	4 Φ 16
					5	16	16			
		C40	33	33	3	12	12,5	8 Φ 20	12 Φ 16	4 Φ 16
					5	15	16			
	C50	31	31	3	11	12,5	8 Φ 20	12 Φ 16	4 Φ 16	
				5	14	16				
C60	28	28	3	10	12,5	8 Φ 20	12 Φ 16	4 Φ 12,5		
			5	13	16					
Vão de 15 metros	Coníferas	C20	47	47	3	14	16	8 Φ 25	12 Φ 20	4 Φ 20
					5	20	20			
		C25	43	43	3	13	16	8 Φ 25	12 Φ 20	4 Φ 20
					5	18	20			
		C30	41	41	3	13	16	8 Φ 25	12 Φ 20	4 Φ 20
					5	16	20			
	Dicotiledóneas Categoria II	C20	47	47	3	14	16	8 Φ 25	12 Φ 20	4 Φ 20
					5	18	20			
		C30	41	41	3	13	16	8 Φ 25	12 Φ 20	4 Φ 20
					5	16	20			
		C40	37	37	3	12	16	8 Φ 25	12 Φ 20	4 Φ 20
					5	15	20			
	C50	35	35	3	11	16	8 Φ 22	12 Φ 16	4 Φ 16	
				5	14	20				
C60	32	32	3	10	16	8 Φ 22	12 Φ 16	4 Φ 16		
			5	13	20					

Fonte: Tabela elaborada por BRITO (2010).

7.3.5 Recomendações construtivas

- Todas as peças de madeira de reflorestamento devem ser tratadas com preservativos em autoclave, conforme as classes de uso correspondentes.
- Para aumentar a vida útil das peças de madeira, além do tratamento preservativo, recomenda-se a aplicação stain, que tem a função de proteção externa da madeira.
- Os conectores metálicos e parafusos, devem ser tratados com anticorrosão (galvanização à fogo).
- As infra-estruturas das fundações devem ser projetadas por profissional, que tenha pleno conhecimento na área de solos.
- Para aumentar a durabilidade das bases das colunas, recomenda-se que as mesmas sejam projetadas com conexões em placas de base de aço galvanizado chumbadas nos blocos de fundações em concreto armado, e fixadas de tal maneira que as peças de madeira não fiquem em contato direto com piso ou base de concreto, evitando a concentração da umidade.
- A estrutura global deve ser contraventada horizontalmente e verticalmente com tirantes de aço.
- Sempre que possível, elaborar dispositivos para captação das águas pluviais, como calhas e rufos, de tal maneira a favorecer a proteção das peças de madeira contra a concentração de umidade.

8 ANEXO: FICHAS TÉCNICAS DE PROJETOS E CONSTRUÇÕES

Este anexo tem por finalidade apresentar diversos exemplos de projetos e construções de estruturas com peças roliças de madeira, na grande maioria proveniente de reflorestamento.

Para esta etapa através de contatos com profissionais de usinas de preservação de madeira, empresas de engenharia e arquitetura, e instituições que projetaram ou desenvolveram pesquisas e construções com peças roliças de madeira de reflorestamento tratadas, foram catalogadas as informações técnicas, afim de confeccionar fichas técnicas de obras utilizando este material, visando realizar um rastreamento, listando as experiências e estudos existentes, desenvolvidos no Brasil e no exterior, BRITO (2010).

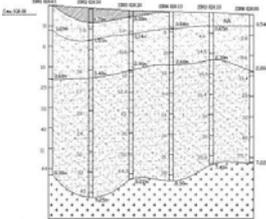
Os métodos empregados para a catalogação dos projetos e construções, foram sempre que possível através de contato pessoal em entrevistas, visitas técnicas, pesquisas bibliográficas, publicações e através de telefone, e-mail e internet.

A compatibilidade no emprego de peças roliças a diversos materiais disponíveis na construção civil, viabiliza uma série de arranjos de estruturas simples ou mistas, utilizando estes diversos materiais também como fechamento, em muitos casos, favorecendo o meio ambiente de forma sustentável.

Na sequência, são apresentadas 124 fichas técnicas elaboradas por BRITO (2010), com exemplos de projetos e construções de sistemas estruturais e contrutivos utilizando peças de madeira roliça tratada, especialmente de espécies de madeiras provenientes de reflorestamento (eucalipto e pinus), usuais no desenvolvimento de projetos estruturais na construção civil, tais como estacas de fundações, passarelas, pontes, quiosques, galpões rurais, edificações residenciais, comerciais, hotelarias, igrejas, instituições de ensino, sedes de parques ecológicos e ambientais, estruturas de locais de eventos, coberturas, estruturas de arquibancadas, parques turísticos e com brinquedos infantis, terminal de aeroporto, torres de observação, estruturas de cimbramentos para formas de estruturas de concreto, defensas de rodovias, barreiras acústicas, entre outros. Estes sistemas estruturais utilizando peças roliças de madeira provenientes de reflorestamento proporcionam a economia e podem favorecer o meio ambiente de forma sustentável, BRITO (2010).



Ensaio de flexão em estaca.



Perfil de sondagem do solo.



Preparação do terreno com retro-escavadeira.



Locação topográfica para a cravação das estacas.



Preparação das estacas: bisel no pé das estacas.



Içamento da estaca.

ESTAQUEAMENTO PARA PONTES



Localização: São Carlos, SP.

Utilização: estacas para pontes de madeira.

Tese de Doutorado: Alexandre José Soares Miná (2005).

Sistema estrutural: estacas de madeira roliça

Elementos Estruturais: madeira roliça de eucalipto Citriodora.

Diâmetros médios: 35 cm

Ligações:

Fundações: Blocos em Concreto Armado sobre estacas de madeira roliça de eucalipto Citriodora.

Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.



Equipamento de bate-estacas: martelo, capacete.



Içamento da estaca de madeira roliça.



Cravação da estaca: martelo sobre o capacete no topo da estaca.

Fonte: MINÁ (2005).



Cravação da estaca.



Medição da altura de queda do martelo, e medição do repique.



Estaca cravada: capacete sobre a cabeça da estaca.



Retirada do capacete da estaca cravada.



Chapa c/ dentes estampados na cabeça da estaca.



Estacas cravadas.

Dados da Passarela do Butantã:

Comprimento: os módulos estruturais, no total de seis, sendo dois referentes a passarela principal com cerca de 16,50m cada, e quatro módulos referentes as rampas de acesso com cerca de 15,50m cada. O comprimento total da passarela é de 32,40 metros.

Montagem: inicialmente as treliças planas foram montada em bancadas, sendo cada uma formada por dois postes, medindo entre 16m e 17m, dependendo do tipo do módulo projetado.

A estrutura principal foi unida no canteiro central. Nesta fase, sobre o piso de madeira já instalado nos módulos, foi aplicada uma camada de asfalto com pedrisco, para proteger a madeira e tornar a superfície mais áspera (piso anti — derrapante).

Para o içamento e instalação da passarela foram utilizados dois guindastes com capacidade máxima de 30t cada um. A lança máxima dos guindastes era de aproximadamente 15m. O içamento da passarela principal foi efetuado em três movimentos, desde o posicionamento no solo até sua colocação sobre os pilares de concreto, em cerca de 2 horas, com trabalho conjunto de dois guindastes. A maior demora ocorre na instalação das rampas de acesso, por estas estarem inclinadas em relação ao plano horizontal.

PASSARELA DO BUTANTÃ



Localização: São Paulo, SP.

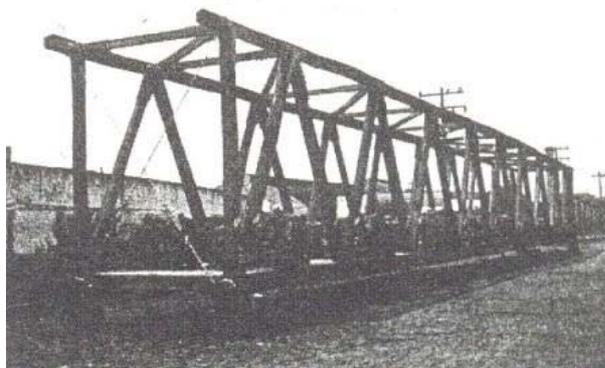
Projeto: Takashi Yojo, Nilson Franco, Reinaldo H.

Ponce, Mano Leone, Joaquim Carlos Simões — IPT

Sistema Estrutural: Cada módulo de estrutura espacial é formado por duas treliças planas posicionadas verticalmente ligadas entre si através de peças horizontais também em madeira.

Espécie: eucalipto citriodora 50m3, pinus serrado e perfilado.

Ligações: chapas de aço (zincadas a quente) soldadas e parafusadas (passantes) na madeira.



Vista de um módulo da passarela no botantã.

Fonte: Yojo et al (1993).

PONTE SOBRE O RIO TAMANDUATEÍ 1906



Localização: São Paulo, SP.

Projeto: IPT - Takashi Yojo; Nilson Franco, Reinaldo H. Ponce; Mário Leone; Joaquim Carlos Simões.

Sistema estrutural: estruturas de duas treliças planas, posicionadas verticalmente, ligadas entre si através de vigas horizontais de madeira roliça.

Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça.

Diâmetros das peças: 20 a 30 cm.

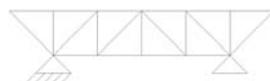
Ligações: chapas de aço soldadas e parafusadas, barras de aço como pendurais e barras rosqueadas passantes, arruelas e porcas.



Ponte de madeira com viga em treliça dupla, pendurais de aço, construída sobre o rio Tamanduaeté em 1906.

Fonte: HELLMMEISTER (1978).

Sistemas estruturais de vigas treliçadas:

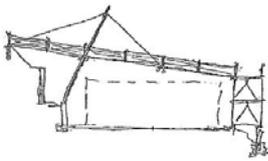


Fonte: NATTERER (1998)

Dados da Ponte sobre o Rio Tamanduaeté:

As pontes de madeira tem acompanhado o homem em toda a sua história. Principalmente no início do desenvolvimento de cada região, a solução mais prática na construção das pontes constituiu sempre na utilização da madeira, HELLMMEISTER (1978).

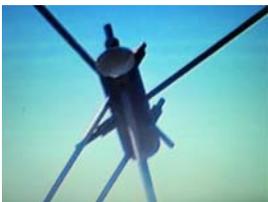
Em São Paulo, existiram até 1940 sobre o rio Tietê e sobre o Rio Tamanduaeté algumas pontes de madeira, de construção mais evoluídas, para uma única faixa de tráfego, usada pelos automóveis e pelos bondes elétricos.



Proj. Arquitetônico Vallorbe



Contraventeamento do pórtico.



Esticador do contraventeamento.



Barras de aço (estais).



Placa de fixação dos estais.



Vista frontal da placa de base de fixação dos estais.



Vista lateral da placa de base de fixação dos estais.

PASSARELA ESTAIADA VALLORBE

 Localização: Vallorbe, Suíça.

Projeto: Julius Natterer, Construído em Bois 2, em 1989.

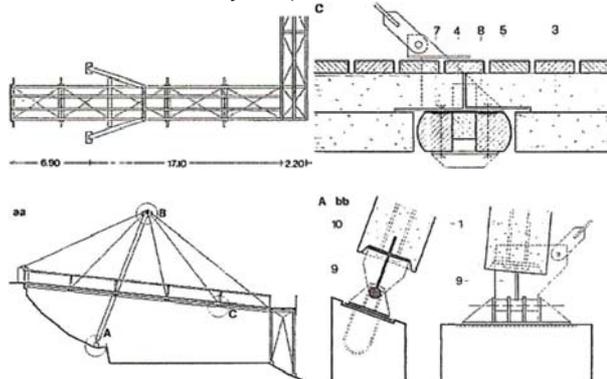
Sistema Estrutural: Passarela Estaiada. As vigas longitudinais do tabuleiro são compostas de duas madeiras roliças aplainadas nas duas faces. O sistema portante da passarela consiste em cinco quadros com dois apoios suspensos em dois pilares inclinados formando o pórtico de sustentação dos estaios. Os contraventamentos em cruz dispostos na parte superior e inferior do tabuleiro estabilizam a torre transversalmente. Os contraventamentos horizontais sob o tabuleiro garantem a estabilidade do mesmo.

Comprimento: rampa de acesso com 35,0m

Vão: 24,0m

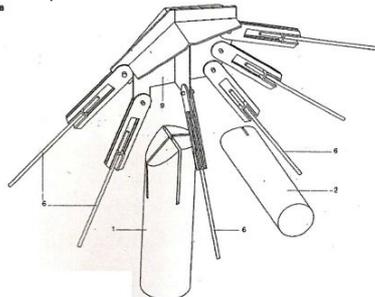
Ligações: Barras de aço galvanizadas com $\Phi 10\text{mm}$ e ganchos metálicos.

Tratamento: Madeiras roliças de pinus tratadas em autoclave



Legenda:

- 1- Peças de Madeira Roliça $\Phi 36\text{cm}$
- 2- Peças de Madeira Roliça $\Phi 30\text{cm}$
- 3- Duas Peças de Madeira Roliça $\Phi 24\text{cm}$
- 4- Seções de Madeira serrada 12/14-28
- 5- Pranchas de Piso 6/20
- 6- Barras de aço galvanizado
- 7- Suporte metálico com 5mm de espessura
- 8- grampos metálicos
- 9- Placas de base em aço galvanizado 15mm
- 10- Barra metálica parafusada



Placa de fixação dos estais (capuz). Fonte: NATTERER (1998).



Passarela Estaiada Vallorbe. Fonte: Base dados LaMEM.



Vista da rampa da Passarela Estaiada



Bases e colunas do pórtico de sustentação dos estais.



Placa de base de uma das colunas do pórtico .



Vista inferior do tabuleiro.



Contraventamentos horizontais e verticais.



Ligações vigas-coluna da rampa de acesso.



Bases das colunas da rampa de acesso.

PASSARELA ESTAIADA LAMEM



Maquete da passarela

Procedimento de instalação do poste (mastro da passarela).



Conecção do topo do poste (capuz).



Placa de base articulada.



Parte da placa de base instalada na base do poste (Mastro).



Lçamento do Poste.



Posicionamento da base do poste na placa de base de aço articulada, chumbada no bloco de fundação.



Local: LaMEM, EESC, USP. São Carlos, SP.

Projeto: Tese de doutorado de Everaldo Pletz - 2003

Vão aproximado: 32,51 metros

Sistema Estrutural: Passarela estaiada com tabuleiro de pinus em madeira laminada protendida em módulos curvos, sustentada por um poste de eucalipto Citriodora de 13 metros de altura, e aproximadamente 30kN, propositalmente inclinado. Primeira passarela de madeira em curva protendida e estaiada da América Latina.

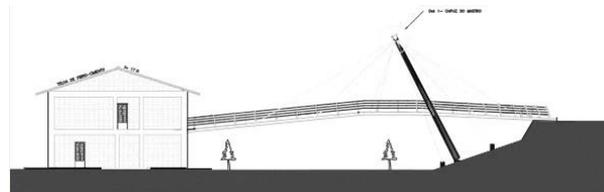
Diâmetro da base do poste: 55cm

Diâmetro do Topo do poste: 45cm

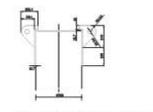
Ligações: Os estaios são constituídos de aço galvanizadas com $\Phi 32\text{mm}$ (Dywidag) e ganchos metálicos, para sustentação do tabuleiro, unindo o topo do poste às vigas transversinas de aço.

Tratamento: poste de eucalipto e madeiras serradas de pinus tratadas por impregnação de CAA em autoclave, e proteção superficial pintadas com stain.

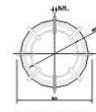
Uso: Passarela para travessia de acesso do LaMEM para a edificação do Departamento de Engenharia de Estruturas (SET) da EESC – USP. Classe da passarela: sobrecarga de 5kN/m².



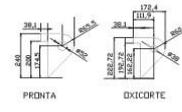
Elevação Escal/150



Det 1 - Seção do Capuz Escal/20



Vista do Capuz do Mastro Escal/20



PRONTA DEXCORTA

Detalhes do projeto estrutural da passarela. Fonte: PLETZ (2003).



a) Ligação dos estais no topo do poste



b) Placa de base do poste



Vista da Passarela em curva protendida e estaiada.

Fonte: PLETZ (2003).



Detalhe da placa de base p/ sustentação do estal do poste.



Aplicando protensão nos módulos do tabuleiro.



Cimbramento metálico.



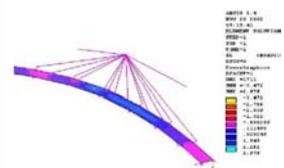
Instalação dos módulos do tabuleiro.



Colocação dos estais.



Prova de carga c/ piscinas.



Análise Estrutural (ANSYS).

PASSARELA SOBRE O CÓRREGO MEDEIROS



Pórtico do pergolado.



Colunas inclinadas do pórtico do pergolado.



Colunas inclinadas do pórtico do pergolado.



Estrutura do guarda corpo.



Localização: **Jd. Bicão e Vila Carmem, São Carlos, SP.**

Sistema estrutural: misto com vigas madeira com seção bicircular e pórticos compostos por vigas e pilares de concreto armado

Tabuleiro: Peças de madeira serrada

Elementos Estruturais: Madeira Roliça de Eucalipto Citriodora

Ligações: Anéis de aço, barras rosqueadas, parafusos, arruelas e porcas.

Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.

Fundações: concreto armado



Vigas de madeira com seção bicircular.



Placa de base metálica chumbada no pilar.



Vigas bicirculares apoiadas sobre os pórticos de concreto armado.



Vigas com peças roliças de madeira, com seção Bicircular, utilizando anéis de aço, barras rosqueadas, parafusos, arruelas e porcas.



Estrutura do guarda corpo.

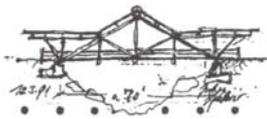


Detalhe do ponto de apoio das vigas, fixadas na placa de base metálica chumbada no pilar.



Estrutura do guarda corpo.

PASSARELA SCOTT LANCASTER MEMORIAL BRIDGE



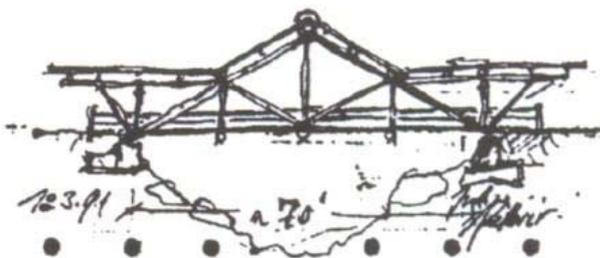
O sistema estrutural é composto por duas treliças Howe paralelas, cada uma com 6 peças roliças (postes padrão para suporte de linha telefônica) e três tirantes verticais. Todas as peças roliças foram classificadas por testes não destrutivos (prova de carga e ultra-som).



As tesouras principais foram pré-montadas no solo e posteriormente içadas. A mão de obra utilizada foi de voluntários em trabalho de mutirão.

Para oferecer uma cobertura e partido arquitetônico adequados, o telhado foi construído duas seções. Na seção intermediária telhado segue longitudinalmente inclinação dos banzos das treliças.

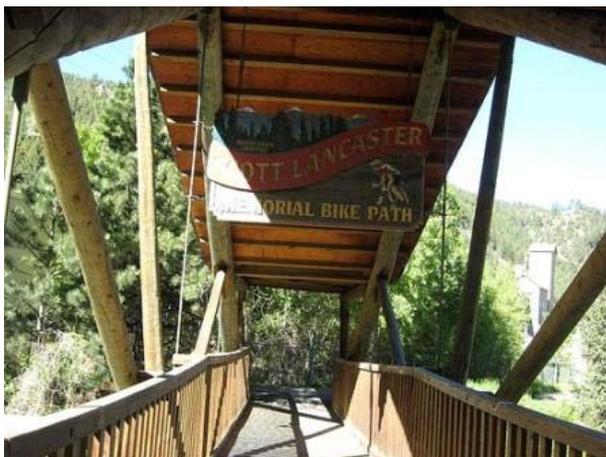
 Localização: Idaho Springs, Colorado, USA .
Utilização: passarela, com vão de 21,30m
Projeto: Julius Natterer; Richard Gutkowski (1992)
Sistema estrutural: composição de Treliças Howe
Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça
Ligações: chapas metálicas perfuradas pregadas, parafusos metálicos.



Croqui: vista Longitudinal.



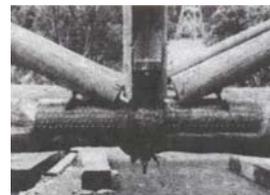
Fonte: <http://www.bridgepix.com/locations.php>



FONTE: GUTKOWSKI, R. et al (1996) Construction of the Scott Lancaster Memorial Bridge. INTERNATIONAL WOOD ENGINEERING CONFERENCE. Anais Vol. 2. Vijaya K. A Gopu New Orleans, Luisiana. USA. Outubro. 1996.



As ligações entre elementos estruturais, são realizadas através de chapas metálicas perfuradas pregadas, parafusos metálicos. Todos os detalhes de conexão extremidade inferior dos postes estão inseridos dentro de cavidades usinadas no topo e na extremidade inferior da peça.



O detalhamento dos seis nós cria continuidade dos elementos do banzo em quatro destes nós e uma semi-rigidez nos nós no meio do vão dos banzos superiores e inferior.



O contraventamento é feito por estrutura transversal no meio do combinando a ação do telhado e piso.



Vista da passarela.



Vista da passarela.



Vista da passarela.



Passarela em curva.



Vigas da cobertura, com seção composta dupla.



Tabuleiro da passarela.

PASSARELA

NATURBEOBACHTUNGSSTEG WIESENFELDEN

Localização: **Wiesenfelden**, Straubing-Bogen, Niederbayern , estado de Baviera na Alemanha.

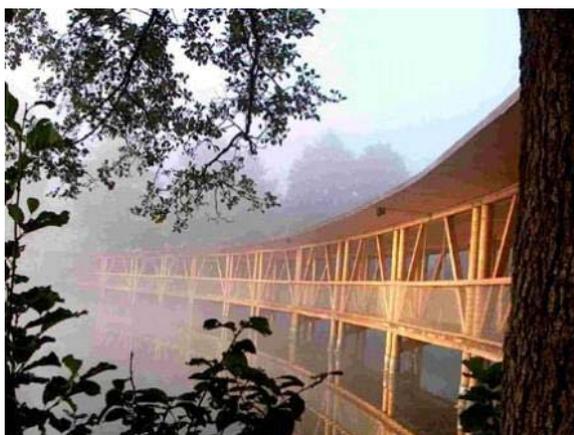
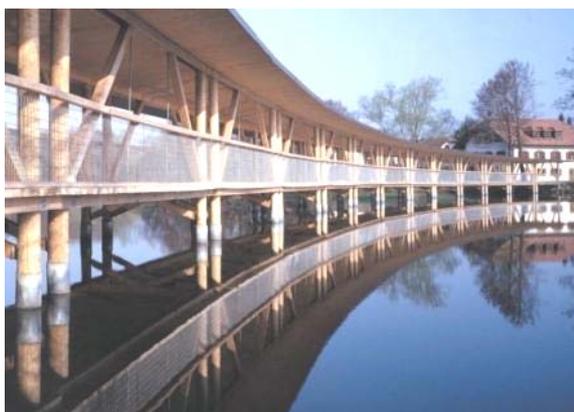
Projeto: IEZ Natterer

Sistema Estrutural: Passarela treliçada, com 13 pórticos, compostos por colunas compostas de dupla seção. As diagonais de contraventamento são em madeira serrada.

Elementos estruturais: madeira roliça e madeira serrada

Comprimento: aproximadamente 110 m, em curva

Vãos: módulos de aproximadamente 7,6 m



13 pórticos, compostos por colunas compostas de dupla seção.



Estrutura da cobertura da passarela.



Diagonais (mãos francesas) de madeira serrada.



Pórticos formados por colunas compostas duplas.



Parte das colunas submersas são protegidas com impermeabilização, a fim de aumentar a vida útil.

PASSARELA BRÜCKE VISPA

Localização: Rio de Vispa, **Visp, Suíça**.

Projeto: Bois Consult Natterer SA (1991)

Sistema Estrutural: Passarela treliçada howe.

Elementos estruturais: peças roliças de madeira

Comprimento: 22,5 m



Passarela treliçada howe, com peças roliças de madeira.

Fonte: <http://www.nattererbcn.com/web/bruecken.htm>

Passarela Rainbow Beijian.



Vista inferior à esquerda da passarela Beijian.

Peças roliças de madeira impermeabilizadas nas bases em contato com a parede de ciclope de pedras, de contenção de terra.



Vista inferior da passarela Beijian da estrutura do tabuleiro central.



Vista inferior à direita da passarela Beijian.



Vista interna da estrutura do pórtico de cobertura da passarela Beijian. Colunas de madeira roliça, vigas de madeira serrada.



Vista geral da passarela Beijian, sobre o rio Dongxi Stream.

PASSARELA RAINBOW BEIJIAN BRIDGE E XIDONG BRIDGE

Localização: rio Dongxi Stream, na China.

Utilização: duas passarelas de pedestres irmãs.

Beijian: construída em 1674, tem 51,9 m de comprimento por

5,4 m de largura, e vão central de 29 m. Reparada em 1849.

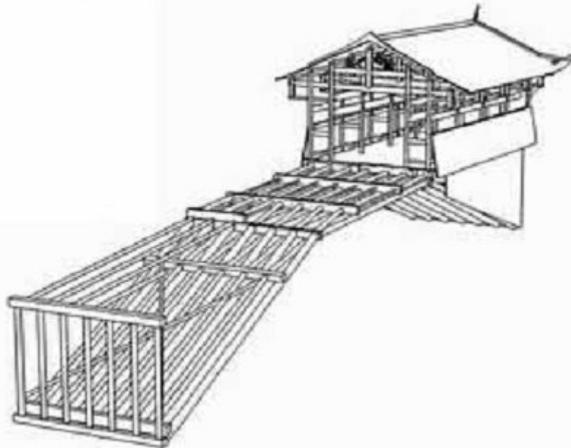
Xidong: construída em 1746, tem 41,7 m de comprimento por

4,9 m de largura, e vão central de 25,7 m. Reparada em 1827.

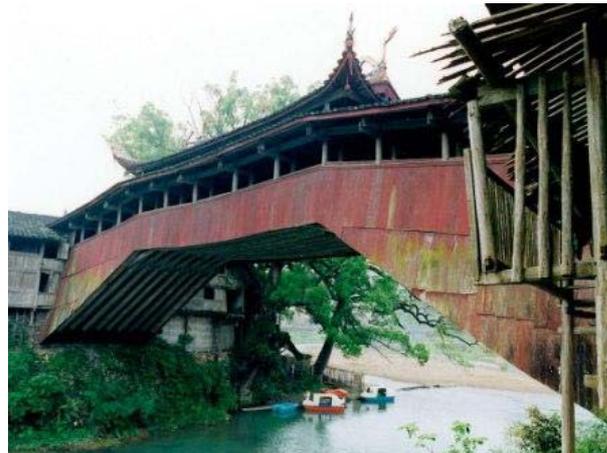
Sistema estrutural: rainbow

Elementos Estruturais: peças roliças de madeira.

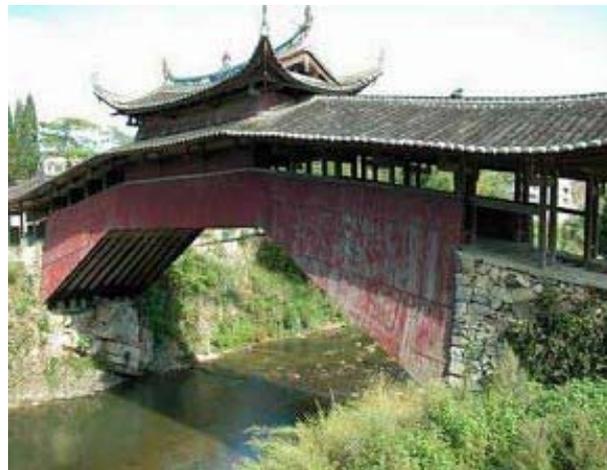
Ligações: encaixes de sobreposição entrelaçadas das peças roliças de madeira e pinos metálicos.



Esquema de montagem das peças.



Passarela Rainbow Beijian.

Passarela Rainbow Xidong.
Fonte: LIU e SHEN (2002).

Passarela Rainbow Xidong.



Vista inferior à esquerda da passarela Xidong.

Nas duas passarelas, em ambos os lados, são cobertas os painéis de madeira de sobreposição, pintados de vermelho, que tem a função de proteção da estrutura, contra intempéries, principalmente da chuva.



Vista interna da estrutura do pórtico de cobertura da passarela Xidong. Colunas de madeira roliça, vigas de madeira serrada.



Detalhes na cobertura da passarela Xidong.



Vista lateral da passarela Xidong.



Vista aérea da passarela Xidong.



Esquema de montagem.

PASSARELA RAINBOW SANTIAO

 Localização: Província de Zhejiang na China.

Utilização: passarela de pedestre

Descrição da obra: construída em 1843, com 32,0 m de comprimento por 4,0 m de largura, vão de 21,3 m e 9,5 m de altura.

Elementos Estruturais: peças roliças de madeira.

Ligações: encaixes de sobreposição entrelaçadas das peças roliças de madeira.



Detalhes na cobertura da passarela Santiao.



Vsita inferior da passarela. A s bases da estrutura desta passarela são esgastadas diretamente na rocha sã.



Vista inferior da Passarela Rainbow Santiao.

Internamente ao plano das vigas inclinadas, existe um sistema de contraventamento em X com peças roliças de madeira.



Sistema dos encaixes de sobreposição entrelaçadas das peças roliças de madeira.



Vista interna da estrutura do pórtico de cobertura da passarela. Colunas de madeira roliça, vigas de madeira serrada.



Internamente ao plano das vigas inclinadas, existe um sistema de contraventamento em X com peças roliças de madeira.



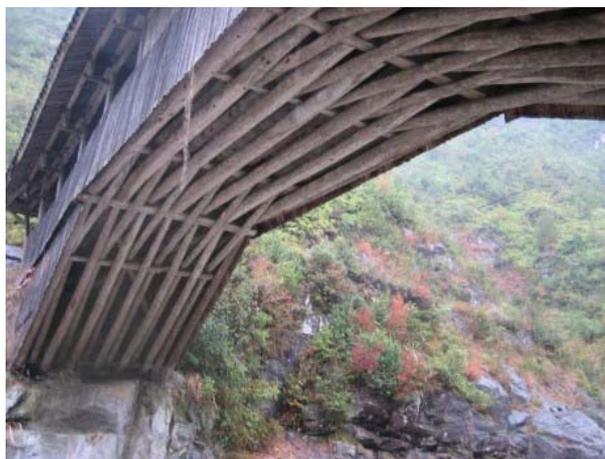
Vista geral da passarela. Ambos os lados da passarela, são revestidos com painéis de madeira de sobreposição, que tem a função de proteção da estrutura, contra intempéries, principalmente ocasionados pela chuva.



No local existem furos na rocha, para engastamento de colunas.



Vista aérea da passarela.



Vista inferior da Passarela Rainbow Santiao. Sistema dos elementos estruturais compostos por peças de madeira roliça, entrelaçados.

Fonte: KNAPP e MENTZER (2006).



Detalhe do furo, coberto com de terra.

Passarela Rainbow Houkeng.



Vista inferior à esquerda da passarela Houkeng. As peças roliças de madeira são engastadas nas bases, próximas a parede de ciclope de pedras, de contenção de terra.



Vista lateral da passarela Houkeng. Nesta passarela em ambos os lados, são cobertas com painéis de madeira de sobreposição, que tem a função de proteção da estrutura, contra intempéries, principalmente da chuva.



Vista interna da estrutura do pórtico de cobertura da passarela Houkeng. Colunas de madeira roliça, vigas de madeira serrada.



Vista da janela da passarela Houkeng.

PASSARELA RAINBOW HOUKENG BRIDGE E RULONG BRIDGE

Localização: Província de Zhejiang na China.

Utilização: passarelas de pedestres, com características semelhantes.
Sistema estrutural: rainbow

Construção: 1625.

Elementos Estruturais: peças roliças de madeira.

Ligações: encaixes de sobreposição entrelaçadas das peças roliças de madeira e entalhes na madeira.



Esquema de montagem das peças.



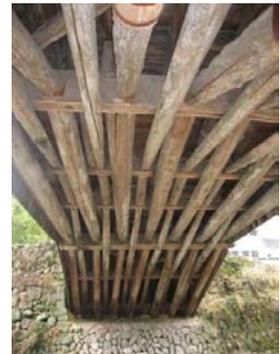
Passarela Rainbow Houkeng.



Passarela Rainbow Rulong.

Fonte: Fonte: KNAPP e MENTZER (2006).

Passarela Rainbow Rulong.



Vista inferior da passarela Rulong da estrutura do tabuleiro central.



Vista inferior da passarela Rulong. Sistema de travamento com entalhes na madeira.



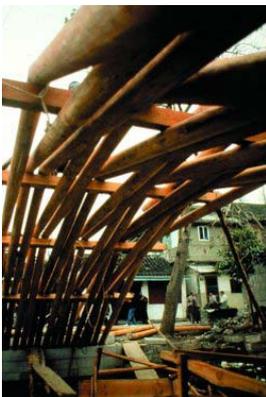
Internamente ao plano das vigas inclinadas, existe um sistema de contraventamento em X com peças roliças de madeira. As peças roliças de madeira são engastadas nas bases, próximas a parede de ciclope de pedras, de contenção de terra.



Vista lateral da passarela Rulong. Nesta passarela em ambos os lados, também são cobertas com painéis de madeira de sobreposição, que tem a função de proteção da estrutura, contra intempéries, principalmente da chuva.



Após a montagem dos dois pórticos, iniciou a montagem de tal maneira a conceber a forma do arco. Depois de concebida a forma do arco, os dois pórticos iniciais foram removidos. O autor e membros da equipe ensaiaram a resistência inicial nas bases.



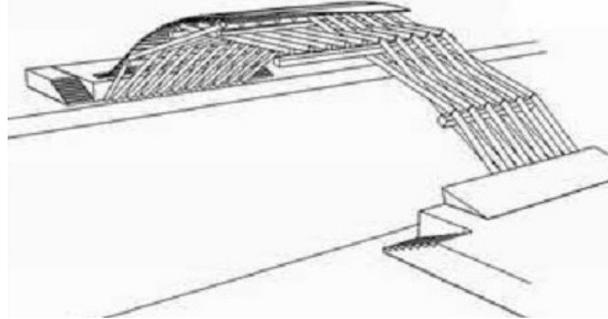
Vista inferior da passarela Rainbow, durante o processo de montagem inicial da estrutura em arco. Nesta foto, pode-se observar que a estrutura é concebida com dois arcos distintos entrelaçados, cujas extremidades são encaixadas ao redor das vigas transversais de apoio.



Depois de concluído um conjunto de arcos, dois grandes búfalos foram conduzidos para o tabuleiro, um de cada lado, para poder ensaiar a capacidade de carga.

PASSARELA RAINBOW EM XANGAI

 Localização: Xangai, China.
Utilização: passarela de pedestres
Projeto: Professor Yang Shijin, e equipe da China's Tonji University.
Sistema estrutural: rainbow.
Elementos Estruturais: peças roliças de madeira conífera.
Ligações: encaixes de sobreposição entrelaçadas das peças roliças de madeira, e fixação com cordas de fibras de bambu.
Tratamento da madeira: óleo de tungue.



Esquema de montagem das peças.

“Usando o método de construção chinês do século XII, a equipe de engenheiros, projetaram a réplica da passarela em arco construída com peças roliças de madeira entrelaçadas e amarradas com cordas de bambu. Este sistema estrutural é um exemplo criativo de um processo construtivo da engenharia, utilizando peças roliças de madeira. Acredita-se que foram construídas muitas Passarelas Rainbow ao longo do Canal de Pien no século XII na China.”



Os construtores da réplica da ponte Rainbow, montaram inicialmente os dois pórticos extremos, para formar a primeira camada que compõem o arco, com três peças roliças cada, apoiando-se em cavaletes a bordo de duas canoas, como simulação do recurso que era utilizado no século XII.

Fonte: ALTABBA (2000).



Após concluída a passarela foi inaugurada com comemorações na praça da vila. Uma grande quantidade de moradores, passaram sobre a passarela lotando-a.

A ponte de madeira foi construída com 15 m de comprimento e 3,6 m de largura. Cada conexão, parte do princípio de duas vigas de madeira roliça instaladas de topo, uma contra a outra, intercaladas em uma viga transversal. Todas as extremidades são presas com cordas de bambu trançado.



A estudante Helen Lee, criou uma réplica da passarela em um modelador computacional de três dimensões.



O conceito para o chamado Rainbow Bridge, foi tirado de uma pintura do século XII, que retrata aspectos da vida chinesa, tais como métodos de transporte, comércio, planejamento urbano e arquitetura.

PASSARELA EM ARCO PROTENDIDO LPSA

 Localização: Iowa, Estados Unidos.

Utilização: passarela de pedestres

Projeto: Ibrahim Al-Khattat, e equipe de estudantes do ensino médio.

Sistema estrutural: passarela em arco protendido [Light Prestressed Segmented Arch (LPSA) Bridges: A Demonstration of Sustainable Engineering]

Elementos Estruturais: peças roliças de madeira.

Ligações: conexões especiais, e cabos de protensão



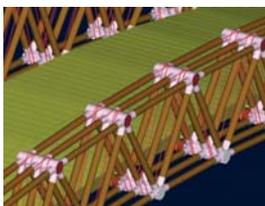
Alunos do ensino médio, montam as unidades do deck do tabuleiro.



Os estudantes unem os seguimentos dos elementos estruturais (postes SDT) aos conectores especiais.



Montagem da treliça em arco, com os segmentos de elementos estruturais de peças roliças de madeira, nos conectores especiais.



Um modelo sólido em 3d, da passarela retratando oito cabos de protensão.



Passarela concluída: arco com barras de aço e esticadores.



Vista inferior do tabuleiro e sistemas de contraventamentos.



Primeniro a estrutura foi montada em terreno plano.



Placa de base do ponto de ancoragem para oito cabos de protensão.



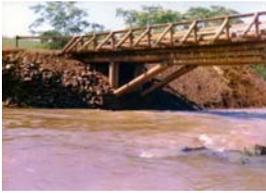
Detalhe dos conectores especiais, que unem os elementos estruturais de peças roliças de madeira.



Prova de carga da passarela, com três veículos, sedo que no vão central o veículo é um furgão.



A passarela atende à capacidade de carga para veículos utilitários, conforme os resultados da análise.



Mão francesa da ponte.

Sulco para colocação dos anéis

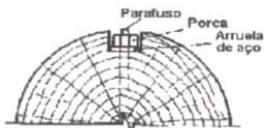


Seção de base da peça.

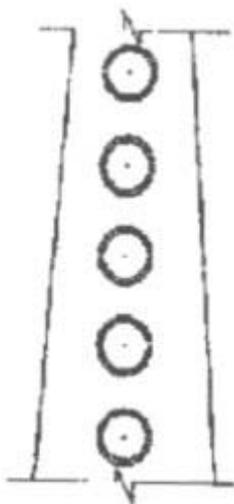
Sulco para colocação dos anéis



Seção de topo da peça.



Detalhe da colocação do parafuso.



Colocação dos anéis.

PONTE EM PÓRTICO RIBEIRÃO DOS PORCOS

 Localização: Ribeirão dos Porcos, Borborema, SP.

Projeto: LaMEM – João Cesar Hellmeister - 1974

Interessado: DER – Regional de Araraquara – SP.

Sistema estrutural: ponte em Pórtico, constituído por duas vigas bicirculares de rigidez de cada lado, com 20 metros de comprimento com reforço central apoiada em duas diagonais.

Vãos: vão central com 15m, mais dois balanços 3 m nas extremidades até atingir os aterros.

Comprimento total: 21 metros.

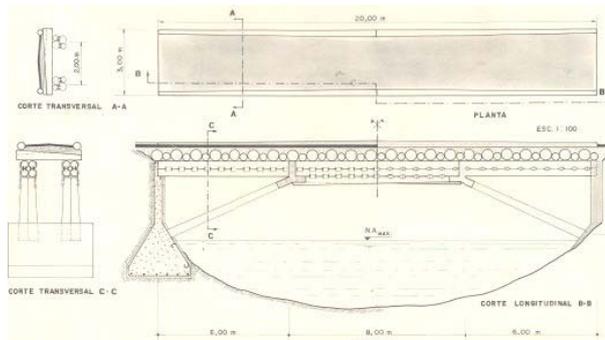
Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça de eucalipto Citriodora.

Diâmetros das peças: vigas bicirculares com diâmetro médio de 35 cm. Postes com diâmetro médio de 40cm.

Ligações: as longarinas são com seções transversais compostas por postes de eucalipto Citriodora, interligados por anéis metálicos e barras rosqueadas passantes, arruelas e porcas, formando vigas bicirculares.

Tratamento: contra fungos e insetos.

Classe da ponte: Trem tipo para classe 36.



Projeto da ponte sobre o ribeirão dos porcos. Fonte: HELLMMEISTER (1978).

O tabuleiro também é formado pela composição de postes de eucalipto Citriodora, interligados por anéis metálicos e barras rosqueadas passantes, porém formando um elemento de placa. As vigas bi-circulares principais (longarinas) são sustentadas por cabos de aço interligados aos postes.

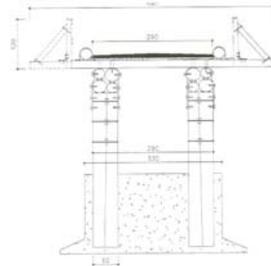


Vista lateral da ponte.

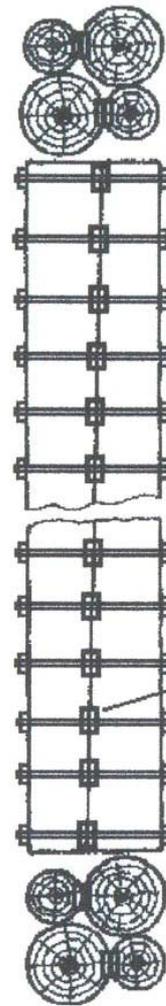
Fonte: HELLMMEISTER (1978).



Vista inferior destacando as vigas duplas bicirculares e o tabuleiro com postes.



Vista Transversal.



Montagem da viga com seção composta, com quatro peças roliças.

**PONTE EM PÓRTICO
NOVA GRANJA VESPASIANO**

 Localização: Fazenda Nova Granja Vespasiano, SP.
 Projeto: LaMEM
 Data do Projeto 1982
 Construção 1983
 Interessado: Cia. Cimento Portland ITAÚ
 Sistema Estrutural: Pórtico com 2 vigas laterais simplesmente apoiadas.
 Vão Central: 20 metros
 Comprimento total: 34 metros
 Espécie: Eucalipto Citriodora
 LIGAÇÕES: Anéis metálicos e barras de aço roqueadas
 Observações: Foram utilizadas 4 vigas bi-circulares simples ao invés de apenas 2 vigas bi-circulares duplas.

Sulco para colocação dos anéis

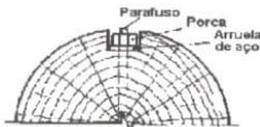


Seção de base da peça.

Sulco para colocação dos anéis



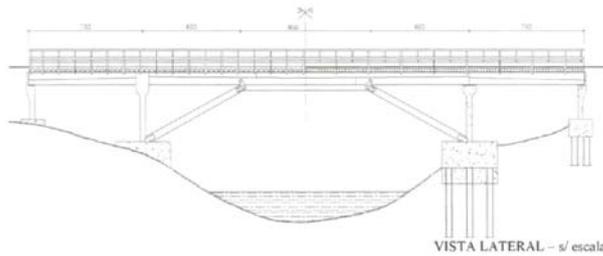
Seção de topo da peça.



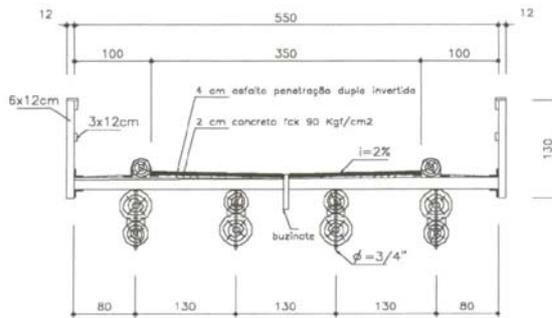
Detalhe da colocação do parafuso.



Seção Composta Bicircular.



VISTA LATERAL - s/ escala

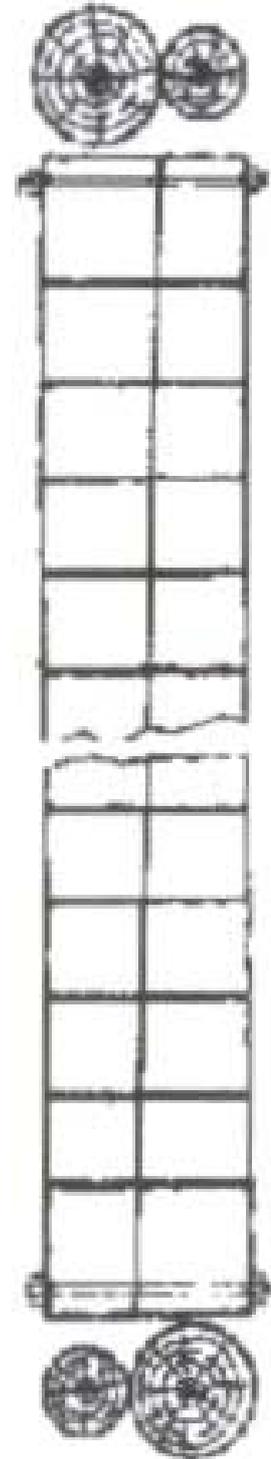


CORTE TRANSVERSAL -s/ escala



Ponte em Pórtico, Nova Granja Vaspasiano.

Fonte: PARTEL (1999).



Montagem da viga composta com seção bicircular.

Seqüência da montagem:



Preparação dos sulcos para os anéis, com serra copo.



Montagem das vigas bi-circulares, com os anéis instalados.



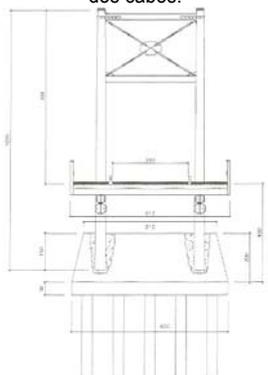
Vista do anel instalado, na união da viga bi-circular.



Placas de suspensão e grampos de fixação dos cabos.



Placas de base para a fixação dos cabos.



CORTE TRANSVERSAL- s/ escala

PONTE PÊNSEL NITRO QUÍMICA S/A



Localização: Rio Tietê, Guarulhos, São Paulo, SP.

Projeto: LaMEM – João Cesar Hellmeister - 1976

Sistema estrutural: ponte pênsil, vigas de rigidez, dois postes de 15,5m de comprimento e diâmetro médio de 40cm.

Vãos: vão central c/ 31m e 2 vãos externos de 15,5 m.

Comprimento total: 62 metros.

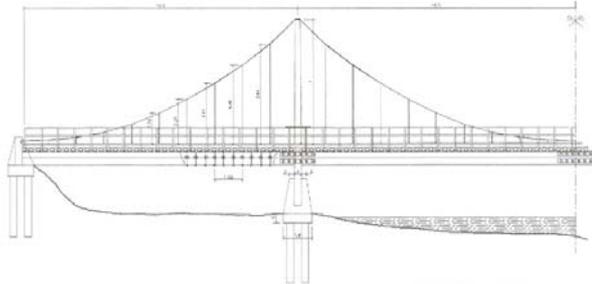
Elementos Estruturais: 50m³ em Peças de Madeira Roliça de eucalipto Citriodora.

Diâmetros das peças: vigas bicirculares com diâmetro médio de 35 cm. Postes com diâmetro médio de 40cm.

Ligações: as longarinas são com seções transversais compostas por postes de eucalipto Citriodora, interligados por anéis metálicos e barras rosqueadas passantes, arruelas e porcas, formando vigas bi-circulares. Análogo ao sistema das vigas, o tabuleiro também é formado pela composição de postes de eucalipto Citriodora, interligados por anéis metálicos e barras rosqueadas passantes, arruelas e porcas, que compõe um elemento de placa.

Tratamento: contra fungos e insetos.

Classe da ponte: Trem tipo para classe 12.



VISTA LATERAL - s/ escala

Figura: Projeto da ponte pênsil. Fonte: Banco de Dados LaMEM.



Figura: Vista da Ponte Pênsil em fase de conclusão.

A série de figuras apresentam os detalhes construtivos mais importantes durante a execução da ponte e ampla evidencia do esquema estático adotado, com a utilização das vigas bi-circulares como longarinas.

Fonte: HELLMEISTER (1978).

As vigas bi-circulares principais (longarinas) são sustentadas por cabos de aço interligados aos postes.



Instalação das vigas no vão central.



Armação dos guarda-rodas e detalhes dos esticadores.



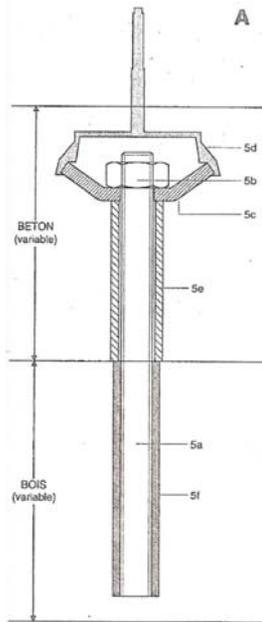
Vista frontal da ponte.



vista superior do tabuleiro.



Vista inferior do tabuleiro e vigas bi-circulares de rigidez.

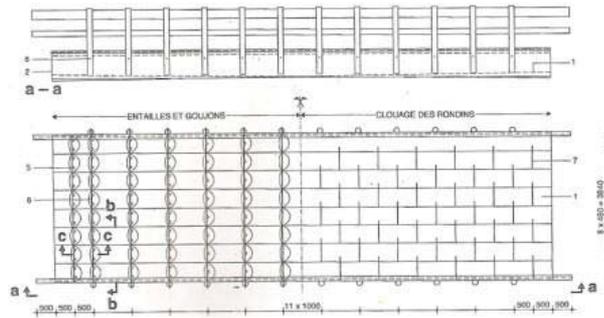


Legenda:

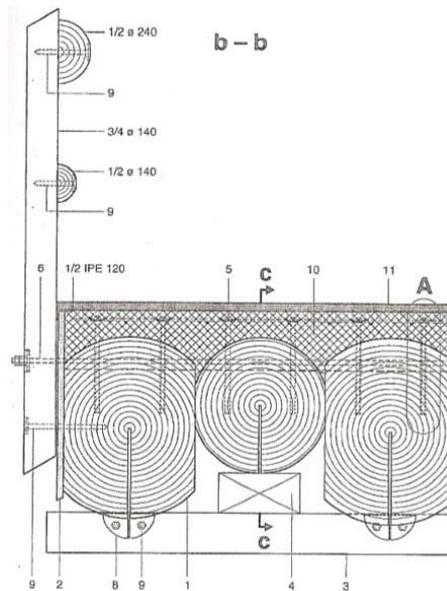
1. seção roliça com duas faces serradas e dois cortes oblíquos para descarga da força normal.
2. prancha de borda em contraplaca 70X24cm.
3. prancha apoio das bordas em carvalho.
4. calço de carvalho
5. pino metálico para protensão
- 5a. Tubo M 12
- 5b. Peça de aplicação de protensão M 12
- 5c. flange de aço
- 5d. capuz protetor
- 5e. tubo plástico protetor
- 5f. camada de resina epóxi
6. barra de aço de Φ 16mm
7. barra de armadura aço de Φ 10 mm
8. ligação através de chapa metálica pregada
9. parafuso M 16
10. concreto armado 10cm
11. camada de asfalto de 3cm

PONTE MISTA LE SENTIER

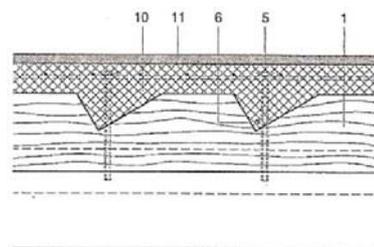
 Localização: Lausanne, Suíça CH.
 Utilização: ponte para veículos
 Projeto: Natterer Bois-Consult. Etoy (CH), 1991
 Sistema estrutural: Ponte em placa, com tabuleiro de estrutura mista de madeira roliça e concreto armado e protendido, com comprimento total de 13,0 m e largura total de 4,0 m
 Diâmetros médios: 48 a 72cm
 Ligações: Barras de aço com $\phi 10$ mm e ganchos metálicos. As peças recebem uma fenda longitudinal e foram desbastadas na superfície para compensar a conicidade das peças.



Tabuleiro da ponte mista



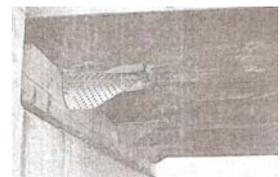
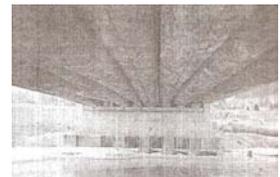
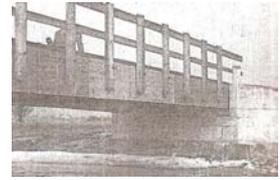
Corte transversal - s/ escala



C - C
 Detalhe longitudinal - s/ escala

Fonte: Netterer (1998).

Fotos da estrutura da ponte:



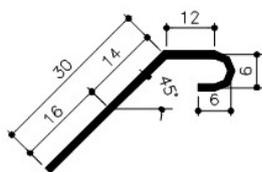
Detalhes construtivos da
Ponte Batalha:



Vista frontal do pilar de
Concreto Armado.



Vista lateral do pilar de
Concreto Armado.



N2 3750 ϕ 12,5 C=54cm
GALVANIZADO A FOGO

Detalhe do Conector de
Aço CA50 ϕ 12,5mm

PONTE BATALHA



Localização: Paracatu, MG.

Classe da ponte: TB 45

Sistema estrutural: misto madeira roliça e concreto armado

Geometria: retangular

Número de vigas: 9 longarinas roliças

Diâmetro médio: ϕ 43 cm

Concreto: fck 18 MPa

Conectores: aço CA50 ϕ 12,5 mm colados c/ adesivo epóxi em "X", espaçamento 25cm nas extremidades e 50cm no centro

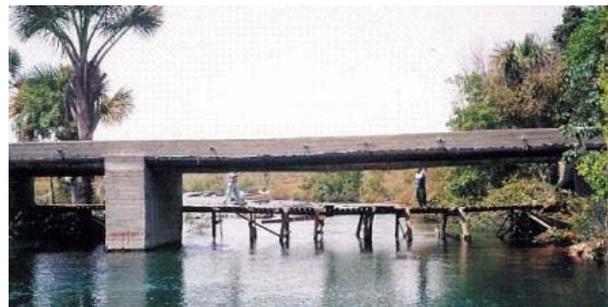
Largura: 4,0 m

Comprimento: 20,45 m (15,0 + 5,45)

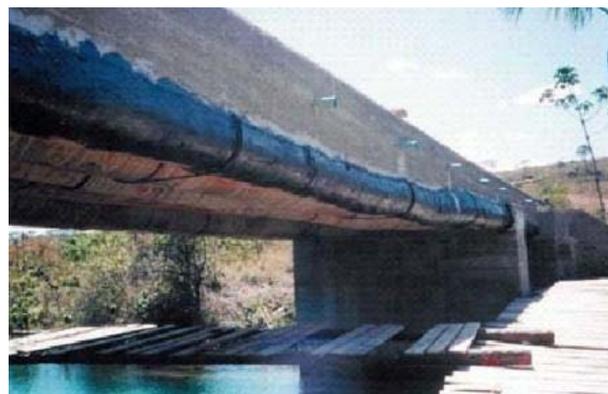
Elementos Estruturais: Madeira Roliça de Eucalipto Citriodora

Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.

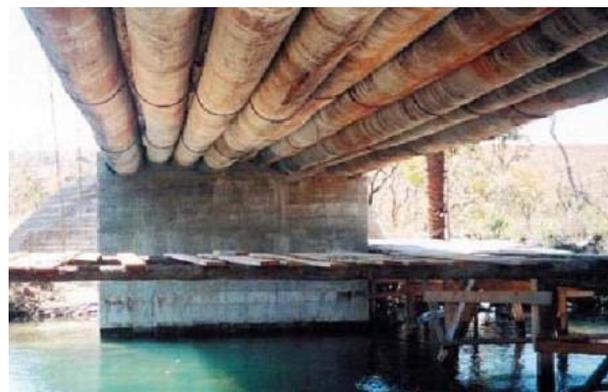
Fundações: concreto armado



Vista da Ponte Batalha



Vista lateral



Vista inferior do tabuleiro

Fonte: CALIL, et al (2006).

Provas de carga, dos
tabuleiros da Ponte Batalha:



Prova de carga no menor vão
da ponte.



Prova de carga no menor vão
da ponte.



Prova de carga no maior vão
da ponte.



Prova de carga no vão
maior com dois veículos.

PONTE CAMINHO DO MAR



Localização: Cubatão, SP.

Coordenadas GPS S 23° 51' 26,2" e W 46° 26'34,7", altitude 265m

Classe da ponte: TB 30

Sistema estrutural: misto madeira roliça e concreto armado

Geometria: esconsa

Número de vigas: 16 longarinas roliças

Diâmetro médio: 33 cm

Concreto: fck 25 MPa

Conectores: aço CA50 Φ 12,5mm colados c/ adesivo epóxi em "X", espaçamento de 25cm nas extremidades e 50cm no centro

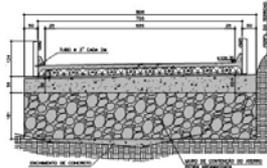
Largura: 7,2 m

Comprimento: 24,0 m (6,0 + 12,0 + 6,0)

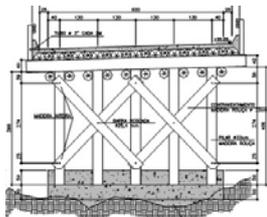
Elementos Estruturais: Madeira Roliça de Eucalipto Citriodora

Tratamento: impregnação de CCA em autoclave

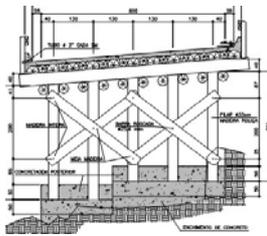
Fundações: pilares de madeira e bloco de concreto armado



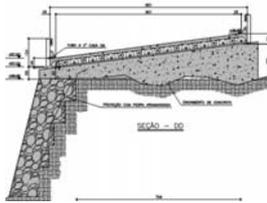
Seção A.A.: Muro de contenção com pedra argamassada, na cota +100,35, mais alta da ponte.



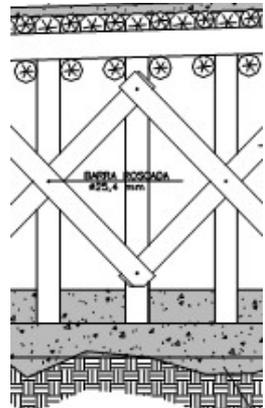
Seção B.B.: Sistema de contraventamento na primeira fila das colunas de seção composta dupla (cota 99,86).



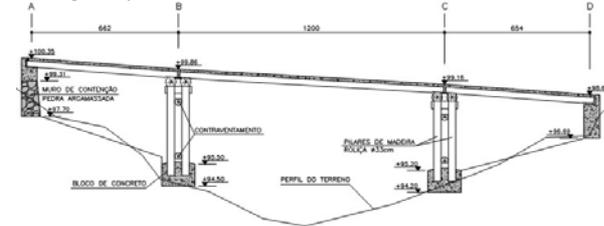
Seção C.C.: Sistema de contraventamento na segunda fila das colunas de seção composta dupla (cota 99,16).



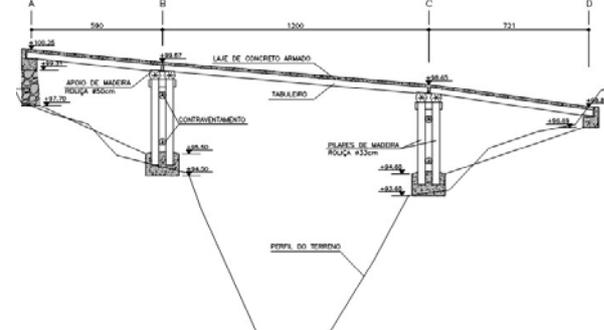
Seção A.A.: Muro de contenção com pedra argamassada, na cota +98,68 mais baixa da ponte.



Ligação dos contravent. c/ barras rosca Φ 25,4 mm.



Perfil do tabuleiro para o lado da encosta.



Perfil do tabuleiro para o lado do vale.



Vista superior do tabuleiro com os conectores metálicos



Vista da Ponte Caminho do Mar
Fonte: CALIL et al (2006).



Prova de carga na lateral direita



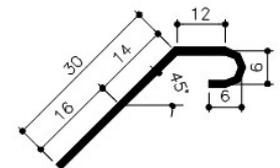
Prova de carga na lateral esquerda



Vista lateral

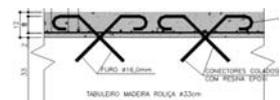


Vista inferior do tabuleiro



N2 3750 Φ 12,5 C=54cm
GALVANIZADO A FOGO

Detalhe do Conector de Aço CA50 Φ 12,5mm



Detalhe de fixação dos conectores nas peças de madeira roliça, no tabuleiro.

Detalhes construtivos da Ponte Capela:



Concretagem do tabuleiro.



Vista superior do tabuleiro com os conectores metálicos.



Paredes de contenção de terra dos encontros.



Detalhe das fundações.

PONTE CAPELA



Localização: Piracicaba, SP.

Coordenadas GPS S 22° 50' 57,1" e W 47° 54' 7,9"; altitude 472m

Classe da ponte: TB 30

Sistema estrutural: misto madeira roliça e concreto armado

Geometria: retangular

Número de vigas: 14 longarinas roliças (diâmetro médio de 33 cm)

Concreto: fck 20 MPa

Conectores: aço CA50 Φ 25,4 mm instalados a cada 25 cm

Largura: 5,0 m

Comprimento: 7,0 m

Elementos Estruturais: Madeira Roliça de Eucalipto Citriodora

Tratamento: impregnação de CCA em autoclave

Fundações: pilares de madeira e blocos de concreto armado



Vista da Ponte Capela.

Fonte: CALIL et al (2006).

PONTE FLORESTINHA



Localização: Piracicaba, SP.

Coordenadas GPS S 22° 45' 40" e W 47° 45' 12,5"; altitude 450m

Classe da ponte: TB 30

Sistema estrutural: misto madeira e concreto

Geometria: retangular

Número de vigas: 12 longarinas roliças

Diâmetro médio: Φ 32 cm

Concreto: fck 18 MPa

Conectores: aço CA50 Φ 8,0 mm colados com adesivo epóxi em "X",

espaçamento de 25 cm nas extremidades e 50 cm no centro

Largura: 4,0 m

Comprimento: 7,0 m

Elementos Estruturais: Madeira Roliça de Eucalipto Citriodora

Tratamento: impregnação de CCA em autoclave

Fundações: estacas de madeira

Detalhes construtivos da Ponte Florestinha:



Medição topográfica.



Prova de carga.



Armações no tabuleiro.



Vista da Ponte Florestinha.

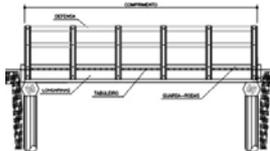
Fonte: CALIL et al (2006).



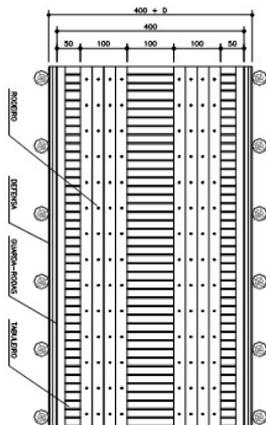
Vista inferior do tabuleiro.

PONTE ESTRADA FLORESTA

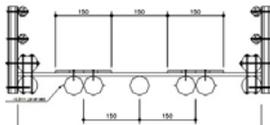
Detalhes de projeto Estrutural de pontes em vigas, com madeira roliça de reflorestamento:



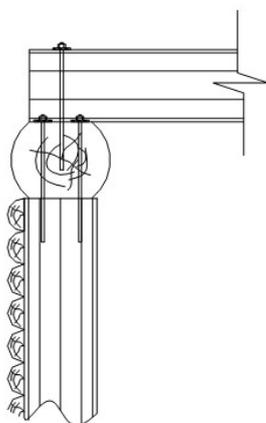
Seção longitudinal de ponte em vigas com madeira roliça



Tabuleiro com pranchas de madeira serrada.



Seção transversal de ponte em vigas com madeira roliça



Conexões vigas-coluna, das peças de madeira roliça.



Localização: Piracicaba, SP.

Classe da ponte: TB 30

Sistema estrutural: vigas simples roliças de madeira

Geometria: retangular

Número de vigas: 7 longarinas roliças (diâmetro médio de 35 cm)

Largura: 5,0 m

Comprimento: 6,0 m

Elementos Estruturais: Madeira Roliça de Eucalipto Citriodora

Tratamento: impregnação de CCA em autoclave

Fundações: estacas de madeira



Vista da Ponte Estrada Floresta.



Vista inferior do tabuleiro.



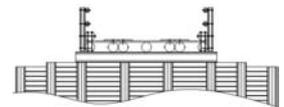
Longarinas roliças. Vigas próximas, sob a região do rodeiro.

Fonte: CALIL et al (2006).

Detalhes construtivos da ponte em viga:



Planta do muro de contenção de terra. Posição das colunas de contraforte.



Colunas de madeira roliça, estaqueadas no solo, tendo como função estrutural de contrafortes do muro de contenção de terra, nos encontros.



Vista das colunas estaqueadas, como contrafortes do muro de contenção de terra.



Tabuleiro de pranchas de madeira serrada.



Rodeiro de madeira.

Detalhes construtivos da Ponte Paredão Vermelho:



Cravação das estacas.



Muro de contenções de terra, em um dos lados dos encontros, concluído.



Posicionamento das longarinas.



Instalação das armações. Detalhe de proteção dos topos.



Carreta carregada para prova de carga.



Prova de carga na ponte.

PONTE PAREDÃO VERMELHO



Localização: Piracicaba, SP.

Classe da ponte: TB 45

Sistema estrutural: misto madeira roliça e concreto armado

Geometria: retangular

Número de vigas: 11 longarinas roliças

Diâmetro médio: Φ 34 cm

Concreto: fck 18 MPa

Conectores: aço CA50 Φ 12,5mm colados c/ adesivo epóxi em "X", espaçamento de 25cm nas extremidades e 50cm no centro

Largura: 5,0 m

Comprimento: 10,0 m

Elementos estruturais: Madeira Roliça de Eucalipto Citriodora

Tratamento: impregnação de CCA em autoclave

Fundações: estacas de madeira



Vista da Ponte Paredão Vermelho.

Fonte: CALIL et al (2006)

PONTE IBITIRUNA



Localização: Piracicaba, SP.

Coordenadas GPS S 22° 46' 32" e W 47° 57' 56"; altitude 492m

Classe da ponte: TB 45

Sistema estrutural: misto madeira roliça e concreto armado

Geometria: esconsa

Número de vigas: 12 longarinas roliças

Diâmetro médio: Φ 35 cm

Concreto: fck 18 MPa

Conectores: aço CA50 Φ 12,5 mm colados c/ adesivo epóxi inclinados a 45°, espaçamento de 25 cm nas extremidades e 50 cm no centro

Largura: 4,0 m

Comprimento: 6,0 m

Elementos Estruturais: Madeira Roliça de Eucalipto Citriodora

Tratamento: impregnação de CCA em autoclave

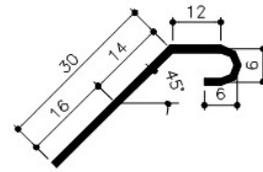
Fundações: estacas de madeira



Vista da Ponte Ibitiruna.

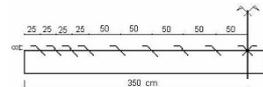
Fonte: CALIL et al (2006).

Detalhes construtivos da Ponte Ibitiruna:



N2 3750 Φ 12,5 C=54cm
GALVANIZADO A FOGO

Detalhe do Conector de Aço CA50 Φ 12,5mm, inclinados a 45°.



Disposição dos conectores de aço, tracionados inclinados a 45°.



Tabuleiro de madeira roliça, instalação das armaduras.



Vista superior da ponte.



Prova de carga sem o concreto.



Prova de carga final.

Detalhes construtivos da Ponte 01:



Instalação dos conectores de aço CA50 Φ 12,5 mm colados c/ adesivo epóxi, em "X", Nas peças de madeira roliça que compõem as longarinas do tabuleiro.



Conectores e malhas de aço, instalados sobre a estrutura de madeira do tabuleiro.



Tabuleiro da ponte, concretado.



Vista lateral da ponte.



Vista inferior do tabuleiro.

PONTE 01 - CAMPUS II USP



Localização: Campus II, USP, São Carlos, SP.
 Coordenadas GPS 21° 59' 57,9" S 47° 55' 44,7" W, altitude 834m
 Classe da ponte: TB 30
 Sistema estrutural: misto madeira roliça e concreto armado
 Geometria: esconsa 15°
 Número de vigas: 22 longarinas roliças
 Diâmetro médio: Φ 33 cm
 Concreto: fck 25 MPa
 Conectores: aço CA50 Φ 12,5 mm colados c/ adesivo epóxi, em "X" espaçamento de 25cm nas extremidades e 50cm no centro
 Largura: 10,0 m
 Comprimento: 12,0 m
 Elementos Estruturais: Madeira Rloiça de Eucalipto Citriodora
 Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.
 Fundações: estacas, blocos e viga de distribuição em concreto armado



Vista da Ponte 01 concluída.

Fonte CALIL et al (2006).

PONTE 02 - CAMPUS II USP



Localização: Campus II, USP, São Carlos, SP.
 Coordenadas GPS 21° 59' 58,4" S 47° 55' 44,0" W, altitude 833 m
 Classe da ponte: TB 30
 Sist. Est.: misto madeira roliça protendida e concreto armado
 Geometria: esconsa 15°
 Número de vigas: 22 longarinas roliças
 Diâmetro médio: Φ 35 cm
 Concreto: fck 25 MPa
 Conectores: aço CA50 Φ 12,5mm colados c/ adesivo epóxi em "X", espaçamento de 25cm nas extremidades e 50cm no centro
 Largura: 10,0 m
 Comprimento: 12,0 m
 Elementos Estruturais: Madeira Rloiça de Eucalipto Citriodora
 Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.
 Fundações: estacas, blocos e viga de distribuição em concreto armado



Vista da Ponte 02 concluída.

Fonte CALIL et al (2006).

Detalhes construtivos da Ponte 02:



Instalação dos conectores de aço CA50 Φ 12,5 mm colados c/ adesivo epóxi, em "X", Nas peças de madeira roliça que compõem as longarinas do tabuleiro.



Conectores e malhas de aço, instalados sobre a estrutura de madeira do tabuleiro.



Preparo para a concretagem.



Concretagem do tabuleiro.



Vista inferior do tabuleiro. Tiras de compensado servem como forma, para estanquear o concreto.

EDIFICAÇÃO DE QUIOSQUE BEAUDETTE

Localização: Salt Lake City, UT, USA.

Utilização: edificação de quiosque

Projeto: Beaudette Consulting Engineers Inc. - 2001

Sistema estrutural: industrializado, cobertura de treliças e pórticos

Elementos Estruturais: Madeira Rolíça de Pequeno Diâmetro

Diâmetros: $\Phi 12$ cm e $\Phi 15$ cm

Ligações: chapas internas, barras rosqueadas, arruelas e porcas, e pino metálico com rosca (dowel nut)

Fundações: Sapatas em Concreto Armado.



O procedimento de montagem da estrutura da cobertura do quiosque é realizado no chão.



Após montada a estrutura da cobertura, a mesma é içada por caminhão munck, e instalada sobre às colunas.



Estrutura do quiosque, concluída.



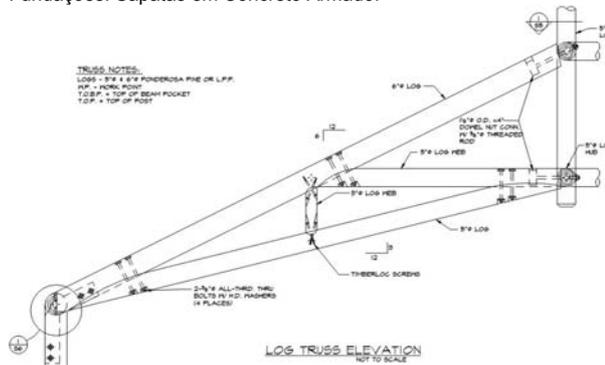
Anel de compressão.



Treliças da estrutura da cobertura do quiosque.



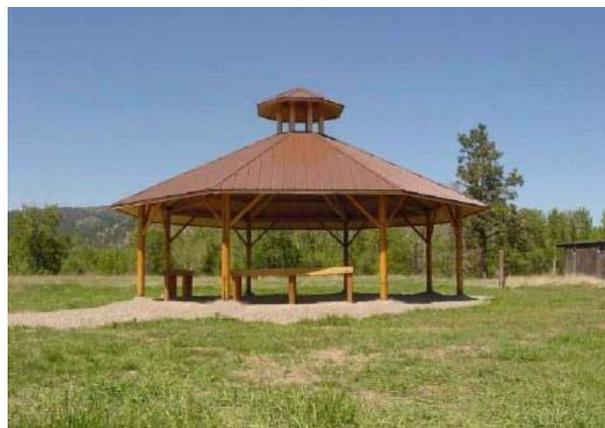
Conexão com chapas internas na ligação vigas-coluna-banzo superior. E barras de aço rosqueadas passantes na ligação do banzo inferior com o banzo superior.



Projeto Estrutural: Detalhes da treliça da estrutura da cobertura.

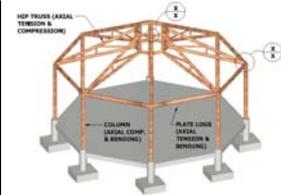


Detalhes da conexão com chapas internas da ligação vigas-coluna-banzo superior da treliça da cobertura do quiosque.



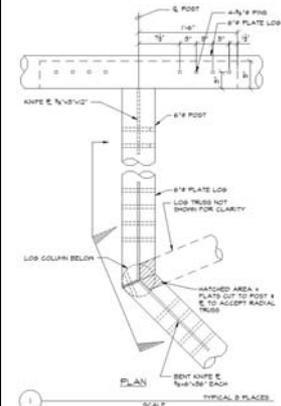
Quiosque concluído.

Fonte: Beaudette Consulting Engineers Inc.

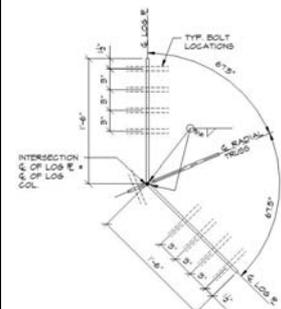


Maquete Eletrônica.

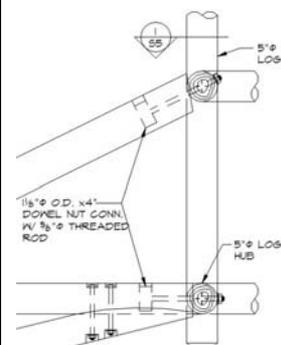
As colunas são fixadas em placa de base de chapa de aço, sobre às sapatas da fundação de concreto armado.



Projeto Estrutural: conexão da ligação vigas-coluna-banzo superior da treliça.



Projeto Estrutural: conexão das chapas internas da ligação vigas-coluna-banzo superior da treliça da cobertura.



Ligações: chapas internas, barras rosqueadas, arruelas e porcas, e pino metálico com rosca (dowel nut).



Anel de compressão.



Vista das saídas frontal e lateral esquerda do quiosque.



Estrutura com segmentos de peças roliças, para formar o arco sobre a abertura.



Vista inferior da estrutura dos segmentos de peças roliças.



Ligação com Pino Metálico.



Estrutura da união do quiosque do fundo com o da lateral direita.

QUIOSQUE DA EMBRAPA



Localização: Vila Serradinho, Campo Grande – MS.

Utilização: edificação do quiosque da EMBRAPA de Campo Grande
Projeto: Arquiteto Dennis Michael Deffense - 2009

Sistema estrutural: Cobertura de quiosque com vigas inclinadas e escoras inclinadas.

Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça de Eucalipto

Diâmetros médios: 20 cm a 30 cm

Ligações: Entalhes na madeira e fixação com pinos metálicos e barras de aço rosqueadas passantes, arruelas e porcas, inseridas transversalmente nos elementos estruturais.

Fundações: Vigas inclinadas e escoras engastadas no solo.

Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.

Fornecedor da madeira: TRAMASUL

Dados: coletados pelo autor em visita técnica em abril de 2009



Fachada Frontal do quiosque.



Fachada lateral direita do quiosque.



Fachada vista dos fundos do quiosque.



Parte da cobertura Externa, sapê.



Estrutura da união dos três quiosques.



Conexões com pinos metálicos, na união dos três quiosques.



Ligação com barras de aço rosqueadas passantes, arruelas e porcas.

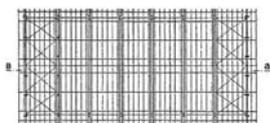


Estruturas das vigas inclinadas e escoras engastadas no solo.



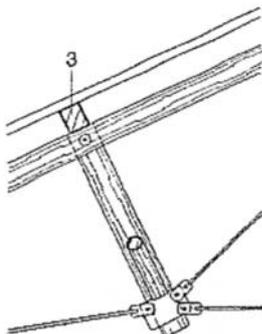
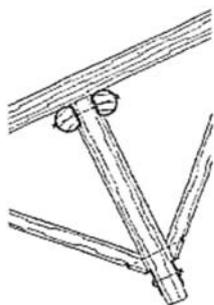
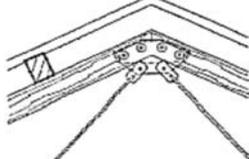
Estruturas das vigas inclinadas e escoras engastadas no solo, em outro ângulo de visão.

Fonte: Fotos do Autor em abril de 2009.

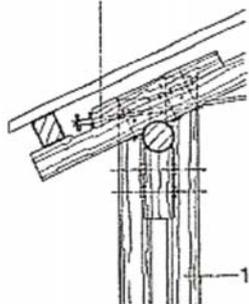


Planta de cobertura.

Projeto estrutural: detalhes das conexões:



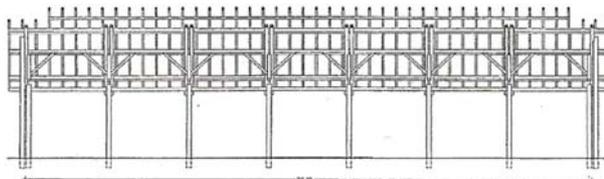
2



Legenda do Projeto:
 1 Colunas com seção composta dupla: $2 \times \Phi 30$ cm.
 2 vigas inclinadas com seção composta dupla: $2 \times \Phi 22$ cm.
 3 Terças com madeira serrada: 18×22 (cm).

EDIFICAÇÃO DE GALPÃO RURAL

Localização: Garzell, Baviera, Alemanha.
 Utilização: edificação de galpão rural.
 Projeto Arquitetônico: K. Hitzler, Munich (1988)
 Projeto Estrutural: k. Neumaier, Landshut (1988)
 Sistema estrutural: Galpão tipo pórticos atirantados.
 Elementos Estruturais: Peças de Madeira Rolíça
 Diâmetros médios: vigas inclinadas 2×22 cm; colunas: 2×30 cm.
 Ligações: chapas de aço e fixação c/ barras de aço rosqueadas passantes, arruelas e porcas.
 Vão: 16,40 metros.
 Comprimento: 36,10 metros.
 Distância entre pórticos: 5,16 metros.



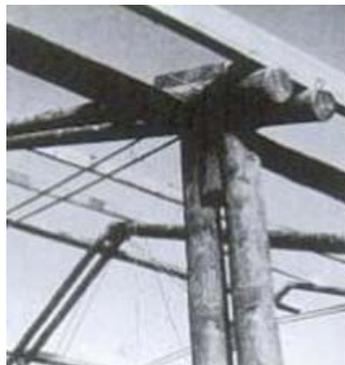
Elevação do Galpão.



Cobertura do galpão tipo pórtico, atirantado.



Tirantes com barras de aço, da cobertura do pórtico.



Pórtico: Vigas inclinadas e colunas com seção composta dupla.

Fonte: NATTERER (1998)..

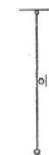
Sistemas Estruturais Usuais de Colunas, por NATTERER (1998):



Engastada na base e livre no topo.



Apoiada na base e articulada no topo.



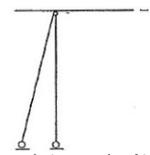
Apoiada na base, apoiada no topo, com travamento intermediário articulado.



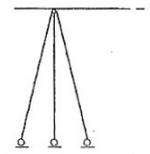
Apoiada na base, apoiada no topo, com travamento intermediário engastado.



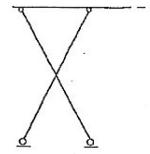
Mão-francesa na base.



Cavelete assimétrico.



Cavelete simétrico.

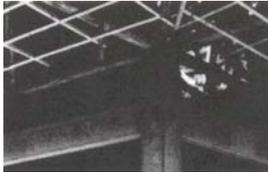


Poste cruzado, ou poste em X.

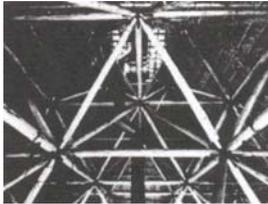
EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL TRELIÇA ESPACIAL



Fachada.

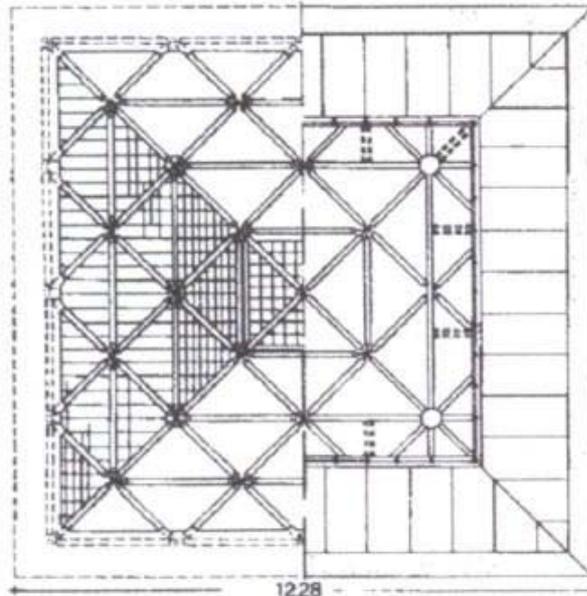
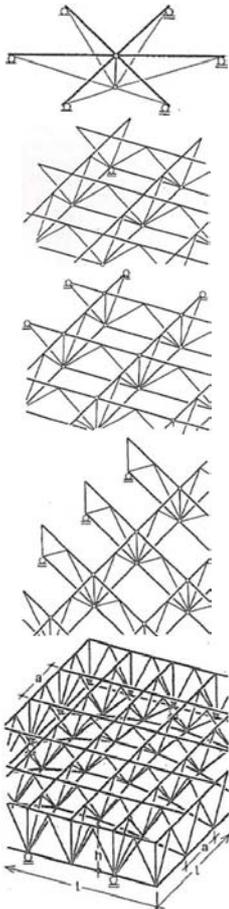


Apoio da estrutura portante sobre um dos postes principais

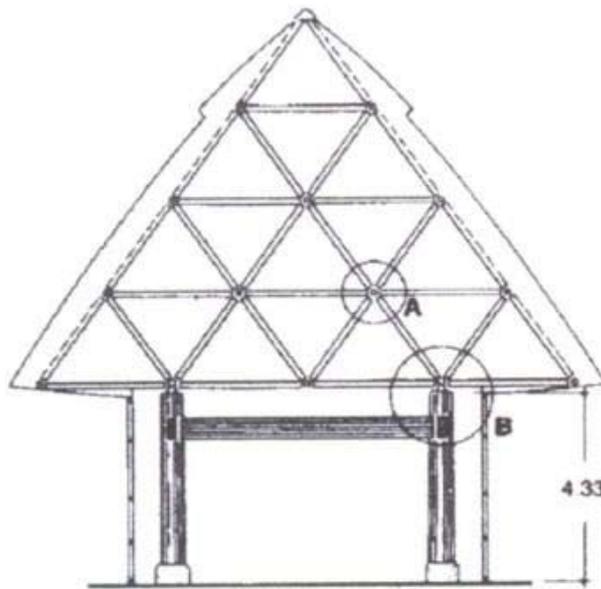


Estrutura da cobertura: Treliça espacial com madeira roliça de pequeno diâmetro.

Modelo de sistemas estruturais de coberturas com treliças espaciais, por NATTERER (1995):



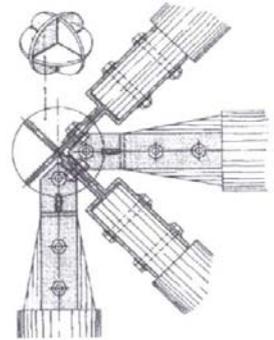
Planta da cobertura.



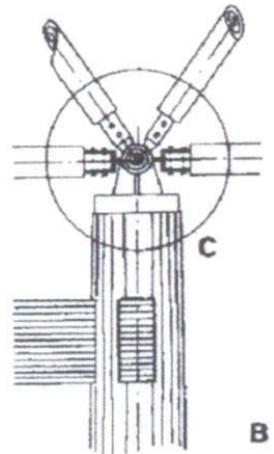
Planta de Elevação.

Fonte: NATTERER (1995)

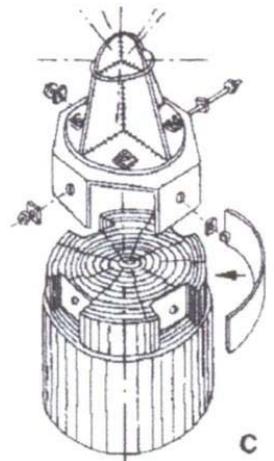
Detalhes das conexões da treliça espacial:



A



B



C

Legenda das ligações:

(A) Nós, unidos por elemento em aço com placas soldadas entre si para peças com Φ 10,5 cm articuladas individualmente no interior.

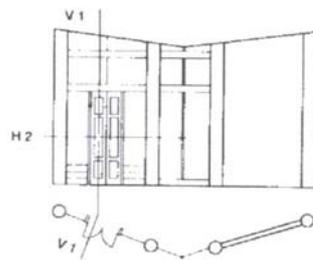
(B) e (C), apoio da estrutura portante sobre um dos postes principais com 945cm de altura.

Maquetes de projetos de estruturas de madeira:
Fonte: www.zanine.com.br

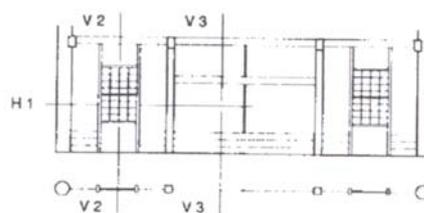


EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL BRASÍLIA

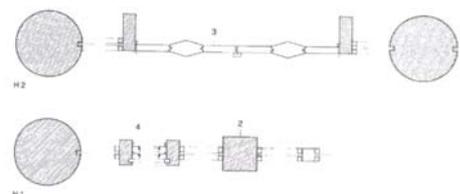
 Localização: Distrito federal, Brasília, BR.
Utilização: edificação residencial, sobrado de dois pavimentos
Projeto: Arquiteto José Zanine Caldas (1975).
Sistema estrutural: Viga-coluna
Distribuição Espacial: planta ortogonal coberta por um telhado em triângulos. Aeração permanente na base da fachada (região de clima quente e úmido)
Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça



PARTE DA FACHADA / SUPERIOR

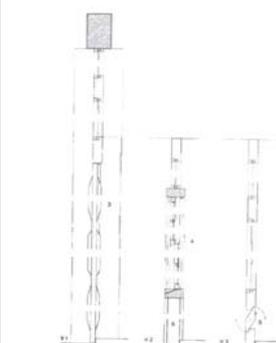


PARTE DA FACHADA / TÉRREO



- DETALHE EM PLANTA ESQUADRIAS E FECHAMENTO – s/ escala
1. pilar em madeira roliça $\varnothing = 40$ cm
 2. pilares em madeira serrada 20 X 20cm
 3. porta em madeira maciça
 4. janela corredeira vertical
 5. lâminas pivotantes
 6. alvenaria.

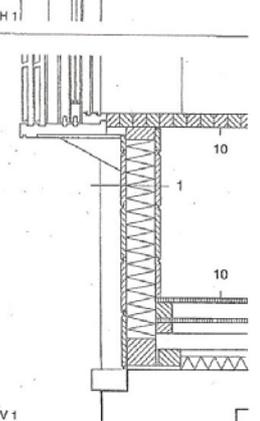
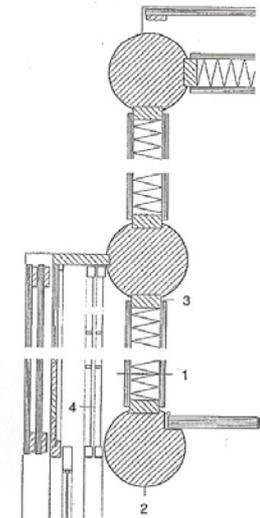
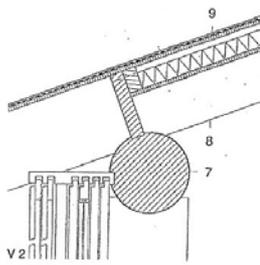
Fontes: NATTERER (1998); PARTEL (1999)



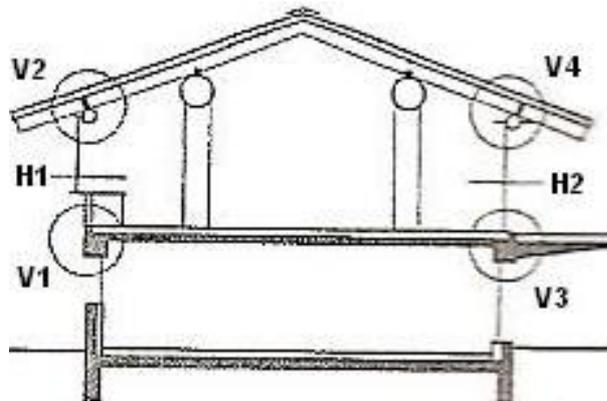
DETALHE - CORTE TRANSVERSAL ESQUADRIAS E FECHAMENTO – s/ escala

EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL CASA DE FÉRIAS

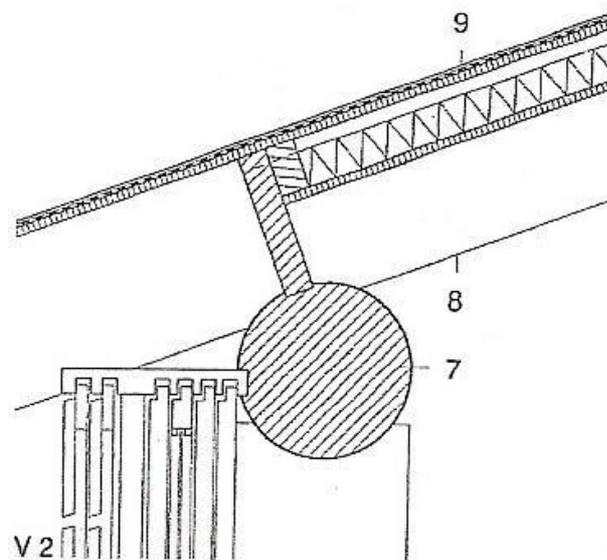
● Localização: Hakone Kanagawa, Japão.
 Utilização: edificação residencial.
 Projeto Arquitetônico: Chaire Masahiro Chatini, Universidade Técnica de Tóquio (1980).
 Paredes: painéis de vedação.
 Sistema estrutural: Pórtico.
 Elementos Estruturais: peças roliças de madeira.



Fachada.



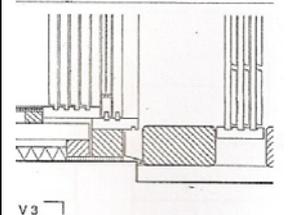
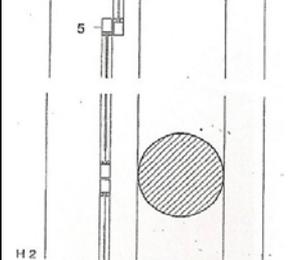
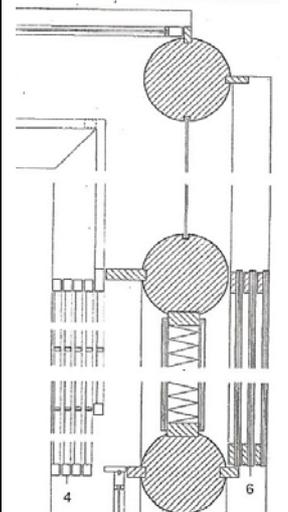
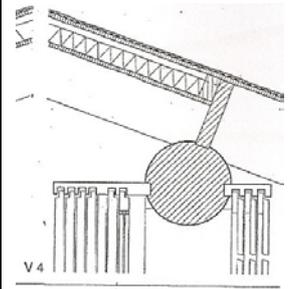
Elevação: Modelo da estrutura tipo pórtico



Legenda do projeto:

1. parede externa: 15 cm.
2. colunas com peças de madeira roliça: 30 cm.
3. peças de madeira serrada para montantes: 50/110 mm
4. porta de correr de madeira.
5. porta de correr de madeira.
6. deslizante.
7. vigas com peças de madeira roliça: 30 cm.
8. vigas inclinadas com peças de madeira serrada: 80/180 mm
9. telhas

Fonte: NATTERER (1998).



Fachada.

EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL CLARENS

 Localização: Suíça.

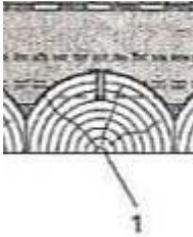
Utilização: edificação residencial

Projeto Arquitetônico: Giffes Bellmanfl Clarens (CH, 1992).

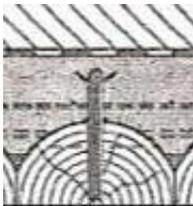
Projeto Estrutural: Natterer en Bois Consult, Etoy (CH).

Sistema estrutural: Laje mista madeira concreto armado.

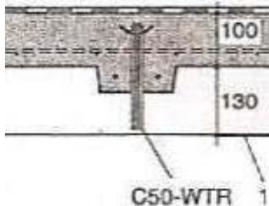
Elementos Estruturais: peças de madeira com seção semicircular.



Corte transversal. (1) madeira de seção semi-circular da laje mista de madeira e concreto armado, na cobertura da garagem. Altura total da laje, 23 cm.



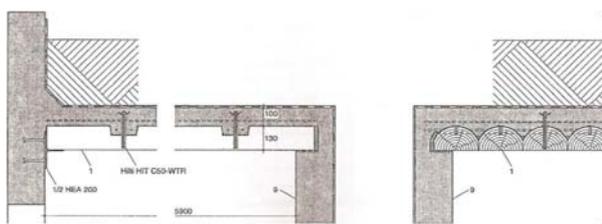
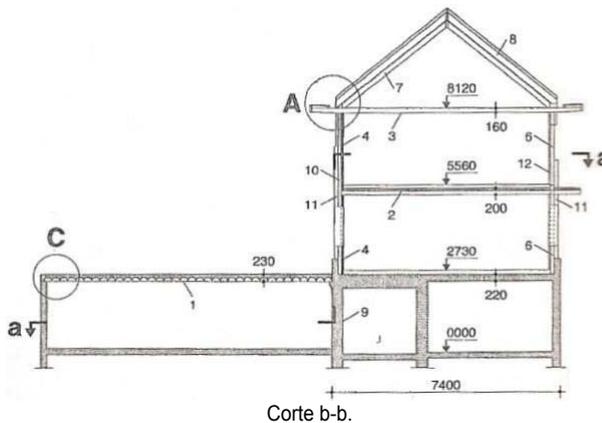
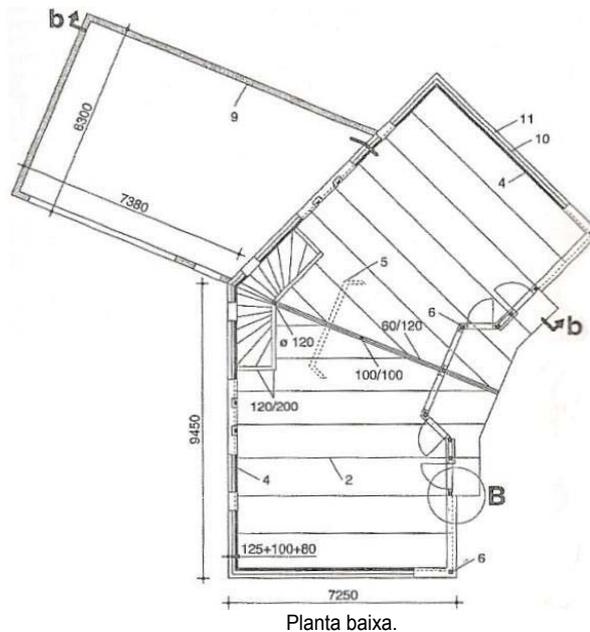
Corte transversal. Detalhe do conector metálico, embutido na peça de madeira semi-circular, colados com adesivo epóxi e distribuído ao longo do comprimento longitudinal da peça.



Corte Longitudinal. Detalhe da seção que corresponde à nervura de concreto armado, ao longo dos comprimentos dos maiores vãos da laje de cobertura da garagem, que são variáveis, de 7,38 m à 9,0 m.

Altura aproximada da camada de concreto da laje com 10 cm. Altura da seção semi-circular das peças de madeira roliça da laje cm 13 cm.

O vão da laje mista de cobertura da garagem, na direção onde as peças semi-circulares de madeira estão distribuídas longitudinalmente é de 6,5 m.

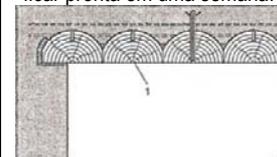


Fonte: NATTERER (1998).

Segundo NATTERER (1998), a empresa realizou uma intensa abordagem na utilização de elementos estruturais de madeira nesta construção, valorizando a execução com peças de madeira de baixa densidade.

A estrutura de laje mista de madeira e concreto é garantida pela instalação de um novo sistema com pino metálico, ancorado em um furo na madeira.

Uma grande vantagem deste sistema construtivo é a dispensa da necessidade da utilização de painéis de compensados e sarrafos de madeira para a confecção de formas para as lajes de concreto armado, pois os próprios elementos estruturais com peças de madeira semicirculares, dispostos lado a lado, já assumem a função das formas. Desta maneira, o sistema de montagem é rápido, reduz o desperdício de peças de madeira, e possibilita a agilidade no tempo de construção, pois não requer mão de obra de desforma, podendo a estrutura da laje ficar pronta em uma semana.



Detalhe C.



Fase de montagem: instalação das peças semi-circulares de madeira, para formar o pano da laje, e instalações das armaduras.

Segundo NATTERER, estas novas tecnologias são competitivas, favorecem uma melhoria na qualidade das construções de edificações, e fazem parte de esforços para utilizações adequadas de madeiras provenientes de reflorestamento, tendo um fundamental papel econômico.





Íçamento das colunas, com caminhão muque.



Fundação: aberduta para execução do bloco de concreto armado.



Vigas baldrame: esperas de barras de Aço CA50, coladas com adesivo epóxi, nos furos na base da coluna.



Vigas baldrame em concreto armado, interligadas aos blocos de fundação.



Colunas engastadas, concluídas.



Estrutura da cobertura: vigas de respaldo e vigas inclinadas de madeira roliça, terças de caibros.

EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL CIDADE JARDIM



Localização: Bairro Cidade Jardim, Campo Grande, MS.

Utilização: edificação residencial, sobrado de dois pavimentos

Projeto: Arquiteto André Costa - 2002

Sistema estrutural: Sistema misto, laje pré-fabricada apoiada sobre vigas de madeira serrada e cobertura viga-coluna com madeira roliça. Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça de Eucalipto, vigas de madeira serrada, lajes pré-fabricadas, vigas baldrame de concreto Armado.

Diâmetros médios dos postes: 20 cm a 30 cm

Ligações: Entalhes na madeira e fixação com pinos metálicos

Fundações: Blocos em Concreto Armado.

Tratamento: Impregnação de CCA da Montana Química.

Fornecedor da madeira: TRAMASUL

Acabamento e proteção superficial da madeira: osmocolor stain da Montana Química.

Dados: coletados pelo autor em visita técnica em abril de 2009.



Fachada em fase de construção.



Fachada da edificação concluída.

Fonte: www.flickr.com/photos/andre_costa/sets/72157606167215437/



Abertura na coluna, para instalação de viga de madeira serrada, com seção retangular.



Instalação das vigas serradas, de seção retangular.



Vigas serradas, de seção retangular, que suportam o piso do pavimento superior.



Trilhos das lajes pré-fabricadas treliçadas, apoiadas sobre as vigas serradas, de seção retangular, que compõem o piso do pavimento superior.



Vista inferior da instalação dos trilhos da laje pré-fabricada, apoiados sobre as vigas de madeira serrada.



Alvenaria com tijolos furados.

EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL ITATIAIA



Localização: Bairro Itatiaia, Campo Grande, MS.

Utilização: edificação residencial, sobrado de dois pavimentos

Projeto: Arquiteto André Costa - 2002

Sistema estrutural: Sistema misto, laje pré-fabricada apoiada sobre vigas de madeira serrada e viga-coluna com madeira roliça.

Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça de Eucalipto, vigas de madeira serrada, lajes pré-fabricadas, vigas baldrame de concreto Armado.

Ligações: Entalhes na madeira e fixação com pinos metálicos

Fundações: Blocos em Concreto Armado.

Tratamento: Impregnação de CCA da Montana Química.

Fornecedor da madeira: TRAMASUL

Acabamento e proteção superficial da madeira: osmocolor stain da Montana Química.

Dados: coletados pelo autor em visita técnica em abril de 2009.



lçamento das colunas, com caminhão muque.



Fundação: Poste engastado em bloco de concreto armado.



Vigas baldrame em concreto armado, interligadas aos blocos de fundação.



Colunas engastadas, concluídas.



lçamento das vigas c/ talhas.



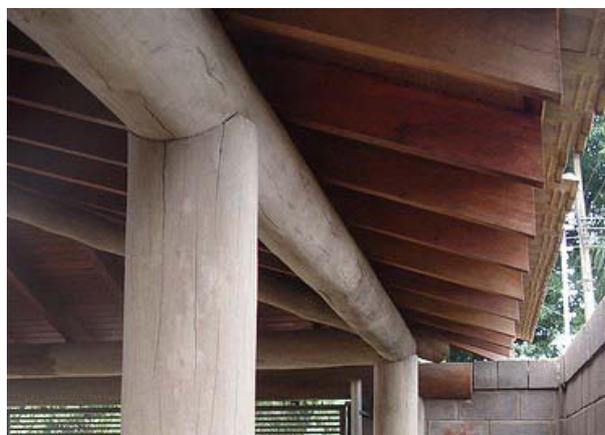
Laje pré-fabricada apoiada sobre as vigas de madeira serrada. Conexão de duas vigas de madeira serrada, apoiadas no corte do poste.



Vista frontal da estrutura. Maquete eletrônica da residência do Itatiaia, desenvolvida pelo autor no Programa Microstation.



Fachada da edificação concluída.



Entalhe no topo da coluna. Berço de apoio para viga.

Fonte: www.flickr.com/photos/andre_costa/sets/72157605403315854/



Estrutura da cobertura da fachada (cumeeira).



Estrutura da cobertura da fachada (Beiral).



Alvenaria com tijolos furados.



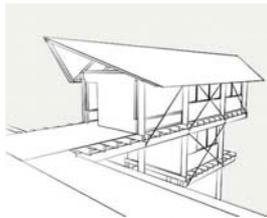
Cobertura: Terças com caibros de madeira serrada.



Muro com MRR.



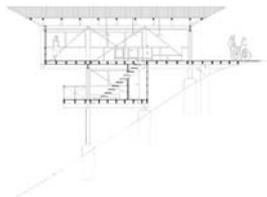
Acabamento e proteção da madeira com osmocolor stain da Montana Química.



Perspectiva da fachada.



Fachada frontal



Elevação: lateral esquerda.



Lateral esquerda.



Paredes com duas placas de OSB, tipo sanduíche, dispostas a 5 cm de distância.



Cobertura com telhas de fibra vegetal.

EDIFICAÇÃO DE LOFT BALANÇO



Localização: Campos do Jordão, SP.

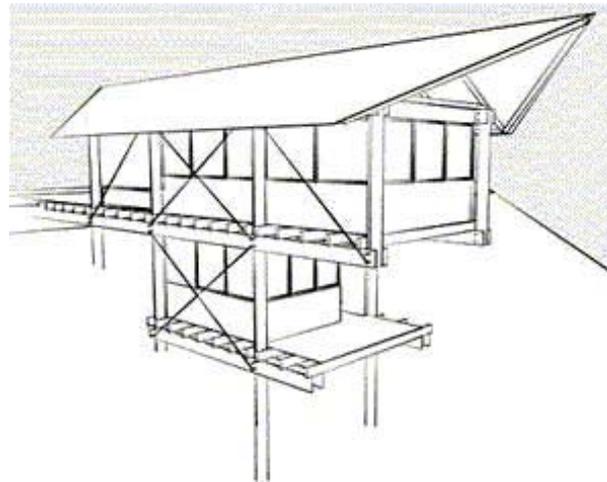
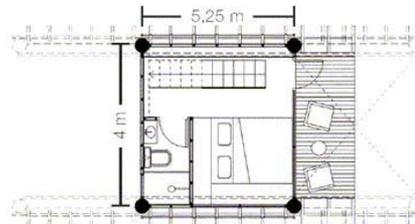
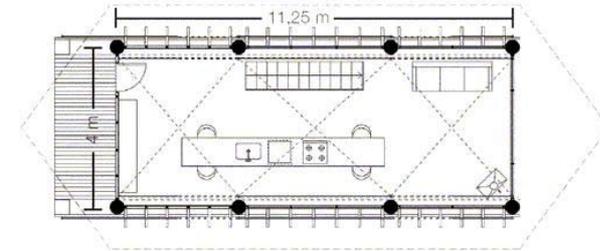
Utilização: edificação de loft de dois pavimentos

Projeto: Arquiteto André Eisenlohr

Sistema estrutural: colunas como postes e vigas com seção composta por dois elementos de madeira serrada, e com contraventamentos verticais e horizontais através de tirantes de cabos de aço.

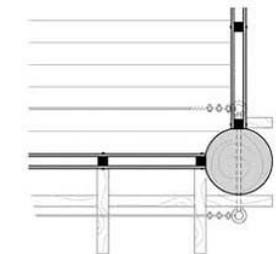
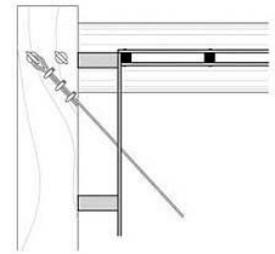
Elementos Estruturais: colunas com peças de madeira roliça de reflorestamento e vigas com madeira serrada.

Fundações: Blocos em Concreto



Loft na encosta. Colunas sobre blocos de concreto.

Fonte: www.casa.abril.com.br/planeta/casas/planeta_185377.shtml



Tirantes com cabos de aço.



Contraventamentos horizontal, c/ cabos de aço.



Contraventamentos verticais, c/ cabos de aço.

“A estrutura balança sem sucumbir ao vento. Cabos de aço cruzados estabilizam a casa e dão elasticidade, a estrutura balança sem riscos, afirma o arquiteto.”



Vigas com seção composta por dois elementos.

EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL CHALÉ CONTEMPORÂNEO

  Local: Serra da Mantiqueira, São Bento do Sapucaí, SP.

Utilização: edificação residencial, sobrado de dois pavimentos
Projeto: Arquiteto Roberto Amá (2005)

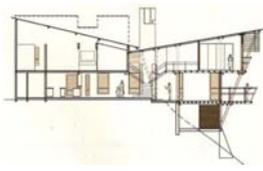
Dados: coletados pelo autor em visita técnica em abril de 2009
Sistema estrutural: pórticos com viga sanduíche compostas de duas peças de madeira serrada externas e uma peça de madeira roliça interna, conectadas nas colunas de madeira roliça de eucalipto.

Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça de Eucalipto

Ligações: conexões de aço galvanizado, parafusos e porcas.

Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.

Fornecimento: Usina Araucária



Construção em encosta.



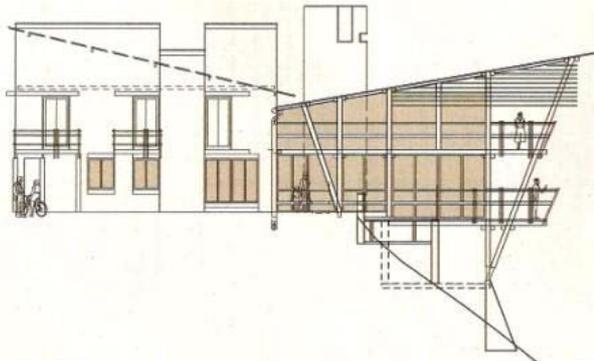
Telhas de aço galvanizado.
Revestimentos com tijolos aparentes.



Varanda: deck de pinus.



Para garantir a durabilidade das colunas estruturais de madeira roliça, nas ligações entre as colunas e os blocos de fundação, criou-se placas de base em aço galvanizado, parafusadas nas bases das colunas, e chumbadas nos blocos de concreto. Desta forma, isolam-se as peças de madeira para proteger da ação da umidade presente no solo.

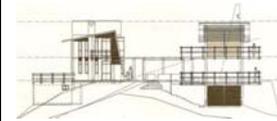
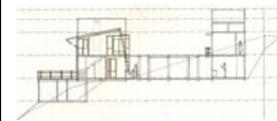


Fachada principal da edificação do chalé contemporâneo.



Placas de base da coluna, sobre blocos de fundação.

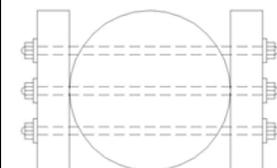
Fonte: Casa & Construção, número 41



Estrutura do salão.



Viga sanduíche compostas de duas peças de madeira serrada externas e uma peça de madeira roliça interna, conectadas nas colunas.



Seção transversal de diga sanduíche compostas de duas peças de madeira serrada externas e uma peça de madeira roliça interna.

EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL NATIVIDADE



Localização: Interior de São Paulo, SP.

Utilização: edificação residencial, sobrado de dois pavimentos

Projeto Arquitetônico: João Mansur

Cálculo e Dimensionamento : **Callia Estruturas de Madeira**

Planejamento e execução e : **Lock Construtora S.A.**

Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça de Eucalipto

Ligações: Entalhes na madeira e fixação com pinos metálicos inseridos nos elementos estruturais viga-coluna.

Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.



Estrutura da varanda.



Cobertura com Trelças Howe.



Foto pela abertura.



Terças com madeiras roliças.



Coluna de canto, recebendo as vigas.



Colunas de extremidades, recebendo às vigas.



Colunas de canto e de extremidades recebendo às vigas.



Fachada principal.



Fachada do fundo



Beirais da cobertura com terças de madeira roliça.



Fachada lateral

Fonte: www.callia.com.br



Estruturas das varandas em balanço.



Mão-francesa nas extremidades das vigas em balanço das varandas.



Esquadrias de madeira serrada, fixadas nas vigas e colunas.



Estrutura da escada.



Placa de Base, coluna espaçada do contato com o piso.



Lote de peças roliças, classificadas.

EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL CENTRO



Localização: Centro, Campo Grande, MS.

Utilização: edificação residencial, sobrado de dois pavimentos

Projeto: Arquiteto Dennis Michael Deffense (2001)

Sistema estrutural: Viga-coluna com pé direito duplo.

Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça de Eucalipto

Diâmetros médios: 20 cm a 30 cm

Ligações: Entalhes na madeira e fixação com pinos metálicos inseridos nos elementos estruturais viga-coluna.

Fundações: Blocos em Concreto Armado sobre estacas escavadas.

Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.

Fornecedor da madeira: TRAMASUL

Dados: coletados pelo autor em visita técnica em abril de 2009.



Cobertura da garagem, com duas águas.



Sacada em balanço, sobre viga com seção bicircular.



Viga com seção bicircular, porém sem o uso de anéis.



Guarda corpo da varanda.



Viga intermediária de travamento do pé direito duplo, apoiada nas colunas de canto e intermediária.



Aberturas na cobertura, para entrada de iluminação natural.



Fachada principal da edificação residencial.



Varanda da entrada principal da sala de estar.



Sistema estrutural viga-coluna com pé direito duplo da sala de estar.

Fonte: Fotos do Autor em abril de 2009.



Cobertura do banheiro.



Cobertura da sacada da suíte.



Escada de acesso ao mezanino, com peças de madeira roliça de meia seção.



Viga inclinada da cobertura do mezanino com a sala, apoiada no topo da coluna de canto.



Cobertura da varanda de acesso à sala de estar.



Cobertura da sala de pé direito duplo, que fica em anexo ao mezanino.

EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL GARANDÁ 3



Localização: Carandá 3, Campo Grande – MS.

Utilização: edificação residencial, sobrado de dois pavimentos

Projeto: Arquiteto Dennis Michael Deffense (2005)

Sistema estrutural: Viga-coluna

Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça de Eucalipto

Diâmetros médios: 20 cm a 30 cm

Ligações: Entalhes na madeira e fixação com pinos metálicos inseridos nos elementos estruturais viga-coluna.

Fundações: Blocos em Concreto Armado sobre estacas escavadas.

Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.

Fornecedor da madeira: TRAMASUL

Dados: coletados pelo autor em visita técnica em abril de 2009.



Conexão de uma das colunas intermediárias, da varanda.



Conexão de uma das colunas centrais, da varanda.



Conexão da coluna de canto da varanda à frente.



Conexão da coluna de canto da varanda na lateral esquerda.



Conexão da coluna intermediária, da varanda com a sala social, na lateral esquerda.



Conexão de uma das colunas centrais, da varanda com a sala social.



Vista geral da edificação e jardim no quintal.



Fachada da varanda e porta de acesso à sala social.



Vidro na cobertura para entrada de iluminação natural.
Estrutura da cobertura da sala social.

Fonte: Fotos do Autor em abril de 2009.



Estrutura da cobertura do hall de entrada principal. Forro com chapas de OSB.



Estrutura da cobertura sobre à escada.



Estrutura da cobertura da sala social, e conexões viga-coluna, pé-direito duplo.



Colunas intermediárias e de canto da sala social.



Patamar da escada.



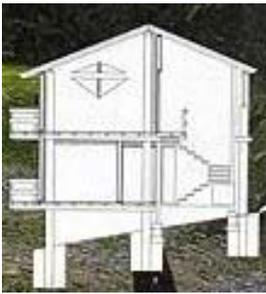
Parte da fachada frontal.

EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL CONDOMÍNIO SÍTIO DA TRIBO

 Localização: Ibiúna, SP.

Utilização: edificações residenciais, em condomínio
Projeto: Arquitetos Ignácio Mesquita e José Augusto Conceição
Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça e serrada de eucalipto e de pinus

Tratamento: eucalipto autoclavado.



Condomínio Sítio da Tribo II:
Corte A.A..



Condomínio Sítio da Tribo II:
Colunas de madeira roliça,
contraventadas com treliças
em X, constituídas por vigas
compostas de duas peças de
madeira serrada externas.



Condomínio Sítio da Tribo V:
vigas compostas de duas
peças de madeira serrada
externas, conectadas no topo
da Coluna de madeira roliça.



Condomínio Sítio da Tribo I: Colunas de madeira roliça, vigas compostas de duas peças de madeira serrada externas.



Condomínio Sítio da Tribo III: Colunas de madeira roliça, vigas e mãos- fracesa de madeira serrada.



Condomínio Sítio da Tribo IV: Colunas de madeira roliça, vigas de madeira serrada.



Condomínio Sítio da Tribo V: Colunas de madeira roliça, vigas compostas de duas peças de madeira serrada externas.

Fonte: <http://www.bparquitetura.com.br>



Condomínio Sítio da Tribo I:
Paredes externas inclinadas,
construídas com peças
serradas de pinus.



Condomínio Sítio da Tribo I:
Colunas da garagem, com
peças roliças de madeira.



Condomínio Sítio da Tribo I:
vigas compostas de duas
peças de madeira serrada
externas, conectadas no
topo da Coluna de madeira
roliça.



Condomínio Sítio da Tribo I:
Varanda. Colunas de madeira
roliça, vigas compostas de duas
peças de madeira serrada
externas.

EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL ALTO DE PINHEIROS



Localização: Alto de Pinheiros, São Paulo, SP.

Utilização: edificação residencial, sobrado de dois pavimentos

Projeto: Arquiteta Flávia Ralston

Sistema Estrutural: pórtico, viga-coluna e cobertura com treliças polonceau reta invertida

Elementos Estruturais: Peças de Madeira Rolíça de Eucalipto

Ligações: Entalhes na madeira e fixação com parafusos metálicos

Fundação: blocos e pilaretes de concreto armado.

Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.



Cobertura com treliças polonceau reta invertida.



Mezanino: Sistema estrutural viga-coluna.



Estrutura da escada.



Pé direito duplo, com 7,0 metros de altura.



Pergolado e estrutura de peças roliças do painél de vidro.



Varanda: cobertura com treliças polonceau reta invertida.

Fonte: Casa & Construção, número 36



Cobertura com treliças polonceau reta invertida.



Varanda: estrutura de peças roliças do painél de vidro.



Pilares de concreto Armado: parte da estrutura da casa.



Coluna de eucalipto do pergolado do jardim.



Fachada.

EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL NO LITORAL ITACARÉ

Descritivo da obra:



1. Porta com madeira de demolição.

2. Toda estrutura da casa (colunas, vigas e madeiramento da cobertura), são de eucalipto tratado em autoclave e proteção com duas demãos de stain.



3. Sala de Estar Jantar. Estrutura da cobertura aparente.



4. sala de jantar.

  Localização: Itacaré, Litoral Baiano, BA.

Utilização: edificação residencial, térrea

Projeto: Arquiteto Ademar Gustavo Sá Santos

Sistema estrutural: viga-coluna, cobertura e terças com madeira roliça de eucalipto

Telhas: taubilha, telhas de madeira 20cmx50cm pregadas na estrutura da cobertura, com pregos galvanizados.

Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça de Eucalipto

Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.

Proteção Externa: duas demãos de stain



No topo do morro, o terreno é estreito e comprido, com o lado maior voltado para o mar.



Todos os ambientes tem vista para o Mar. O arquiteto, pensou nisso ao desenhar a planta em três blocos (o do casal, o de estar e o dos hóspedes), organizados em torno do terraço.

Fonte: Arquitetura & Construção, Editora Abril, Dez 2005.



5. Nos quartos as telhas não ficaram aparentes, foram utilizados forros de angelim.



6. Muito usadas no litoral da Bahia, as telhas de madeira (taubilha) 20cmx50cm, foram fixadas na estrutura da cobertura com pregos galvanizados. A manta da subcobertura é obrigatória para evitar infiltrações. Foram cortadas em tiras e colocadas nos trechs em que as telhas sobrepõem.

7. Vista da área da piscina.



8. Gradiis também de madeira roliça de eucalipto.

EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL BÚZIOS



Localização: Manginhos, Búzios, RJ.
Utilização: edificação residencial
Projeto: Arq. Maurício Magarão, Arq. Cilene Marx (Cadas Arq.)
Ano: 2007
Sistema estrutural: pórtico e viga-coluna
Ligações: Entalhes na madeira, e fixação com pinos metálicos



Tirante de aço, do pórtico.



Terças de Madeira roliça, apoiadas sobre à viga, também de madeira roliça.



Vedação entre terças e vigas, com sarrafos.



Conexões da base do espigão de madeira roliça do telhado, apoiando sobre a conexão de canto das vigas de madeira roliça.



Fachada: estrutura do deck sobre a piscina.



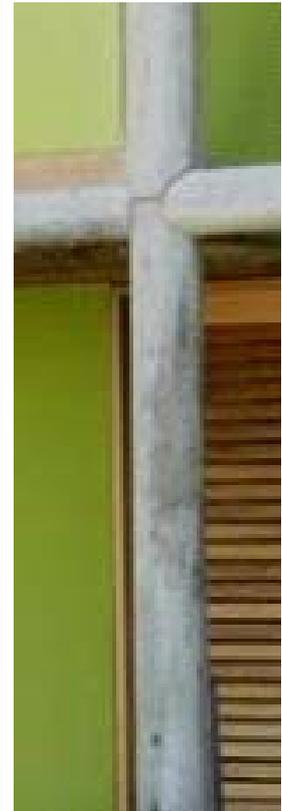
Estrutura do deck coberto. Ao fundo, estrutura do muro.



Sala de estar e jantar: cobertura com telhas cerâmicas.



Estrutura da cobertura da sala de estar e jantar.



Estruturas da residência, pórticos, compostos por vigas e colunas de madeira roliça. Entalhes nas conexões das vigas de madeira roliça, com às colunas.



Ofurô: tora de madeira.



Pórticos da estrutura da cobertura do deck, composto por vigas de madeira serrada e colunas de madeira roliça.

EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL PRAIA DO FORTE

 Localização: Praia do Forte, Salvador, BA.

Utilização: edificação residencial

Projeto: Arquiteto David Bastos

Sistema estrutural: Pórticos

Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça de Eucalipto Tratado.

Ligações: Entalhes na madeira e fixação com pinos metálicos

Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave. Nos cortes e furos, foram aplicados pentox da Montana Química.

Acabamento e proteção externa: Osmocolor da Montana Química.



Estrutura da sala de jantar.



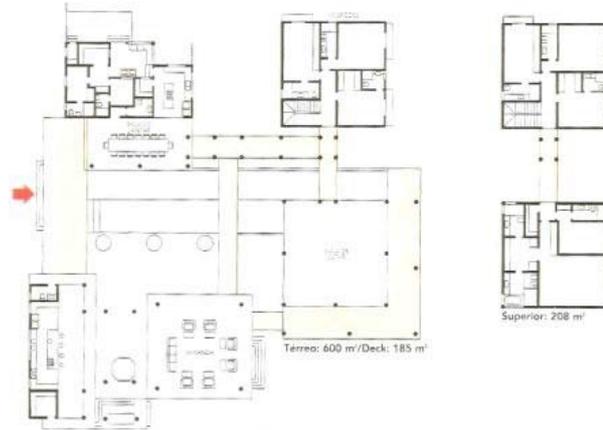
Estrutura do corredor de acesso à sala de jantar.



Área externa da varanda.



Pórtico c/ duchas na piscina.



Plantas baixas da edificação.



Suspensa do solo por meio de palafitas, a casa se livra de umidade. A altura também melhora a ventilação.

Fonte: Arquitetura & Construção, setembro de 2005.



Estrutura da varanda.



Estrutura da cobertura da varanda. Beirais de 1 metro.



Terças, com madeira roliça. Acabamento e proteção das estruturas de madeira com Osmocolor da Montana Química.



Estrutura da sala de estar.



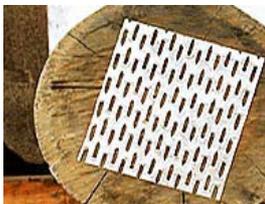
Estrutura da cobertura da sala de estar.



Vista frontal da estrutura da varanda de acesso à sala.



Perspectiva da estrutura da varanda de acesso à sala.



Instalação de chapas com dentes estampados nas extremidades das peças.



Conexão da estrutura da varanda com a sala.



Estrutura da varanda da churrasqueira. Sofás e mesa da varanda com peças roliças.



Estrutura da cobertura da varanda da churrasqueira.

EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL TERRAVISTA - LOTE 14



Localização: Terravista, lote 14, Salvador, BA.

Utilização: edificação residencial

Projeto: Arquiteto David Bastos

Sistema estrutural: Pórticos e coberturas de treliça howe

Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça de Eucalipto Tratado.

Ligações: Entalhes na madeira e fixação com pinos metálicos

Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.



Fachada geral da edificação. Estrutura de pórtico.



Estrutura de pórtico e estrutura da cobertura da sala com terças de madeira roliça.



Estrutura da cobertura da sala, vista de outro ângulo.

Fonte: www.davidbastos.com



Vigas da estrutura do banheiro.



Estrutura do guarda corpo da sacada, com peças roliças de madeira de reflorestamento.



Viga de travamento do pórtico da varanda de acesso à sala.



Estruturas da garagem e do hall de entrada.



Estrutura do Hall de entrada.



Iluminação da estrutura da varanda de acesso à sala.

EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL TERRAVISTA - LOTE 77



Localização: Terravista, lote 77, Salvador, BA.

Utilização: edificação residencial

Projeto: Arquiteto David Bastos

Sistema estrutural: Pórtico, viga-coluna.

Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça de Eucalipto Tratado.

Ligações: Entalhes na madeira e fixação com pinos metálicos

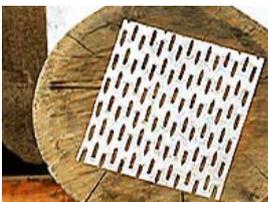
Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.



Estrutura da cobertura com peças roliças de madeira.



Estrutura da sala de jantar.



Instalação de chapas com dentes estampados nas extremidades das peças.



Exemplo de chapas com dentes estampados na extremidade de uma viga.



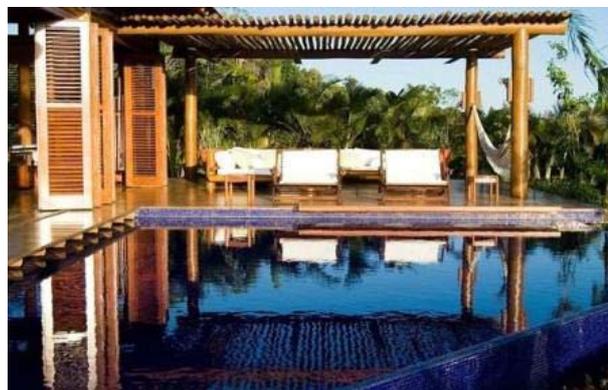
Ao fundo, mão francesa que apóia a viga de sustentação do pergolado sobre a piscina.



Fachada da edificação.



Estrutura da sala: Sistema estrutural viga-coluna.



Pergolado: Sistema estrutural de pórtico.



Viga secundária, apoiada normalmente através de entalhe e pino metálico, lateralmete na viga principal.



Conexão da viga, através de entalhe normal à coluna.



Conexão viga,, através de entalhe no topo da coluna.



Viga apoiada sobre o entalhe no topo da coluna.

Fonte: www.davidbastos.com

As toras de madeira roliça de eucalipto, utilizadas na estrutura, foram transportadas imersas ao mar, amarradas a um barco que as rebocou até a Ilha do Araújo.



Estruturas da varanda, com peças roliças.



Estrutura da sala. Sistema estrutural viga-coluna.



Foram utilizadas mãos francesas em algumas ligações viga-coluna.



Detalhe de uma mão francesa, interligando a viga à coluna.

EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL ILHA DO ARAÚJO - PARATY



Localização: Ilha do Araújo, Paraty, RJ.

Utilização: edificação residencial, sobrado de dois pavimentos

Projeto: Arquiteta Iris Carneiro

Construção: Marcos da Costa Monteiro Filho

Dados: Arquitetura & Construção, Editora Abril, Set 2008.

Sistema estrutural: viga-coluna e assoalhos sobre vigas de madeira serrada.

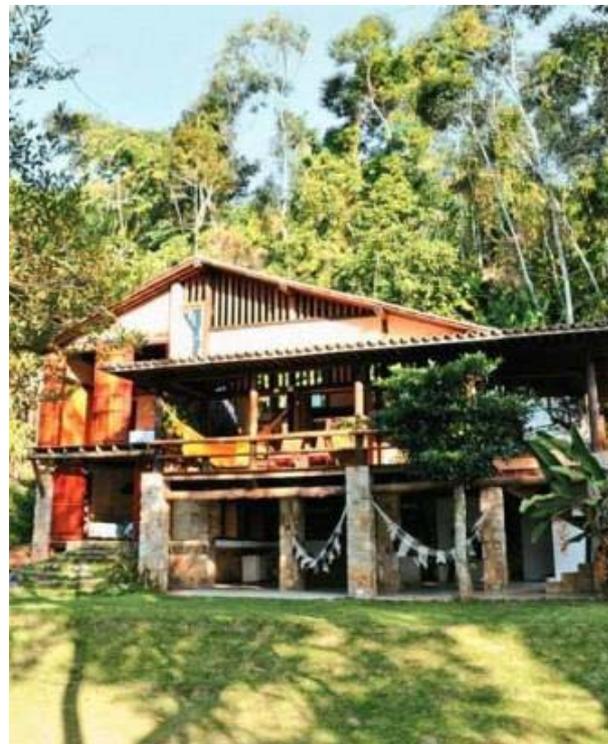
Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça de Eucalipto

Telhado: cobertura de madeira com taubilha

Pé direito: 8 metros

Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.

Acabamento e proteção da madeira: Osmocolor Stain, da Montana Química.



Vista frontal da edificação. Beirais de 80 cm de profundidade evita entrada de chuva pelo ripado longo abaixo do telhado.

Fonte: Arquitetura & Construção, setembro de 2008.

Apenas a área dos quartos está apoiada diretamente no solo, sobre uma fundação de sapata corrida. As colunas de eucalipto foram erguidas sobre o pilotis de concreto.



Detalhe dos assoalhos sobre vigas de madeira serrada, apoiadas na viga de madeira roliça de eucalipto.



Detalhe de uma conexão de vigas em uma coluna de extremidade.



Vista interna da sala de jantar.

A estrutura da cobertura, foi projetada propositalmente com caibros em linha, a fim de formar um efeito listrado, espaçados a cada 15cm, dispensando a utilização das ripas. O ganho estético porém pesa no bolso, pois consome quatro vezes mais madeira que o sistema convencional.

EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL LITORAL DE TRANCOSO



Localização: Litoral de Trancoso, Bahia.

Utilização: edificação residencial, sobrado de dois pavimentos

Projeto: Arquiteto Thomas Michaelis

Sistema Estrutural: viga-coluna, vigas simples e vigas de seção bicircular

Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça de Eucalipto com certificação de procedência.

Ligações: Entalhes na madeira e fixação com pinos metálicos inseridos nos elementos estruturais viga-coluna.

Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.



TÉRREO



SUPERIOR



Estrutura da varanda.



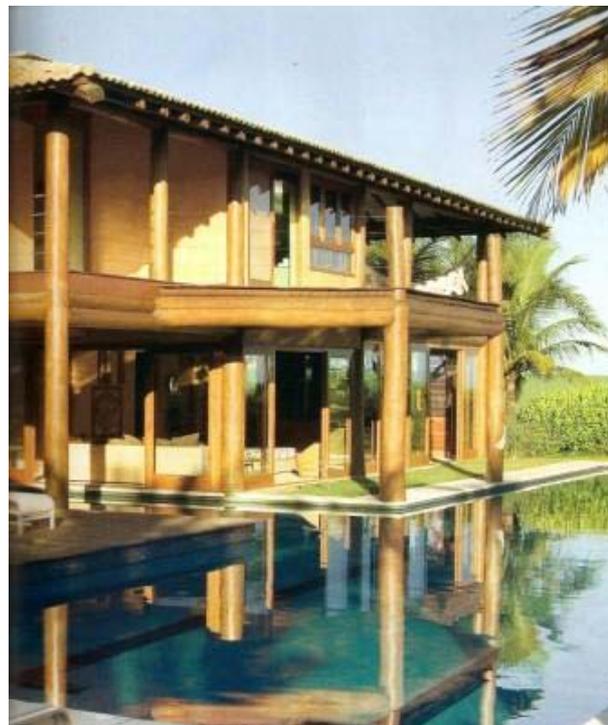
Estrutura do mezanino.



Vigas com seção bicircular.



Estrutura do pergolado.



Fachada, lado da piscina.

Fonte: Construir Rústicas, N° 03, 2009. Casa Dois Editora.



Terças de madeira roliça.



Vigas da cobertura da sala.



Mirante com vista para o mar.



Estrutura do quiosque com peças roliças de madeira.



Fachada principal.

EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL FLORIANÓPOLIS



Localização: Ilha de Florianópolis, SC.

Utilização: edificação residencial, sobrado de quatro pavimentos

Projeto: Henrique Reinach e Maurício Mendonça

Construção: Manoel L. S. Farias e Luiz Fernando Luz Silva

Sistema estrutural: Sistemas de Pórticos, a parte frontal da edificação a estrutura é composta por pórticos com postes de eucalipto. As demais áreas a estrutura é de concreto armado.

Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça de Eucalipto

Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.

Fornecimento da madeira roliça: IRPA



Vista interna da sala de estar.



Estrutura com vigas de madeira roliça. Terças da cobertura com vigas madeira serrada.



Colunas de madeira roliça, fixadas em pilaretes de concreto armado revestido com pedras.



Vista Frontal da edificação.



Para construir o mirante na cobertura da residência, a estrutura frontal da edificação foi construída com pórticos de madeira roliça. Esse desenho de cobertura disfarça a altura de 12 m.

Fonte: Arquitetura & Construção, Editora Abril, Dez 2005.



Detalhe do pórtico da lateral esquerda da edificação.



Vista dos fundos da edificação.



Pergolado na piscina.



Pergolado na varanda do mirante.

EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL BRANCO NATURAL



Localização: Condomínio em Búzios, RJ.

Utilização: Condomínio com 10 edificações residenciais semelhantes, com sobrados de dois pavimentos

Projeto do condomínio: Zinho Paccaud; Daniel Paccaud.

Projeto de personalização desta residência: Arq. Isabella Lucena Correia.

Sistema estrutural: varandas, pergolados e coberturas, com sistemas de pórticos com madeira roliça, demais áreas com estruturas de concreto armado.

“Aqui, a atmosfera convida a relaxar com todo o conforto.”



Vista interna da varanda com pergolado.



Verga de madeira roliça, sobre a porta de entrada principal.



Coluna de canto da varanda com vista para o mar.



Viga inclinada da estrutura da cobertura.



Fachada, padrão do condomínio, tem amplos vãos que proporciona luz natural.



Estrutura do pergolado com peças roliças de madeira.

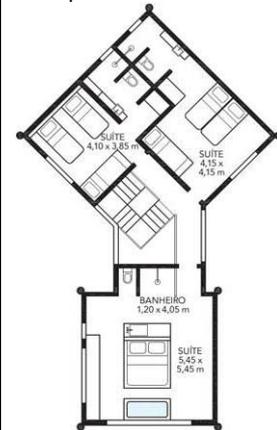
Fonte: Arquitetura & Construção, Editora Abril, Mar 2009.



Viga inclinada da estrutura da cobertura da suíte.



Planta baixa do pavimento térreo.



Planta baixa do pavimento superior.

“Sustentabilidade: Um estudo recente do Laboratório Nacional Lawrence Berkeley, na Califórnia, mostrou que **pintar os telhados e fachadas de branco ajuda a combater o aquecimento global**. Enquanto as coberturas escuras absorvem 80% do calor externo, as claras refletem até 90% da luz solar. Com isso, cidades com mais telhados brancos sofreriam menos com as ilhas de calor.”

Fonte: www.onedegreeless.org



Montagem da estrutura, em Avaré, SP.



Treliça Howe.



Treliça Polonceau Invertida, em Vitória ES.



Nó da treliça: ligação com chapa interna e parafusos.



Nó da treliça: ligação com chapa externa e parafusos.



Beirais e terças com MRR.



Pergolado e gradil com MRR.

EDETALHES CONSTRUTIVOS CALLIA ESTRUTURAS DE MADEIRA



Localização: São Paulo, SP.

Projetos: Callia Estruturas de Madeira

Sistemas estruturais: viga-coluna, pórticos, treliças e quiosques

Elementos Estruturais: Peças roliças de Madeira

Ligações: Entalhes na madeira, fixação com chapas (internas e externas) de aço galvanizadas e barras rosqueadas passantes, arruelas e porcas.

Tratamento: impregnação de CCA em autoclave.



Encontro de vigas laterais e espigão. Foi usado um martelete para o espigão e barra rosqueada Ø1/2" para as vigas de travamento laterais.



Encontro de vigas duplas com pilar. Ligação com lingueta de aço galvanizado na viga inferior e uma cantoneira na viga superior. A viga é dupla p/ receber carga da laje treliçada.



Ligações em coluna central.

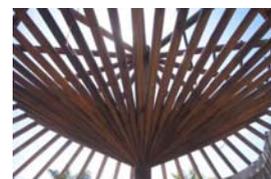
Fontes: www.callia.com.br
www.estruturasdemadeira.blogspot.com



Cobertura de residência em Belo Horizonte, MG.



Terças: Composições de raios.
Ligações: barras rosqueadas.



Cunha de compressão central.



Anel de compressão central.



Ligação de base de coluna, em placa de base de aço galvanizado.



Placa de base de aço galvanizado: transição do bloco de concreto para a coluna de madeira. Foi desenvolvida na Callia Estruturas de Madeira. Este Elemento eleva a coluna de madeira, evitando o contato da mesma c/ o concreto. Com isso a água nesta região evapora rapidamente, evitando o apodrecimento da base da coluna.

EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL CASA NA FAZENDA



Alguns cuidados no projeto ajudam a aumentar a vida útil da madeira. O arquiteto James criou beirais largos, fundações elevadas e um telhado com caimento perfeito, que evita acúmulo de água na madeira, e o conseqüente surgimento de insetos e fungos. As fundações e alvenarias, foram executadas em três meses.



Em trinta dias, a equipe da Tora Log Home, ergueram todas as paredes de madeira e a estrutura do telhado.



Entre os troncos sobrepostos, aplica-se uma espuma de vedação, que evita o surgimento de fendas. Para reforçar a junção, são instalados parafusos longos em toda a extensão da parede passando pelas toras.



Estrutura da pérgula no hall de entrada: Entalhes precisos nas conexões das peças.

  Localização: interior de São Paulo, SP.

Utilização: edificação residencial de casa em fazenda

Projeto: Arquiteto James Lawrence Vianna

Cálculo Estrutural: Raphael Bonan

Execução: Tora Log Homes e NAJ Construções (2002)

Sistema estrutural: sistema industrializado (pré-fabricado) constituído pela composição de painéis com peças roliças e pórticos.

Elementos Estruturais: vigas, colunas e painéis de MRR com diversas espécies de eucalipto: Citriodora, Urophylla, Grandis e Cloeziana.

Tratamento: eucalipto autoclavado.

Acabamento e proteção externa: Stain Osmocolor (Montana Química).

Ligações: Entalhes na madeira e fixação com, parafusos passantes longos, inseridos nos elementos estruturais.

Fundações: Blocos de Concreto e baldrame de concreto c/ 40 cm de altura, que contorna a casa, e sevem de base para às toras.



Inspirado nas tradicionais log home americanas, a construção recorreu a técnicas modernas que garantem acabamento refinado e vida longa às paredes de toras de eucalipto, comenta o arquiteto James.



Duas demãos de impregnante do tipo stain (Osmocolor, da Montana Química) protegem o madeiramento. Ele deve ser reaplicado a cada dois anos. 'Assim, o eucalipto pode durar tanto quanto uma parede de alvenaria', diz Lupércio Barros Lima, da construtora Tora.

Fonte: Arquitetura & Construção, Edição de julho de 2003.



Nas logs tradicionais, as próprias paredes apóiam o telhado. Como este projeto é muito recortado, com clarabóia e painéis de vidro, foi preciso acrescentar pórticos e colunas.



Alguns desses pórticos, compostos por vigas e colunas, ficam aparentes no interior da sala, sustentando também as vigas do mezanino.



Entalhes precisos, e parafusos nas conexões das peças.



Na sala principal, dois troncos paralelos formam a viga inclinada, que sustentam os degraus da estrutura da escada.

EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL LOG HOME DE PINUS IRPA - PROJETO 1



Localização: Interior de São Paulo, SP.

Utilização: edificação residencial

Projeto: Eng. Luiz Fernando Bressan

Sistema estrutural: estruturas compostas por painéis. O sistema construtivo é industrial, pré-fabricado, tipo "Log Home" americanas.

Elementos Estruturais: Peças de Madeira Rolíça de Pinus

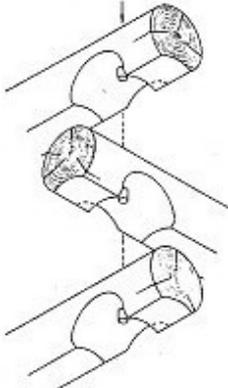
Ligações: Entalhes na madeira. Fixação com longas barras rosqueadas, de aço galvanizadas, instaladas em toda a extensão da parede passando pelas toras.

Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.

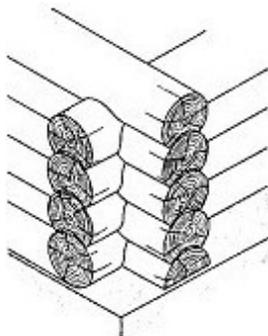
Fornecedor da madeira: IRPA, São Carlos, SP



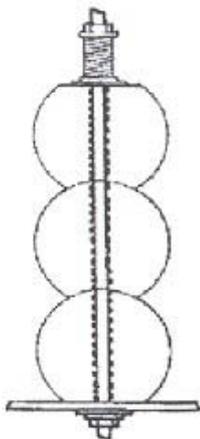
Seções transversais, das toras, torneadas na indústria.



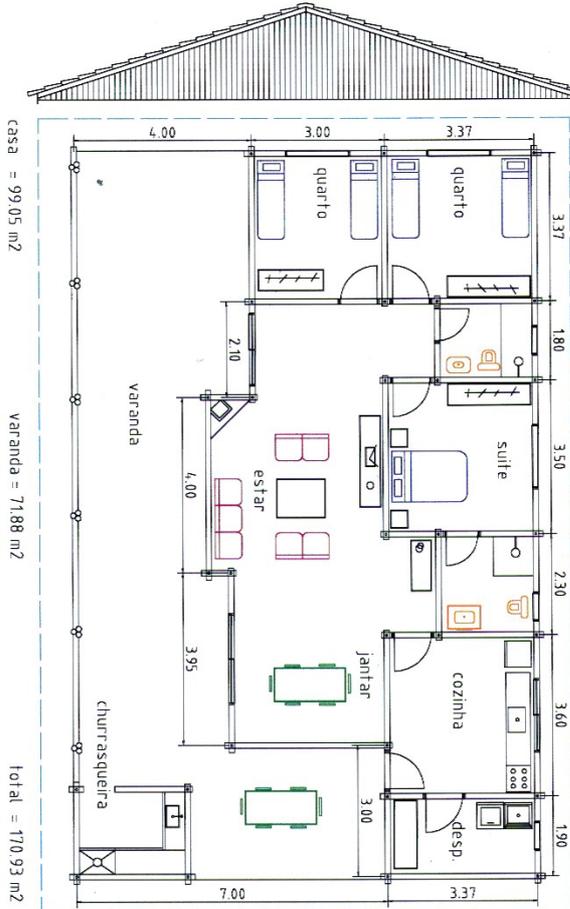
Sistema de encaixes dos entalhes, nas toras.



Formação dos cantos das paredes.



Ligações: Entalhes na madeira. Fixação com longas barras rosqueadas, de aço galvanizadas, instaladas em toda a extensão da parede passando pelas toras, com arruelas e porcas de aperto nas extremidades.



Fachada: estrutura da varanda. Fonte: www.casabella.etc.br



Madeira de reflorestamento, tratada com Impregnação de CCA em autoclave.



Torno para peças roliças.



Entalhes para conexões nos encontros de paredes, de construções com sistemas estruturais tipo Log Homes.



Sala: paredes internas.



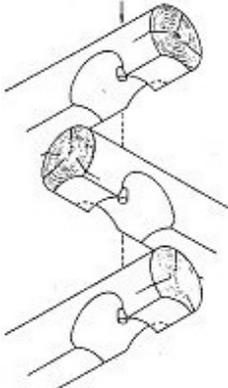
Sala: paredes internas.



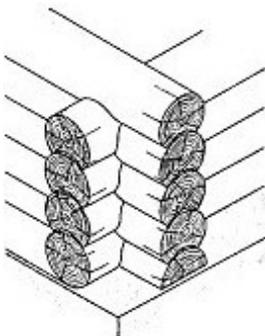
Varanda: paredes externas.



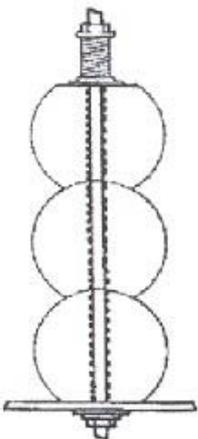
Seções transversais, das toras, torneadas na indústria.



Sistema de encaixes dos entalhes, nas toras.



Formação dos cantos das paredes.



Ligações: Entalhes na madeira. Fixação com longas barras rosqueadas, de aço galvanizadas, instaladas em toda a extensão da parede passando pelas toras, com arruelas e porcas de aperto nas extremidades.

EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL LOG HOME DE PINUS IRPA - PROJETO 2



Localização: Interior de São Paulo, SP.

Utilização: edificação residencial

Projeto: Eng. Luiz Fernando Bressan

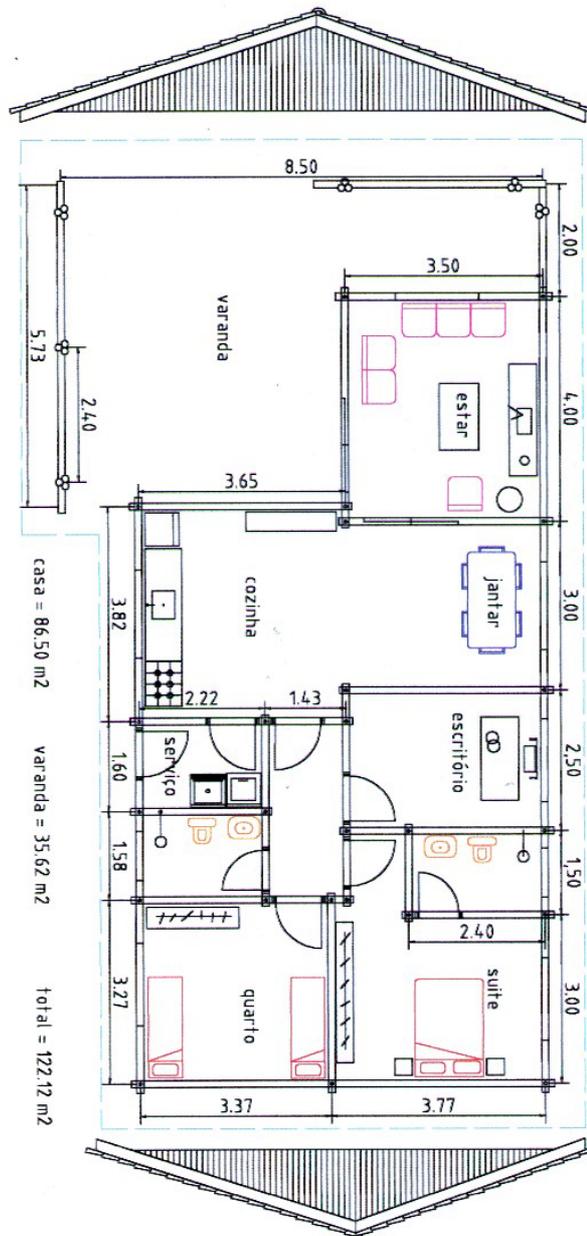
Sistema estrutural: estruturas compostas por painéis. O sistema construtivo é industrial, pré-fabricado, tipo "Log Home" americanas.

Elementos Estruturais: Peças de Madeira Rolíça de Pinus

Ligações: Entalhes na madeira. Fixação com longas barras rosqueadas, de aço galvanizadas, instaladas em toda a extensão da parede passando pelas toras.

Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.

Fornecedor da madeira: IRPA, São Carlos, SP



Planta baixa: casa do projeto 2

Fonte: www.casabella.etc.br



Madeira de reflorestamento, tratada com Impregnação de CCA em autoclave.



Torno para peças roliças.



Entalhes para conexões nos encontros de paredes, de construções com sistemas estruturais tipo Log Homes.



Vista externa: colunas da varanda.



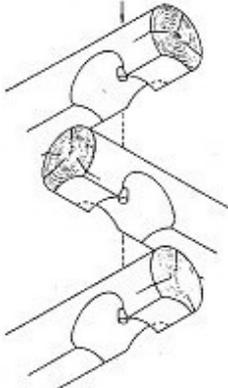
Estrutura da varanda: colunas c/ peças roliças com seção composta tripla e vigas com seção composta dupla.



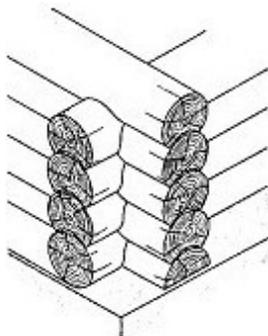
Abertura com instalação de janela.



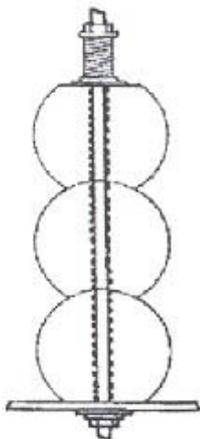
Seções transversais, das toras, torneadas na indústria.



Sistema de encaixes dos entalhes, nas toras.



Formação dos cantos das paredes.



Ligações: Entalhes na madeira. Fixação com longas barras rosqueadas, de aço galvanizadas, instaladas em toda a extensão da parede passando pelas toras, com arruelas e porcas de aperto nas extremidades.

EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL DE KITNET LOG HOME DE PINUS IRPA - PROJETO 3



Localização: Interior de São Paulo, SP.

Utilização: edificação residencial

Projeto: Eng. Luiz Fernando Bressan

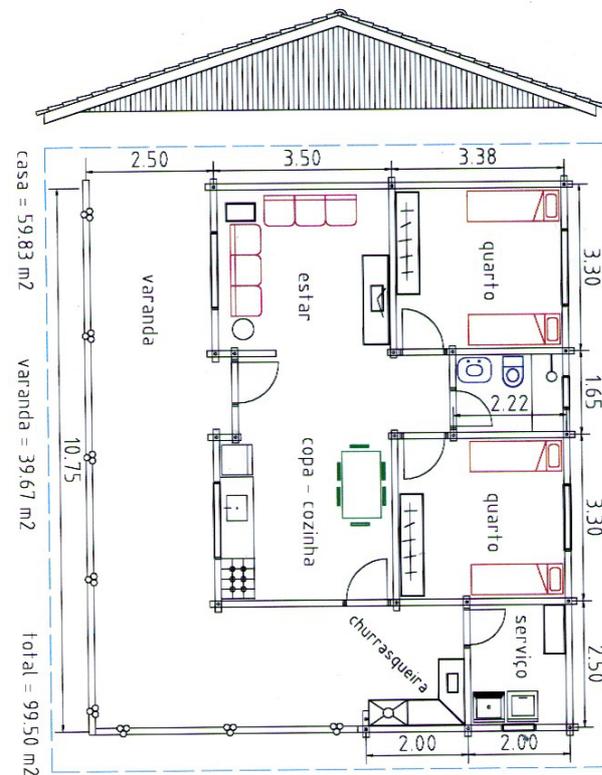
Sistema estrutural: estruturas compostas por painéis. O sistema construtivo é industrial, pré-fabricado, tipo "Log Home" americanas.

Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça de Pinus

Ligações: Entalhes na madeira. Fixação com longas barras rosqueadas, de aço galvanizadas, instaladas em toda a extensão da parede passando pelas toras.

Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.

Fornecedor da madeira: IRPA, São Carlos, SP



Planta baixa: casa do projeto 3



Fachada: sistema log homes.

Fonte: . www.casabella.etc.br



Madeira de reflorestamento, tratada com Impregnação de CCA em autoclave.



Torno para peças roliças.



Entalhes para conexões nos encontros de paredes, de construções com sistemas estruturais tipo Log Homes.



Vista externa: conexões de cantos de paredes.



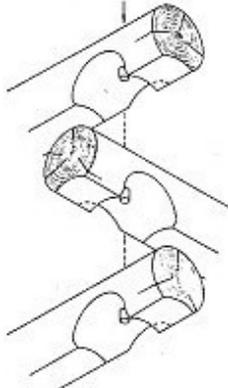
Estrutura da varanda: Peças roliças de seção compostas.



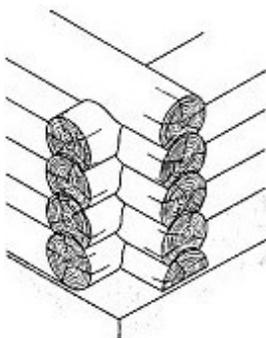
Área de churrasqueira.



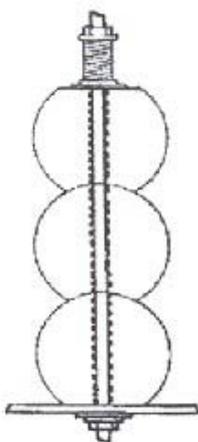
Seções transversais, das toras, torneadas na indústria.



Sistema de encaixes dos entalhes, nas toras.



Formação dos cantos das paredes.



Ligações: Entalhes na madeira. Fixação com longas barras rosqueadas, de aço galvanizadas, instaladas em toda a extensão da parede passando pelas toras, com arruelas e porcas de aperto nas extremidades.

EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL LOG HOME DE PINUS IRPA - PROJETO 4



Localização: Interior de São Paulo, SP.

Utilização: edificação residencial

Projeto: Eng. Luiz Fernando Bressan

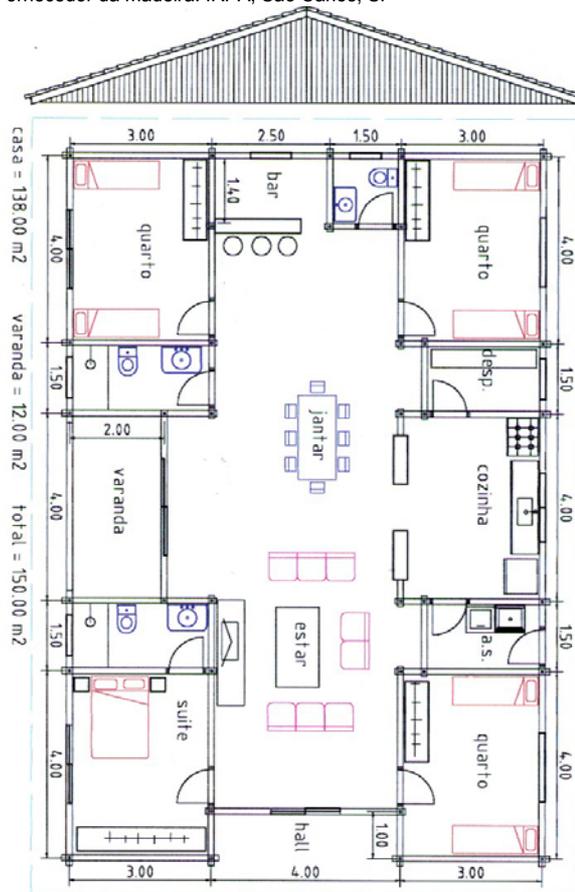
Sistema estrutural: estruturas compostas por painéis. O sistema construtivo é industrial, pré-fabricado, tipo "Log Home" americanas.

Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça de Pinus

Ligações: Entalhes na madeira. Fixação com longas barras rosqueadas, de aço galvanizadas, instaladas em toda a extensão da parede passando pelas toras.

Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.

Fornecedor da madeira: IRPA, São Carlos, SP



Planta baixa: casa do projeto 4



Fachada: sistema log homes. Fonte: www.casabella.etc.br



Madeira de reflorestamento, tratada com Impregnação de CCA em autoclave.



Torno para peças roliças.



Entalhes para conexões nos encontros de paredes, de construções com sistemas estruturais tipo Log Homes.



Sistema de conexões de paredes.



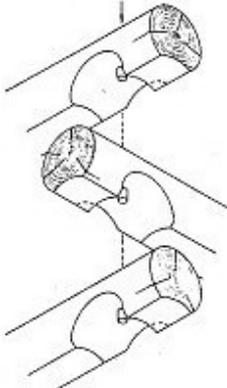
Estrutura da varanda: pórtico com peças roliças de seção composta dupla.



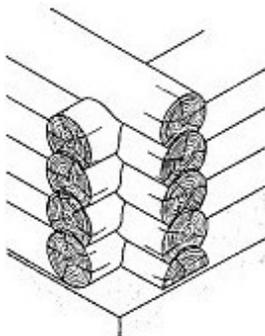
Outro ângulo de visão do pórtico.



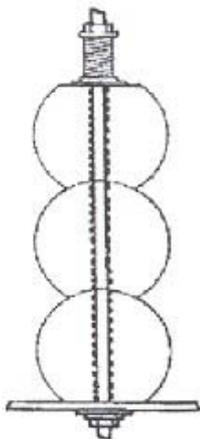
Seções transversais, das toras, torneadas na indústria.



Sistema de encaixes dos entalhes, nas toras.



Formação dos cantos das paredes.



Ligações: Entalhes na madeira. Fixação com longas barras rosqueadas, de aço galvanizadas, instaladas em toda a extensão da parede passando pelas toras, com arruelas e porcas de aperto nas extremidades.

EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL DE KITNET LOG HOME DE PINUS IRPA - PROJETO 5



Localização: Interior de São Paulo, SP.

Utilização: edificação residencial

Projeto: Eng. Luiz Fernando Bressan

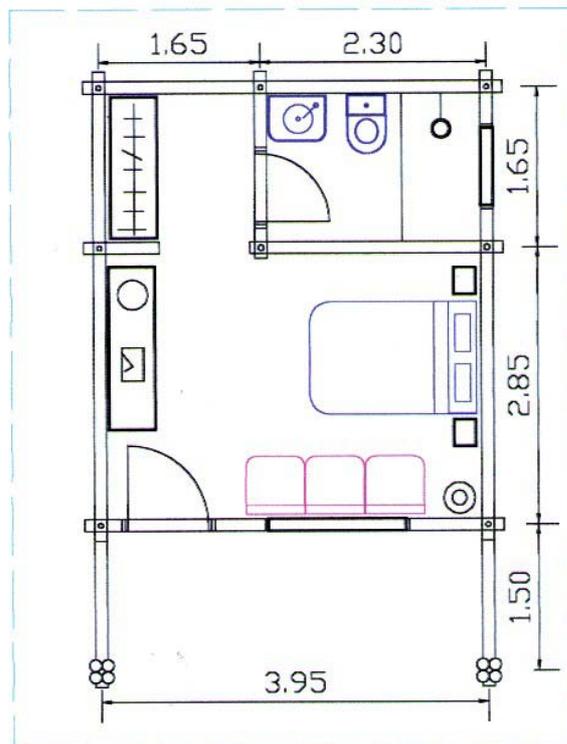
Sistema estrutural: estruturas compostas por painéis. O sistema construtivo é industrial, pré-fabricado, tipo "Log Home" americanas.

Elementos Estruturais: Peças de Madeira Rolça de Pinus

Ligações: Entalhes na madeira. Fixação com longas barras rosqueadas, de aço galvanizadas, instaladas em toda a extensão da parede passando pelas toras.

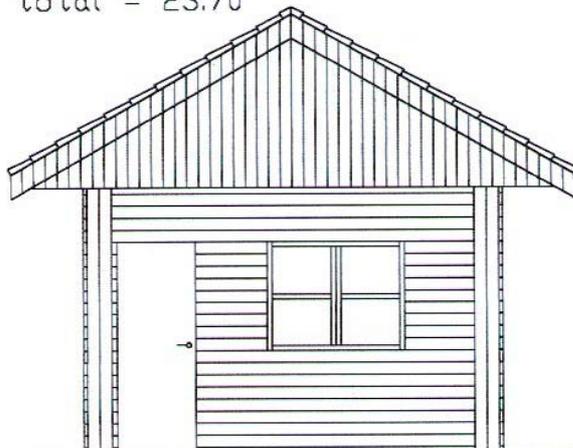
Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.

Fornecedor da madeira: IRPA, São Carlos, SP



casa = 17.77 varanda = 5.93

total = 23.70



Detalhes do projeto 5. Fachada: sistema log homes.

Fonte: www.casabella.etc.br



Madeira de reflorestamento, tratada com Impregnação de CCA em autoclave.



Torno para peças roliças.



Entalhes para conexões nos encontros de paredes, de construções com sistemas estruturais tipo Log Homes.



Sistema de conexões de paredes.



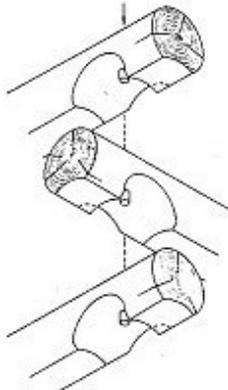
Fachada, colunas na varanda.



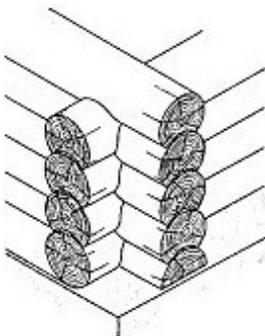
Estrutura da varanda: colunas com peças roliças de seção composta tripla.



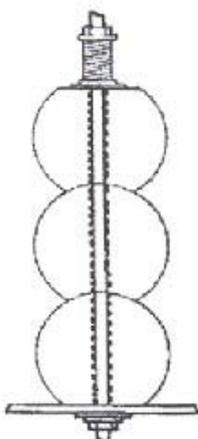
Seções transversais, das toras, torneadas na indústria.



Sistema de encaixes dos entalhes, nas toras.



Formação dos cantos das paredes.



Ligações: Entalhes na madeira. Fixação com longas barras rosqueadas, de aço galvanizadas, instaladas em toda a extensão da parede passando pelas toras, com arruelas e porcas de aperto nas extremidades.

EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL LOG HOME DE PINUS IRPA - PROJETO 6

Localização: Interior de São Paulo, SP.

Utilização: edificação residencial

Projeto: Eng. Luiz Fernando Bressan

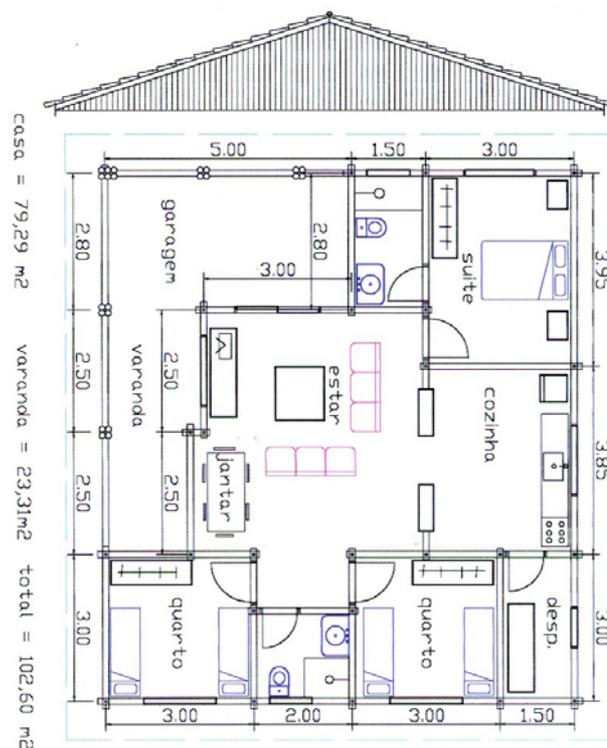
Sistema estrutural: estruturas compostas por painéis. O sistema construtivo é industrial, pré-fabricado, tipo "Log Home" americanas.

Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça de Pinus

Ligações: Entalhes na madeira. Fixação com longas barras rosqueadas, de aço galvanizadas, instaladas em toda a extensão da parede passando pelas toras.

Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.

Fornecedor da madeira: IRPA, São Carlos, SP



Detalhes do projeto 6.

Fonte: www.casabella.etc.br



Madeira de reflorestamento, tratada com Impregnação de CCA em autoclave.



Torno para peças roliças.



Entalhes para conexões nos encontros de paredes, de construções com sistemas estruturais tipo Log Homes.



Sistema de conexões de paredes.



Estrutura da cozinha tipo americana.

EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL LOG HOME DE PINUS IRPA - PROJETO 7



Localização: Interior de São Paulo, SP.

Utilização: edificação residencial

Projeto: Eng. Luiz Fernando Bressan

Sistema estrutural: estruturas compostas por painéis. O sistema construtivo é industrial, pré-fabricado, tipo "Log Home" americanas.

Elementos Estruturais: Peças de Madeira Rolíça de Pinus

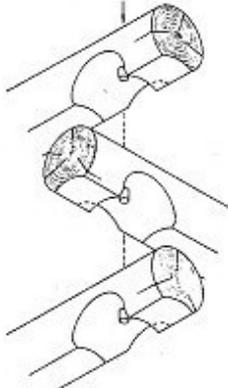
Ligações: Entalhes na madeira. Fixação com longas barras rosqueadas, de aço galvanizadas, instaladas em toda a extensão da parede passando pelas toras.

Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.

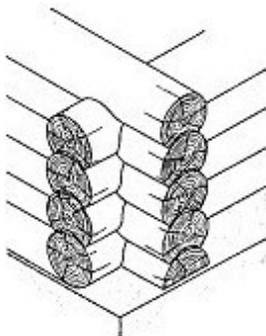
Fornecedor da madeira: IRPA, São Carlos, SP



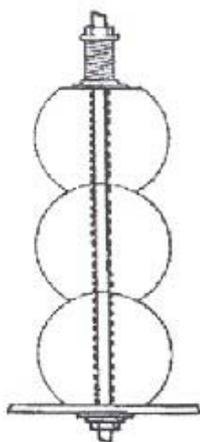
Seções transversais, das toras, torneadas na indústria.



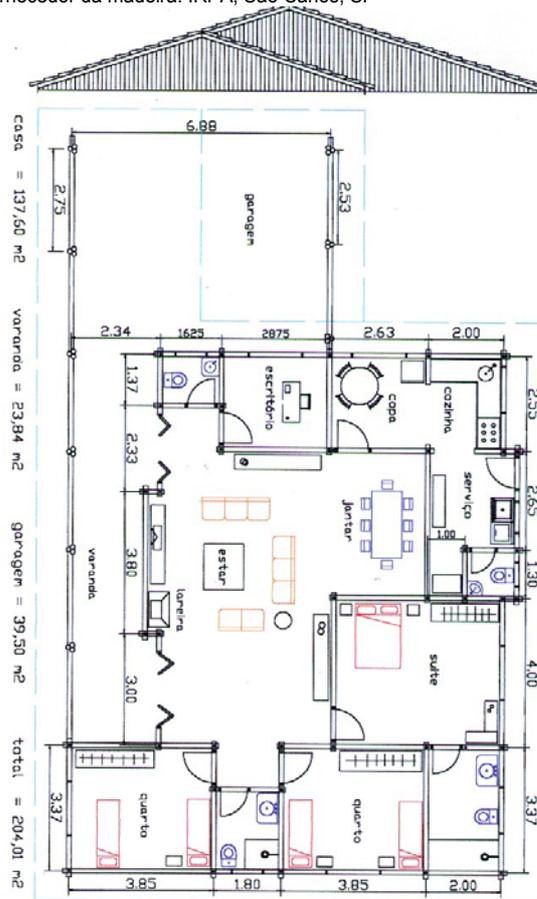
Sistema de encaixes dos entalhes, nas toras.



Formação dos cantos das paredes.



Ligações: Entalhes na madeira. Fixação com longas barras rosqueadas, de aço galvanizadas, instaladas em toda a extensão da parede passando pelas toras, com arruelas e porcas de aperto nas extremidades.



Detalhes do projeto 7.



Fachada.

Fonte: www.casabella.etc.br



Madeira de reflorestamento, tratada com Impregnação de CCA em autoclave.



Torno para peças roliças.



Entalhes para conexões nos encontros de paredes, de construções com sistemas estruturais tipo Log Homes.



Sistema de conexões de paredes.



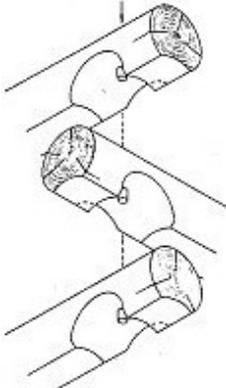
Estrutura da varanda.



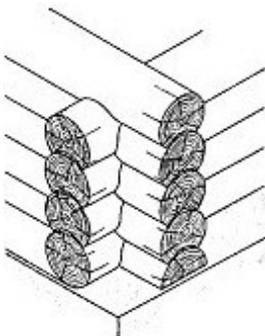
Colunas de peças roliças, com seção composta tripla e vigas com seção composta dupla



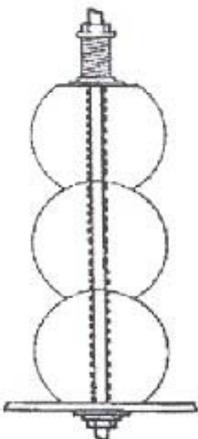
Seções transversais, das toras, torneadas na indústria.



Sistema de encaixes dos entalhes, nas toras.



Formação dos cantos das paredes.



Ligações: Entalhes na madeira. Fixação com longas barras rosqueadas, de aço galvanizadas, instaladas em toda a extensão da parede passando pelas toras, com arruelas e porcas de aperto nas extremidades.

EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL LOG HOME DE PINUS IRPA - PROJETO 8



Localização: Interior de São Paulo, SP.

Utilização: edificação residencial

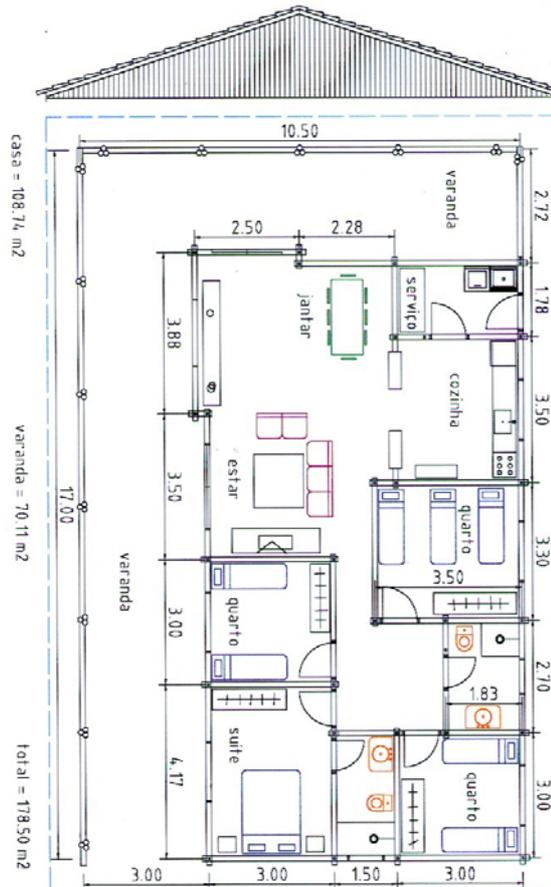
Projeto: Eng. Luiz Fernando Bressan

Sistema estrutural: estruturas compostas por painéis. O sistema construtivo é industrial, pré-fabricado, tipo "Log Home" americanas.

Elementos Estruturais: Peças de Madeira Rolíça de Pinus
Ligações: Entalhes na madeira. Fixação com longas barras rosqueadas, de aço galvanizadas, instaladas em toda a extensão da parede passando pelas toras.

Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.

Fornecedor da madeira: IRPA, São Carlos, SP



Detalhes do projeto 8.



Fachada.



Madeira de reflorestamento, tratada com Impregnação de CCA em autoclave.



Torno para peças roliças.



Entalhes para conexões nos encontros de paredes, de construções com sistemas estruturais tipo Log Homes.



Sistema de conexões de paredes.



Estrutura da varanda.



Colunas e vigas de peças roliças, com seção composta tripla.

EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL LOG HOME FRANÇA

Localização: Bretagne, França.

Utilização: edificação residencial

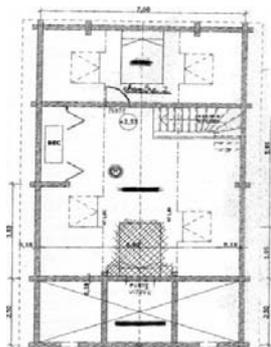
Projeto: Projet EST (2007)

Sistema estrutural: log home industrializado.

Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça

Ligações: Entalhes na madeira. Fixação com longas barras rosqueadas, de aço galvanizadas, instaladas em toda a extensão da parede passando pelas toras.

Fundações: Concreto Armado.



Arquitetônico: Planta Baixa.



Arquitetônico: Fachada lateral.



Perspectiva 1: Estrutura das paredes, vigas e colunas.



Perspectiva 2: Estrutura com acréscimo das vigas do sótão.



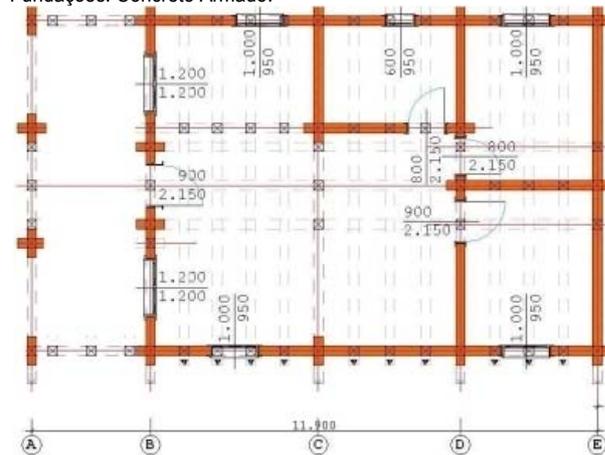
As peças de madeira roliça, são entregues embaladas.



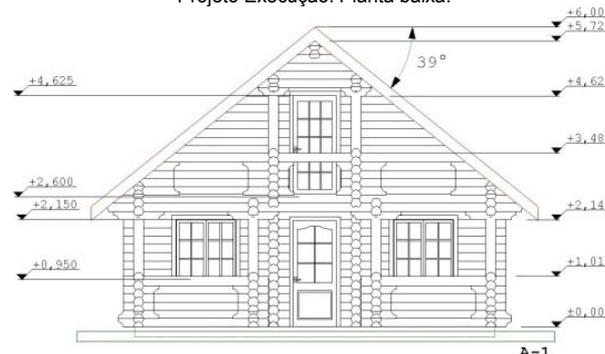
Seção das peças roliças torneadas na indústria.



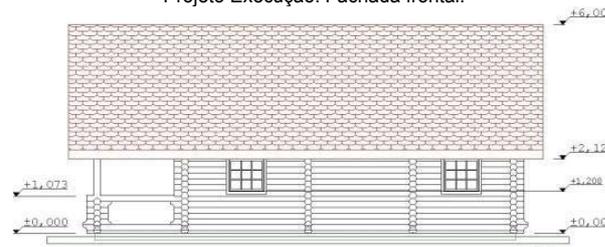
O sistema de cobertura verde revestidas com grammas, tem sido muito utilizado na França.



Projeto Execução: Planta baixa.



Projeto Execução: Fachada frontal.



Projeto Execução: Fachada lateral.



Vista frontal da residência.

Fonte: www.projeto-est.com

Detalhes construtivos:



Após realizada as obras de fundações, normalmente de concreto armado, são montadas as peças de madeira roliça, que formam os painéis das paredes estruturais.



Modelo do encaixe das paredes de canto.



Fase de construção das vigas do pavimento do sótão.



Fase de construção da estrutura da cobertura.



Encaixe na união das paredes de extremidades.



Vista do fundo da edificação.

EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL

LOG CABINS

 Localização: British Columbia, Canadá.
 Utilização: edificação residencial, casa térrea
 Projeto: Arquiteto Christopher Secor - 1982
 Sistema estrutural: Log Home
 Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça



Vista interna do quarto.



Paredes: toras dispostas na posição vertical.



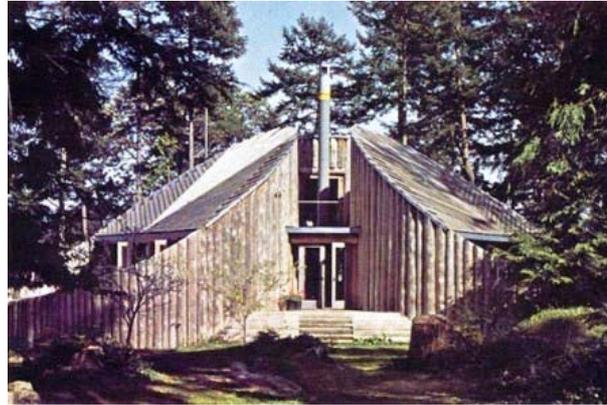
Sala de estar/jantar



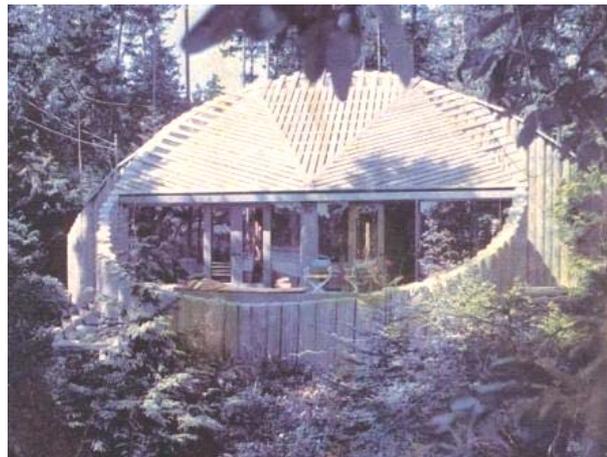
Ducha para piscina.



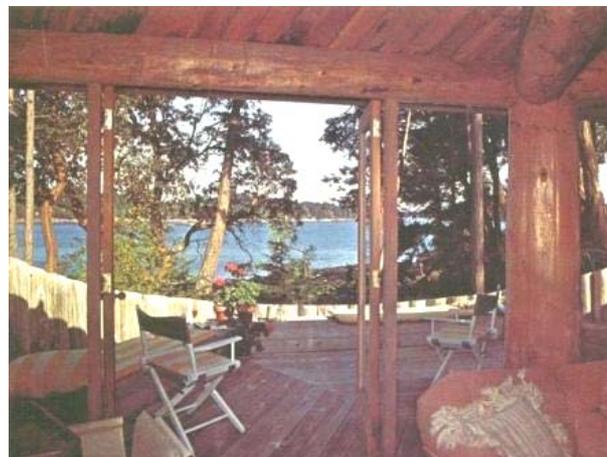
Grades, portões...



Fachada frontal.



Fachada Lateral Esquerda.



Sala: Estrutura viga-coluna.

Fonte: www.christophersecor.com/Loghomes.html

Exemplos de projetos de Jardins Utilizando elementos de madeira roliça de reflorestamento:



Muro de contenção de jardim.



Muro de contenção de jardim.



Decoração da cascata.



Passarela.

Fonte: www.clarissahaas.com.br

Processo de montagem das edificações residenciais:



Recebimento na obra, dos painéis pré-fabricados das paredes.



Íçamento dos painéis pré-fabricados das paredes, com auxílio de um caminhão guindaste.



Posicionamento e montagem dos painéis pré-fabricados das paredes, com auxílio de um caminhão guindaste.



Instalação do painel da estrutura que compõe a inclinação da cobertura, sobre a parede já instalada.



Montagem das vigas do piso do pavimento superior, fixadas através de consoles metálicos.

EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS LOG HOME CALIFÓRNIA

 Localização: Califórnia, USA.

Utilização: Diversos modelos de edificações residenciais

Construção: Whisper Creek Developers Inc. Log Homes-Grizzly Log Builders

Sistema estrutural: Log Home industrializado, pórticos e viga-coluna

Elementos Estruturais: Peças de Madeira roliça de Pinus da Califórnia

Ligações: Entalhes na madeira, consoles metálicos e fixação com pinos metálicos, barras de aço rosqueadas, arruelas e porcas.



Vigas de madeira roliça, apoiadas em consoles metálicos, fixados nas vigas de madeira serrada.



Sistema de pórticos, com vigas fixadas em consoles metálicos.



Mesainho: consoles metálicos fixando às vigas nas colunas.

Alguns modelos de edificações residenciais com o sistema industrializado de log homes, construído pela Whisper Creek Developers Inc. na Califórnia:



Detalhes da estrutura do galpão de dois pavimentos do ateliê de artista plástico.



Ligação viga inclinada-coluna de canto, cobertura do pórtico.



Conectores de chapas metálicas galvanizadas perfuradas, para ligações com pregos, em galpões tipo pórtico, com madeira roliça.



Ligação viga-coluna do pavimento superior.



Pavimento superior, colunas de canto e intermediária.



Treças da cobertura com madeira roliça de eucalipto.



Cobertura da varanda.

ATELIÊ DE ARTISTA PLÁSTICO

 Localização: Carandá, Campo Grande, MS.

Projeto: **Arquiteto Dennis Michael Deffense (1998)**

Sistema estrutural: Galpão tipo pórtico com vigas inclinadas
Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça de Eucalipto
Diâmetros médios: 20 cm a 30 cm

Ligações: Conectores de chapas metálicas galvanizadas perfuradas, para ligações com pregos, em madeira roliça.

Fechamentos: Alvenarias com tijolos cerâmicos maciços e pedras.

Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.

Fornecedor da madeira: TRAMASUL

Dados: coletados pelo autor em visita técnica em abril de 2009.



Fachada da edificação do sobrado do ateliê de artista plástico.

Fonte: Fotos do Autor em abril de 2009.

EDIFICAÇÃO DE CLÍNICA VETERINÁRIA

 Localização: Carandá, Campo Grande, MS.

Projeto: **Arquiteto André Costa (2002)**

Sistema estrutural: viga-coluna

Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça de Eucalipto
Diâmetros médios: 20 cm a 30 cm

Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.

Fornecedor da madeira: TRAMASUL

Dados: coletados pelo autor em visita técnica em abril de 2009.



Fachada principal da clínica veterinária.

Fonte: Fotos do Autor em abril de 2009.

Detalhes da estrutura da edificação de clínica veterinária.



Treças da cobertura com vigas de madeira serrada.



Colunas de canto e intermediária.



Conexão viga-coluna, viga apoiada no topo da coluna e interligada com pino metálico de vergalhão de aço CA50.



Muro com madeira roliça.



Vista frontal da edificação.



cobertura de madeira com taubilha.



O forro do mezanino é MDF.



Assoalhos c/ madeira serrada de eucalipto, c/ 4,50mx2,70 m.

EDIFICAÇÃO DO ATELIÊ LUGAR DO ARTISTA



Localização: Região Serrana do Rio de Janeiro, RJ.

Utilização: edificação de ateliê, sobrado de três pavimentos

Projeto e construção: Arquiteto Luiz Carlos Diniz (2003)

Dados: Arquitetura & Construção, Editora Abril, Set 2008.

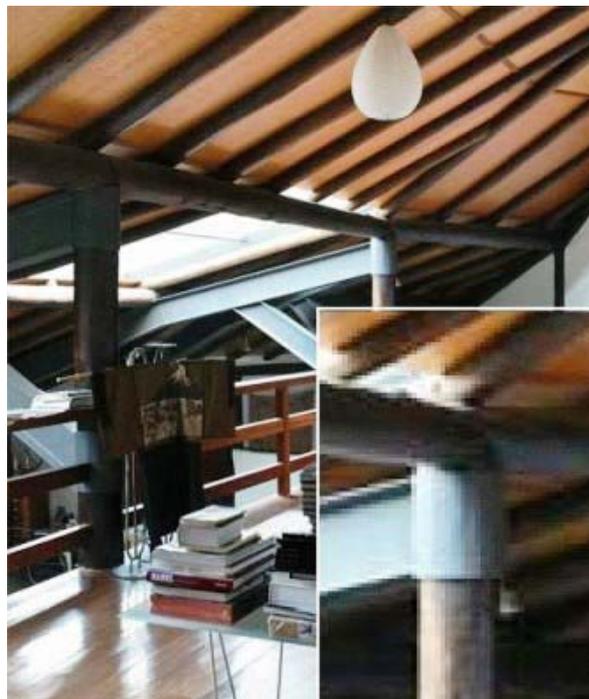
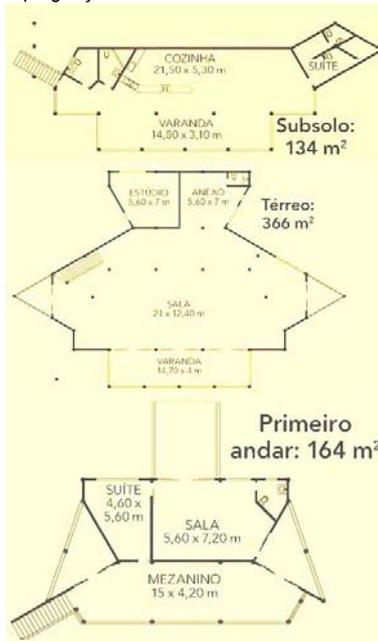
Sistema estrutural: Sistema de galpão Misto, colunas e vigas de Madeira roliça, vigas inclinadas de estrutura metálica com perfis i, lajes de concreto pré-moldado

Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça de Eucalipto

Telhado: cobertura de madeira com taubilha

Pé direito: 8 metros

Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.



Vigas metálicas inclinadas de perfil i, de 15 metros de comprimento com mãos francesas do mesmo perfil, conectadas às colunas de madeira roliça de eucalipto.

Fonte: Arquitetura & Construção, setembro de 2008.



Estrutura da laje de concreto pré-moldado, apoiada sobre às vigas de madeira roliça de eucalipto.



Estrutura do mezanino: laje de concreto pré-moldado, apoiada sobre às vigas de madeira roliça de eucalipto.



Cozinha no subsolo: estrutura da laje da cozinha em concreto pré-moldado, apoiada sobre às vigas de madeira roliça de eucalipto.



Estrutura da laje da varanda em concreto pré-moldado, apoiada sobre às vigas de madeira roliça de eucalipto.



Vista lateral esquerda.



Fachada envidraçada.



Vigas com seção composta dupla, fixadas nas colunas, com barras de aço rosqueadas passantes, arruelas e porcas.



Vista lateral direita. Balanços reforçados com tirantes como suspensão.



Vista interna do escritório. À direita escoras inclinadas definitivas (mãos francesas tridimensionais), sustentam a estrutura da cobertura do escritório.



Fase final da construção.

EDIFICAÇÃO COMERCIAL ESCRITÓRIO DA UPM TRAMASUL



Localização: Indubrasil, Campo Grande, MS.

Utilização: edificação de escritório comercial

Projeto: Arquiteto Dennis Michael Deffense (2010)

Sistema estrutural: Viga-coluna inclinada e escoras inclinadas definitivas (mãos francesas tridimensionais) da estrutura da cobertura. Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça de Eucalipto Citriodora.

Diâmetros médios: 20 cm a 30 cm

Ligações: Entalhes na madeira e fixação com barras rosqueadas passantes (aço $\Phi 10\text{mm}$ e $\Phi 12,5\text{mm}$), inseridas nos elementos estruturais vigas-coluna, fixadas com arruelas e porcas.

Fundações: Colunas engastadas diretamente em Blocos de Concreto Armado.

Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.

Fornecedor da madeira: TRAMASUL

Acabamento e proteção externa das peças roliças: Osmocolor Stain da Montana Química S.A.

Dados: enviados via e-mail pelo autor do projeto em abril de 2010.



Fachada principal em fase final de construção.



Pérgolas em balanço, sobre a área de estacionamento.



Fachada concluída.



Lavatório do banheiro.



Escoras inclinadas (Mãos Francesas), escoram a estrutura da cobertura interna do escritório.



Detalhe das conexões das escoras inclinadas (Mãos Francesas tridimensionais), fixadas com barras rosqueadas passantes, arruelas e porcas.



Lixamento dos elementos estruturais de madeira roliça. Preparo para aplicação de Osmocolor Stain da Montana Química.



Sistema de instalação dos vidros da fachada com sarrafos fixados nas peças roliças.



Barras de aço da viga baldrame, inseridas na base da coluna.

Fonte: Fotos do Autor do projeto (2010).

Det. da estrutura da edificação comercial de boutique.



Estrutura de parte da cobertura da sala social. Detalhe do vidro na cobertura para entrada de iluminação natural.



Conexão das vigas c/ a coluna do canto direito da edificação. Viga principal apoiada sobre o entelhe no topo da coluna e fixada com pinos metálicos de vergalhões de Aço CA50.



Furação para a confecção da ligação por entalhe, para encaixe da viga de madeira roliça, no topo da coluna.



Confecção do entalhe, para encaixe da viga de madeira roliça, no topo da coluna.



Instalação do pino metálico, inserido transversalmente, nos elementos estruturais.

EDIFICAÇÃO COMERCIAL DE BOUTIQUE



Localização: Jardim dos Estados, Campo Grande, MS.

Projeto: Arquiteto Artur Pérez (2002)

Sistema estrutural: Viga-coluna

Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça de Eucalipto

Diâmetros médios: 20 cm a 30 cm

Ligação: entalhes na madeira e pinos metálicos, unindo os elementos estruturais.

Fundação: Colunas engastadas nas fundações.

Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.

Fornecedor da madeira: TRAMASUL

Dados: coletados pelo autor em visita técnica em abril de 2009.



Fachada principal de edificação comercial para boutique.

Fonte: Fotos do Autor em abril de 2009.

EDIFICAÇÃO DE ESTANDE ASA-DELTA



Local: Parque de Expo. Laucídio Coelho, Campo Grande, MS

Utilização: Edificação de estande para exposições de produtos

Projeto: Arquiteto Dennis Michael Deffense (2007)

Sistema estrutural: tipo asa-delta, com vigas inclinadas e colunas

Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça de Eucalipto

Diâmetros médios: 20 cm a 30 cm

Ligação: Barras de aço rosqueadas passantes, arruelas e porcas, inseridas transversalmente nos elementos estruturais, unindo às vigas às colunas.

Fundação: Colunas engastadas nas fundações.

Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.

Fornecedor da madeira: TRAMASUL

Dados: coletados pelo autor em visita técnica em abril de 2009.



Fachada da edificação do estande para exposições de produtos.

Fonte: Fotos do Autor em abril de 2009.

Det. da estrutura da asa-delta.



Topo da cobertura



Estrutura da cobertura c/ duas vigas inclinadas principais, e doze vigas inclinadas dispostas em forma de escama de peixe.



Conexões na ligação das duas vigas inclinadas principais, no topo da cobertura, junto ao topo das duas colunas.



Vista lateral da ligação das vigas intermediárias de travamento, com às colunas.



Vista frontal da ligação das vigas intermediárias de travamento, com às colunas.



Ligações com barras rosqueadas passantes, Arruelas e porcas.

EDIFICAÇÃO DE CASA NOTURNA BAR TOZEN

 Local: Pq. de Expo. Laucídio Coelho, Campo Grande, MS.
Utilização: edificação comercial, bar com decoração e gastronomia indiana.

Projeto: Arquiteto André Costa - 2002

Sistema estrutural: Galpões laterais com Pórticos Rígidos e Cobertura central Tipo Asa Delta

Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça de Eucalipto

Diâmetros médios dos postes: 20 cm a 30 cm

Ligações: Entalhes na madeira e fixação com barras rosqueadas de aço, arruelas e porcas.

Cobertura: Sapê

Fundações: Blocos em Concreto Armado.

Tratamento: Impregnação de CCA da Montana Química.

Fornecedor da madeira: TRAMASUL

Acabamento e proteção superficial da madeira: osmocolor stain da Montana Química.

Dados: coletados pelo autor em visita técnica em abril de 2009.



Estruturas dos galpões com sistema estrutural tipo pórtico.



lçamento das peças de madeira roliça, com caminho muque, para montagem da estrutura do galpão.



Estrutura da cobertura (cumeeira) do galpão.



Estrutura da Cobertura, com madeira roliça e terças com madeira serrada. Cobertura do galpão, com telhas cerâmicas.



Fachada da entrada edificação concluída.



Pátio interno: Galpões laterais com Pórticos Rígidos e Cobertura central Tipo Asa Delta.

Fonte: www.flickr.com/photos/andre_costa/sets/72157610865518855/



Estrutura tipo Asa-delta, terças em forma de escama de peixe.

Estrutura e terças desta cobertura, com madeira roliça.



Revestimento da cobertura com sapê.



Mão Francesa de sustentação do topo da cobertura tipo asa-delta.



Acabamento e proteção da madeira com osmocolor stain da Montana Química.



Fachada frontal: Estrutura da Entrada Principal, sistema estrutural tipo asa-delta.

EDIFICAÇÃO COMERCIAL RESTAURANTE



Coluna dupla inclinada.



Sistema estrutural
viga-coluna dupla



Detalhe do contra piso. E
colunas duplas engastadas
diretamente no solo.



Concentração de umidade por
capilaridade na interface
fundação coluna.



Localização: São Francisco, Campo Grande, MS.

Utilização: Edificação Comercial

Projeto Arquitetônico: De Camilo Arquitetura (2004)

Sistema estrutural: Viga-coluna dupla

Elementos Estruturais: Madeira Roliça de Eucalipto Citriodora

Diâmetros médios: 20 cm a 30 cm

Ligação: pino metálico inserido transversalmente nos elementos estruturais, unindo à viga as duas colunas.

Fundação: Colunas duplas engastadas nas fundações.

Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.

Fornecedor da madeira: TRAMASUL

Dados: coletados pelo autor em visita técnica em abril de 2009



Vista da fachada principal.



Vista Geral da fachada.



Vista inferior da conexão cujo tipo de ligação é simplesmente um pino metálico unindo à viga às duas colunas que são engastadas no solo.

Fonte: Fotos do Autor em abril de 2009.



Vista inferior da conexão
viga-coluna dupla



Pino Metálico
1Φ10mm Aço de CA50.



Emenda da viga central,
unida através de um corte
transversal inclinado com
ângulo de 45°,
simplesmente apoiada,
sobre as vigas principais, e
ligadas com pino Metálico
1Φ10mm de Aço CA50.



Viga central contínua,
simplesmente apoiada
sobre as vigas principais,
ligadas com pino Metálico
1Φ10mm de Aço CA50.

Detalhes do sistema estrutural, de escoramento da estrutura da cobertura, do refeitório da catedral de Norwich:



Vista interna do refeitório.



Vista externa do refeitório.



Fachada do refeitório.



Colunas com escoras definitivas de peças de madeira roliça de pequeno diâmetro, que sustentam a estrutura da cobertura.



Mesainho e hall de acesso.

Fonte: www.hopkins.co.uk

REFEITÓRIO DA CATEDRAL DE NORWICH

 Localização: Norwich, Inglaterra.

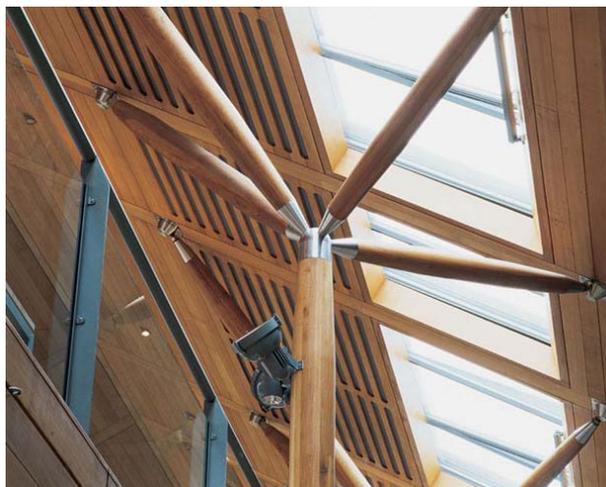
Utilização: edificação para refeitório

Projeto: Hopkins Architects

Sistema estrutural: Escoras inclinadas definitivas para coberturas tipo treliças espaciais.

Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça de pequeno diâmetro.

Ligações: conexões especiais para treliças espaciais.



Placa de base metálica, fixada no topo da coluna de madeira.

Fonte: www.hopkins.co.uk/projects/_1,139/

SISTEMA DE ESCORAMENTO DEFINITIVO PARA ESTRUTURA DE COBERTURA

 Localização: Trento, Itália.

Utilização: sistema de escoramento definitivo para estrutura de cobertura.

Projeto: Claudio Cattich; Lucca Gotardi.

Sistema estrutural: Escoras inclinadas definitivas para coberturas tipo treliças espaciais.

Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça de pequeno diâmetro.

Ligações: conexões especiais para treliças espaciais.



Placa de base metálica, fixada no topo da coluna de concreto armado.

Fonte: www.armalam.it

Detalhes construtivos do sistema estrutural, de escoramento da estrutura da cobertura, desenvolvido pela empresa italiana ARLAMAM:



Conexões metálicas galvanizadas: articulações nas extremidades das escoras.



Sistema do escoramento da estrutura da cobertura articulado nas extremidades das peças roliças de pequeno diâmetro.



Vista completa de um sistema de escoramento definitivo da estrutura da cobertura.



Escoramento tipo mão francesa, com peça roliças de madeira.

Fonte: www.armalam.it

PARK HOTEL NOVA FRIBURGO



Localização: Nova Friburgo, RJ.

Utilização: edificação de Hotelaria

Projeto: Lúcio Costa – 1940; Construção: 1944

Sistema estrutural: Viga-coluna

Elementos Estruturais: Peças de Madeira Rolíça de Eucalipto

Diâmetros médios: 25 cm para os pilares e 18 cm para as vigas

Ligações: Nas vigas longitudinais são executadas com braçadeiras metálicas e nos apoios ou interfaces das vigas longitudinais com os pilares, as ligações são executadas através de chapas dobradas, fixadas por parafusos e porcas.

Tratamento: óleo queimado.



Vista do bar do hotel



Vista da sala de estar



Fachada sul em 2004 antes da manutenção.

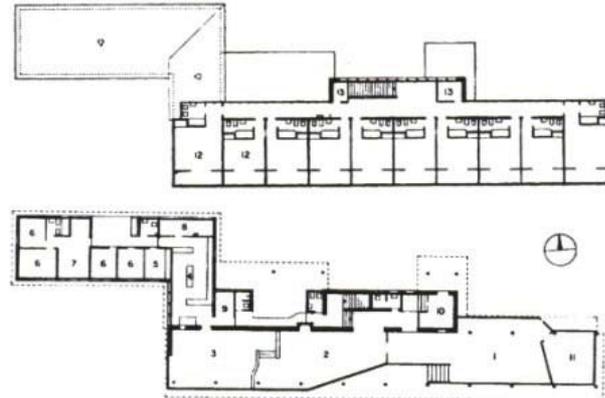


Fachada sul em julho de 2004, em manutenção.



Fachada sul – em 2006

Fonte: CARVALHO, et al (2007).



Fachada norte em 1945.



Fachada norte em 2004.

Legenda do projeto:

- 1 varanda
- 2.estar
- 3 .restaurante
- 4.cozinha
- 5.lavanderia
- 6.quarto de empregado
- 7.sala de descanso de empregados
- 8.boiler
9. sala de refeição de empregados
10. quarto do gerente
11. sala de jogos
12. quarto
13. depósito

Com o sistema estrutural de viga-coluna, o barrotoamento em peças roliças sustenta o estrutura do pavimento superior. As vigas principais para sustentação dos barrotes, acontecem longitudinalmente, com apoio hiperestático.



Emendas de topo das vigas, com braçadeiras.

A cobertura não tem tesoura em função do diâmetro os caibros (12cm a 15cm).

Historicamente, a primeira aplicação marcante com a utilização de peças roliças de madeira, utilizando este sistema estrutural, em edificações urbanas no Brasil foi à construção do Park Hotel São Clemente, em Nova Friburgo, região serrana do Rio de Janeiro, construída em 1944. As fotos da fachada norte em 1945 e em 2004, demonstram a prova concreta de que as estruturas de madeira roliça, podem ter vida útil acima de 50 anos.

Fonte: PARTEL (1999)

POUSADA DOS GUANAVERAS



Localização: Ilha de Silves, Lago Canaçari, AM.

Utilização: edificação de hotelaria

Projeto: Arq. Severino Mário Porto; Eng. Mário Emílio Ribeiro

Sistema estrutural: Viga-coluna

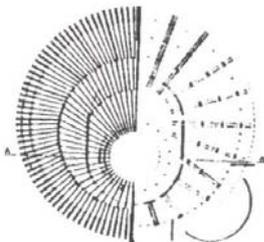
Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça.

Ligações: Barras de aço rosqueadas, arruelas e porcas.

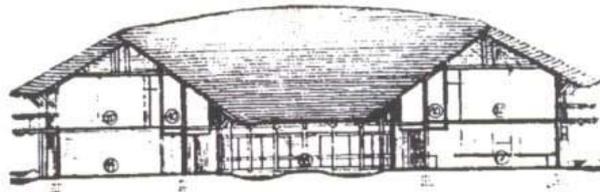
Sistema estrutural em viga-coluna de madeira roliça, distribuídas em círculo.

O travamento da estrutura foi feita através da conexão de barras de aço rosqueadas paasantes, unindo duas vigas roliças externamente em cada face lateral das quatro primeiras fileiras das colunas.

Nas extremidades dos esteios foram encaixadas as terças, sobre elas foram radialmente assentados os caibros, que por sua vez, sustentaram o ripamento que forma a estrutura de cobertura.



Sistema da cobertura.



Corte esquemático.



Fachada.

Fonte: SOUZA (1996)

Fechamento das paredes:

Alvenaria no pavimento térreo, e no superior tábuas de madeira internamente forradas com lambris. Toda a construção é circundada por uma veneziana de madeira.

Cobertura:

Cônica com telhas de madeira.

Observações:

Prêmio IAB/RJ na categoria "Obra Construída"

Prêmio "Universidad de Buenos Aires" na Bienal de Arquitectura de Buenos Aires (BA185).

EDIFICAÇÃO DE HOTELARIA POUSADA PEDRA GRANDE



Localização: Praia do Rosa, Imbituba, SC.

Utilização: edificação de hotelaria

Projeto: Arq. Miguel Pereira e Arq. Tagore Leite Alves Pereira.

Início do projeto: 2002

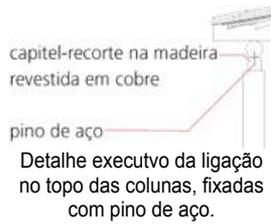
Conclusão da 1ª fase: 2004

Sistema estrutural: pórticos compostos por viga-coluna

Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça de Eucalipto

Ligações: topo e a base das colunas são afinados, revestidos com uma cinta de cobre, e fixados com pino de aço.

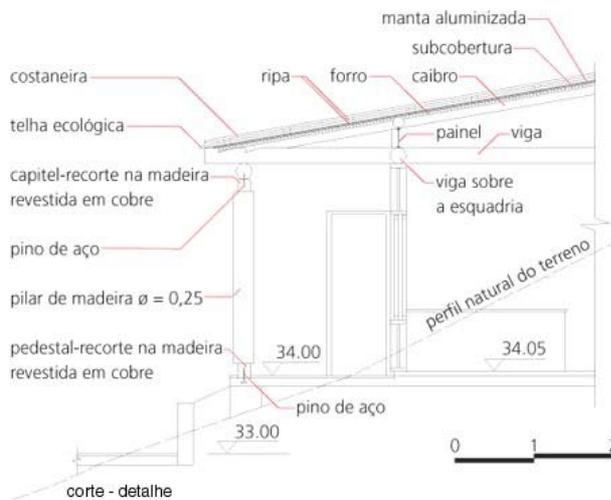
Fundações: as toras roliças de madeira são engastadas na laje de concreto por um inserte metálico de aço.



Conexão das ligações viga-coluna. O forro do pavimento superior é formado por semitoras de madeira roliça de pequeno diâmetro.



O topo e a base das colunas são afinados e revestidos com uma cinta de cobre patinável para maior proteção, além de terem suas fibras amarradas para evitar aberturas.

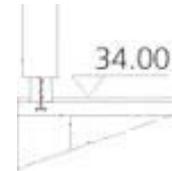


Detalhes de projeto executivo.



Fachada da pousada.

Fonte: Revista Arquitetura e Urbanismo 139, artigo22237-1. PINI.



Detalhe executivo: afinamento na base da coluna, e revestimento com cinta de cobre patinável.



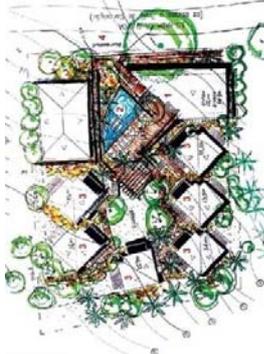
Detalhe executivo: as colunas de madeira são engastadas na laje de concreto por um inserte metálico (pino de aço).



Pérgolas de bambú.

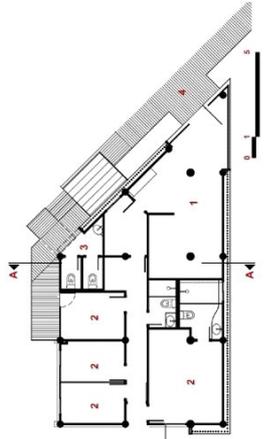


Estrutura de pergolado.



Implantação
1. Sede / 2. Piscina / 3. Bangalôs / 4. Acesso

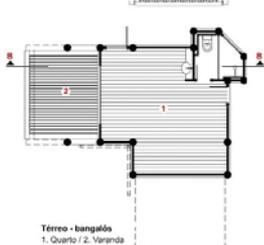
Térreo - sede
1. Recepção / 2. Serviços / 3. Sanitário / 4. Acesso



Pavimento superior - sede
1. Salão / 2. Bar / 3. Cozinha



Superior - bangalôs
1. Quarto / 2. Varanda



Térreo - bangalôs
1. Quarto / 2. Varanda

POUSADA TEJU-AÇU

  Local: Pq. Nacional Marinho de Fernando de Noronha, PE.
Utilização: edificação para hotelaria
Projeto: Arquitetos **Marco Antônio Gil Borsoi, Ruy Loreto, Tereza Simis Borsoi**

Sistema estrutural: pórticos, viga-coluna e tipo asa-delta
Elementos Estruturais: Peças de Madeira Rolíça de Eucalipto tratado
Ligações: Entalhes na madeira e fixação com pinos metálicos.
Fundações: Blocos em Concreto Armado.

“Ao projetar a Pousada Teju-Açu, a equipe **se inspirou no conceito de cabana primitiva**, do abade francês Marc-Antoine Laugier.”

O partido arquitetônico faz opção por um sistema construtivo ecológico, com **peças de madeira reflorestada**, como troncos de eucalipto tratado e painéis prensados. Além disso, agrega soluções técnicas alternativas para a captação de águas pluviais, reuso e o tratamento de águas servidas.



Salão, que ocupa o piso superior da sede, não possui fechamento.
Sistema estrutural tipo asa-delta.

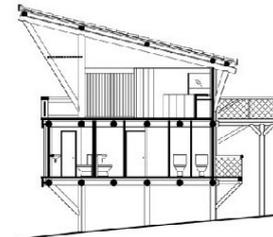


Visão noturna do conjunto de bangalôs, que conformam um pátio

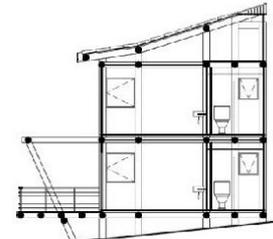


Com cobertura maior, a sede se diferencia dos bangalôs. Cobertura da sede com sistema estrutural tipo asa-delta.

Fonte: www.arcoweb.com.br/arquitetura



Corte AA



Corte BB



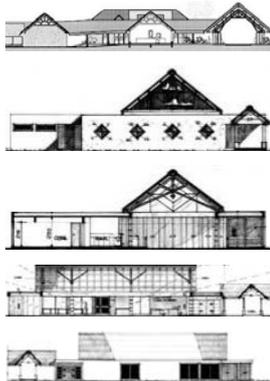
Estrutura de Pórticos



Estrutura da varanda



Estrutura da recepção

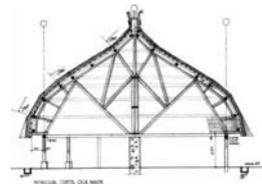


HOTEL CLUB MED TRANCOSO

  Local: Praia do Trancoso, Porto Seguro, Litoral Sul da Bahia.
 Projeto: Aflalo & Gasperini Arquitetura (2003)
 Cálculo Estrutura de Madeira: Callia Estruturas de Madeira
 Madeira: esp. de eucaliptos (Citriodora, Cloeziana, Grandis e Urophylla).

Ligação: Entalhes e barras de aço rosqueadas passantes, arruelas e porcas, inseridas transversalmente nos elementos estruturais, unindo às barras das treliças às colunas. Chapas de aço externas unindo os nós das treliças. Também foram utilizadas chapas de aço internas.
 Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.

Fornecimento e Execução das Estruturas: TORA LOG HOMES
 As estruturas são compostas p/ peças roliças c/ diferentes diâmetros.



Pórtico Rígido e Vigas inclinadas em treliças.



Pórtico rígido e treliças scissors.



Estrutura de galpão e cobertura de treliças espaciais.

Fontes: www.callia.com.br;
 PROJETO DESIGN, Edição 285, Novembro de 2003.

Edificações de sobrados e passarelas sobre palafitas, no complexo do Ariaú Amazon Towers Hotel:



HOTEL ARIAÚ AMAZON TOWERS

  Localização: Floresta Amazônica, AM.

Utilização: edificação de hotelaria

Sistema estrutural: Torres com sistema misto de madeira roliça e madeira serrada. Estruturas de Hélio pontos. Passarelas em palafitas e colunas de madeira roliça.

Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça e madeira serrada.



Vista aérea do complexo do Ariaú Amazon Towers Hotel.



Sistema estrutural de torre, c/ colunas de madeira roliça e vigas e diagonais da treliça de contraventamento c/ madeira serrada.



Vista interna: detalhe das colunas de madeira roliça.

Fonte: www.ariauamazontowers.com

Vistas das torres do complexo do hotel:



EDIFICAÇÕES DE RESORTS POLINÉSIA FRANCESA

 Localização: Polinésia Francesa.

Utilização: edificação de hotelaria

Sistema estrutural: bangalôs, quiosques e passarelas, piers

Elementos Estruturais: colunas com peças de madeira roliça, vigas de seção compostas por peças de madeira serrada.



Estrutura com colunas de madeira roliça e vigas de madeira roliça e madeira serrada, na recepção do Resort Four Seasons.



Conexão da coluna de madeira roliça e vigas de madeira roliça e serrada.



Estrutura da capela do Resort Four Seasons BoraBora. Terças com peças roliças.



Estruturas de cabanas na beira da piscina, no Resort Four Seasons BoraBora. Terças com peças roliças.



Estrutura do quiosque de SPA no bangalô.



Resort Intercontinental Bora Bora. Polinésia Francesa.



Flats em Bangalôs, sobre colunas.



Estruturas das passarelas de acesso aos bangalôs.



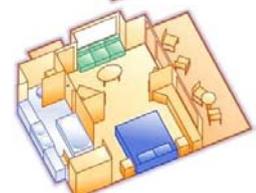
Estrutura de quiosque da varanda do bangalô.



Suíte do bangalô do Resort Intercontinental Bora Bora.



Conexões metálicas.



Perspectivas de bangalôs.

EDIFICAÇÃO DE IGREJA DARBY LIBRARY

 Localização: Darby, Montana, USA.

Utilização: edificação de um galpão para capela.

Projeto: Beaudette Consulting Engineers Inc. (2001)

Sistema estrutural: industrializado, cobertura de treliças atirantadas

Elementos Estruturais: Madeira Roliça de Pequeno Diâmetro

Diâmetros: Φ 12 cm e Φ 15 cm

Ligações: conexões c/ chapas externas, barras de aço rosqueadas, arruelas, porcas, e pino metálico c/ rosca (dowel nut)

Fundações: Blocos em Concreto Armado.



Pequenas fendas transversais na seção da peça roliça, para instalação externa da chapa metálica, de ancoragem da barra de aço de tirante.



Instalação da chapa metálica externa de ancoragem da barra de aço de tirante.



Chapa metálica externa para ancoragem de duas barras de aço de tirante.



Detalhe da fixação do tirante: Barra de aço com rosca na extremidade, atarrachada com arruela e porca.



Detalhe interno da estrutura da cobertura do galpão em construção.



Detalhe interno da estrutura da cobertura do galpão acabado.



Colunas com seção composta, com quatro peças roliças cada, fixadas sobre a base de concreto.

Fonte: Beaudette Consulting Engineers Inc.



O procedimento de montagem da estrutura da cobertura do galpão é realizado no chão.



Estocagem das treliças montadas.



Após montada a estrutura da treliça da cobertura, a mesma é içada por caminhão munck, e posteriormente instalada sobre às colunas.



Estrutura da cobertura do galpão concluído.



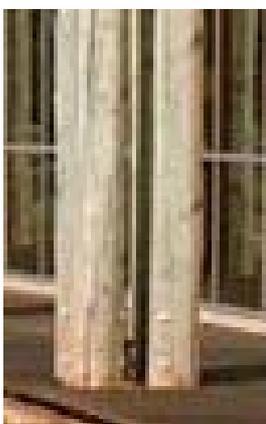
Detalhes das treliças atirantadas da estrutura da cobertura do galpão, e com forro de pinus.



Detalhe da interface no topo das colunas de eucalipto com a estrutura metálica com perfis tubulares, circular apoiando a cobertura do edifício.



Conexão no topo da coluna de eucalipto composta de quatro postes e a interface com a estrutura metálica com perfis tubulares.



Detalhe da base da coluna.

EDIFICAÇÃO INDUSTRIAL SEDE ADMINISTRATIVA DA RENAULT DO BRASIL



Localização: São José dos Pinhais, PR.

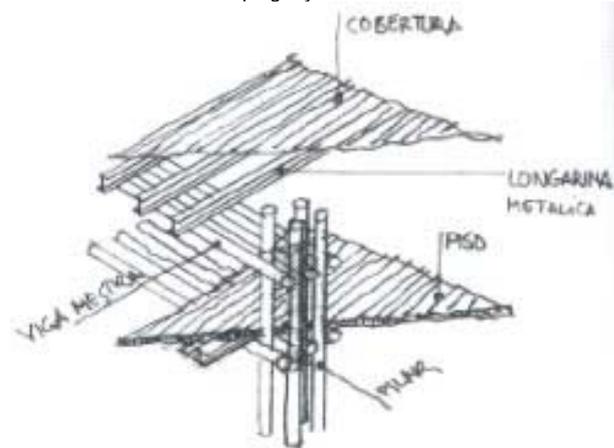
Utilização: edificação industrial, sede administrativa

Projeto: Abrão Assad, Fernando Canali, Fernando Popp, Reginaldo Reinert -1998

Sistema estrutural: Sistema de galpão Misto composto por Estruturas de Madeira roliça e Estruturas Metálicas.

Elementos Estruturais: coluna com peças de Madeira Roliça de Eucalipto , vigas de estrutura metálica com perfis tubulares e longarinas com perfis i.

Tratamento da madeira: Impregnação de CCA em autoclave.



ESQUEMA BÁSICO DA ESTRUTURA

O prédio administrativo tem pilares de eucalipto tratado e estrutura metálica tubular circular apoiando a cobertura do edifício.



A sede administrativa tem arquitetura moderna e, com suas paredes envidraçadas e colunas de eucalipto, se integra à paisagem local.



Detalhe das colunas de madeira roliça de eucalipto.

Fonte: Revista Finestra nº23, 2000.



Coluna composta com quatro postes de eucalipto.



Detalhe da grelha de vigas de dupla seção com peças roliças de pequeno diâmetro e dos tirantes de aço de 16mm.



Tirante chegando no nó.



Emenda próxima ao nó, na viga superior de dupla seção no primeiro trecho.



Emenda próxima ao nó, na viga inferior de dupla seção no segundo trecho.



Colunas que apóiam os sistemas de árvore.



Entalhes e barras de aço rosqueadas passantes, arruelas e porcas, unindo às barras das treliças às colunas.

CRECHE MUNICIPAL SÃO PAULO



Localização: São Paulo, SP.

Edificação: Creche Municipal de São Paulo

Projeto : Argeplan Arquitetura

Cálculo Estrutural e Execução : Callia Estruturas de Madeira

Sistema estrutural: estrutura de treliça tridimensional em forma de árvore.

Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça de Eucalipto

Ligação: Entalhes e barras de aço rosqueadas passantes, arruelas e porcas, inseridas transversalmente nos elementos estruturais, unindo às barras das treliças às colunas.

Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.



Sistema estrutural em árvore com peças roliças de madeira de pequeno diâmetro, apoiadas nas colunas.



Fase de construção da estrutura.



Os quadros da cobertura são contraventados com tirantes de aço de Ø5/8" (16mm).

Fonte: www.callia.com.br

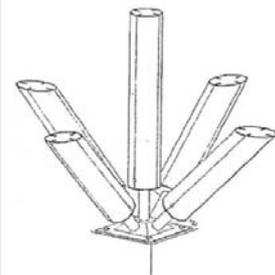


Segundo CALLIA (2009), este é o detalhe de número 1 da série de detalhes. É uma base metálica para coluna que serve como transição do concreto para a madeira. Esta base metálica, galvanizada à fogo, foi desenvolvida na CALLIA ESTRUTURAS e possui algumas características especiais.

A "cruz" faz com que eventuais esforços de momento ajam sobre as fundações, concentrando a carga axial.



Além disso, o mais importante, é que ela eleva o pilar de madeira do solo, evitando o contato do mesmo com o concreto. Com isso a água nesta região evapora rapidamente, evitando o apodrecimento do pé do pilar.



Modelo de conexão para o sistema estrutural em árvore, para peças roliças de madeira de pequeno diâmetro.

Fonte: NATTERER (1998).

UNIVERSIDADE LIVRE DO MEIO AMBIENTE

 Localização: Rua Victor Benato - Pilarzinho, Curitiba, PR.
 Projeto: Arquiteto Domingos Bongestabs; Engenheiro Renato Kimio Koga (1992).
 Sistema estrutural: composta de colunas, vigas e diagonais como mão francesa.
 Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça de Reflorestamento eucalipto Citriodora.
 Diâmetros das peças: 20 a 30 cm.
 Tratamento: com K33 em autoclave, e para acabamento e proteção externa Osmocolor.
 Ligações: todos os elementos das ligações são em aço galvanizado, tais como, barras rosqueadas passantes, arruelas e porcas.
 Dados: coletados pelo autor em visita técnica em outubro de 2009



Tabuleiro da Passarela.



Contraventamentos.



Colunas com seção dupla.



Detalhes das colunas, vigas e diagonais.



Bases da coluna em contato direto com o solo.



Umidade nas bases das colunas.



Passarelas e escada de acesso à encosta.



Colunas, vigas e diagonais.



Det. da ligação do nó.



Emendas das colunas.



Vista inferior das passarelas.



Mão francesa.

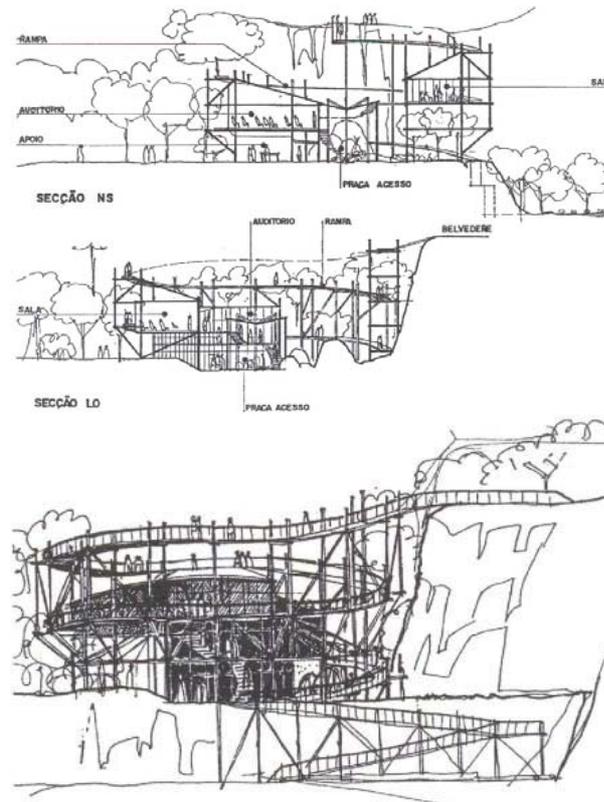


Figura: Detalhes do projeto arquitetônico.
 Fonte: PARTEL (1999).



Figura: Fachada principal.

Fonte: Fotos do Autor tirada em visita técnica em outubro de 2009.



Grelha que compõe a estrutura do piso do Pavilhão Don Duane Willian.



Peças roliças da grelha que compõem a estrutura do piso, apoiadas sobre às vigas secundárias, que transferem às cargas verticais para as vigas principais e estas para as colunas.



Vista das conexões com chapas externas, parafusadas com barras de aço rosqueadas passantes, arruelas e porcas, unindo às vigas secundárias às vigas principais.



Detalhes das vigas fixadas na coluna central.



Conexões metálicas tipo consoles, que unem as vigas principais, da estrutura de grelha do piso, à coluna central.

EDIFICAÇÕES DO PARQUE AMBIENTAL ALCOA - POÇOS DE CALDAS



Localização: Poços de Caldas, MG.

Utilização: edificações do Parque Ambiental ALCOA–Poços de Caldas

Projeto Arquitetônico: Arq. Marcio José Ferraz da Silva (1993)

Responsável técnico: Eng. Luiz Moretti (1993)

Sistemas estruturais: grelhas; viga-coluna; pórticos

Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça, Eucalipto Citriodora

Diâmetros médios: 20 cm a 30 cm

Ligações: Entalhes na madeira, conexões metálicas tipo console, conexões com chapas metálicas externas, conexões em laço, e fixação com barras de aço passantes, arruelas e porcas, inseridas nos elementos estruturais de madeira roliça.

Fundações: engastamento direto em blocos de concreto.

Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.

Dados: coletados pelo autor, com o idealizador do projeto Don Duane Williams, e com o coordenador do projeto Paulo Fernando Junqueira, em visita técnica em abril de 2010.



Vista do Pavilhão Don Duane Willians (10mx10m).



Vista do Pavilhão da Biblioteca (10mx10m).



Conexões metálicas tipo consoles, que unem as vigas da estrutura da cobertura à coluna central.

Fonte: Fotos do Autor em abril de 2010.



Detalhe da coluna de canto.



Detalhe das conexões metálicas tipo consoles, parafusados com barras de aço rosqueadas passantes, arruelas e porcas, que unem as vigas da estrutura do piso à coluna de canto.



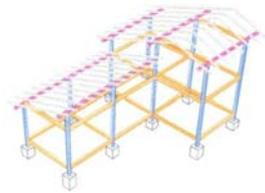
Estrutura da passarela externa.



Emenda da coluna do guarda corpo.



Fechamento com painéis de ossatura de eucalipto serrado revestidos por chapas de compensado lambris de pinus tratado, e em toras de eucalipto sobrepostas, outros componentes como, forros, assoalhos batentes, portas e janelas em eucalipto serrado.



Fundações: camada de regularização 110 fundo dos furos com uma camada de concreto com ferro de distribuição prumagem dos pilares contínuos de eucalipto e preenchimento dos furos com concreto. A profundidade da escavação varia segundo o caimento do terreno e o bloco de concreto se eleva a 50cm do solo, formando uma transição do pilar com o solo.

CASA DO HORTO UFSCAR



Localização: Universidade federal de São Carlos, SP.

Utilização: edificação em horto florestal

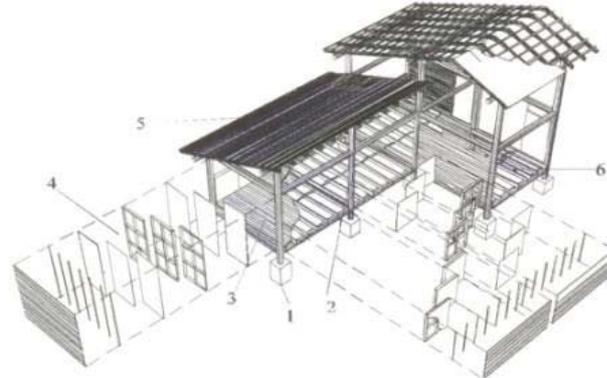
Construtor: mão de obra UFSCAR

Sistema estrutural: modular (3m x 3m) Viga-coluna

Elementos Estruturais: Peças de Madeira Rolíça de Eucalipto

Ligações: furos nas colunas e espigas nas extremidades das vigas, desbaste e retirada de costaneira de uma a quatro faces nas colunas para receberem as interfaces com os painéis e vigas; e nas vigas uma ou duas faces planas para receberem as interfaces com piso e os painéis. Foram utilizados entalhes e cavilhas em forma de tarugos.

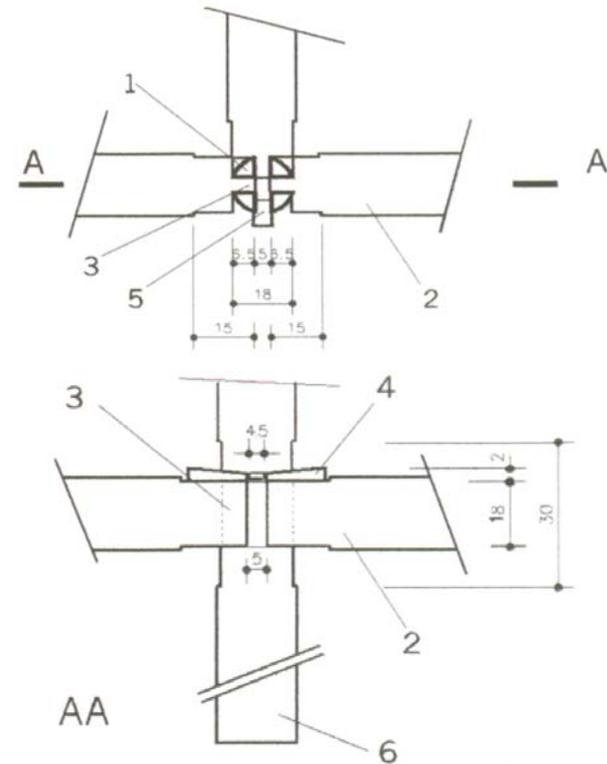
Tratamento: vácuo pressão em autoclave.



Perspectiva: Detalhes dos elementos estruturais.

Legenda dos elementos estruturais:

1. Fundação em pilar tratado cravado em concreto
2. Esqueleto estrutural modular (3m x 3m)
3. Piso em barrotes + assoalho de eucalipto
4. Sistema de painéis sanduíche para vedação A
5. Cobertura em caibros roliços + serrados + forro de eucalipto
6. Área para banheiro e WC

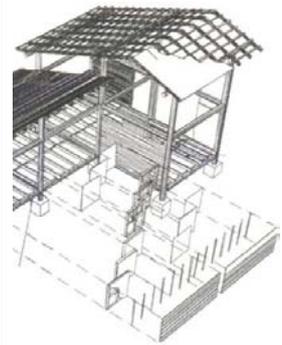


Detalhes da ligação viga-coluna.

Fonte: PARTEL (1999)

Elementos estruturais com Madeira Rolíça de Reflorestamento, com os seguintes diâmetros médios: para as vigas e colunas Φ 20 cm, caibros roliços Φ 10 cm, e para as peças roliças com Φ 15cm.

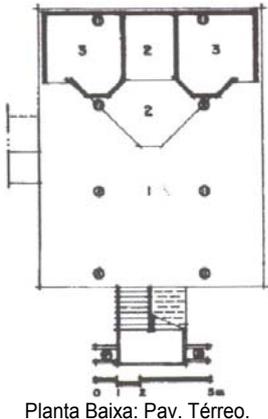
Na cobertura, os caibros roliços, foram nivelados na face superior.



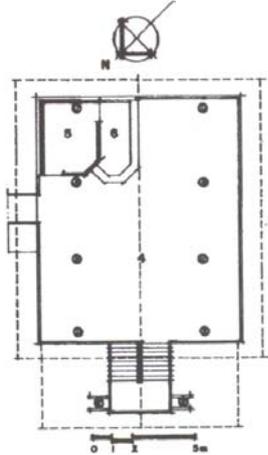
Legenda dos detalhes da ligação viga-coluna:

1. Pilar Φ topo 18 cm com padronização (Φ 18cm) na região da ligação e no comprimento com seção variável;
2. Viga Φ topo 18 cm com padronização (Φ 18cm) nas extremidades e com comprimento 3,12m;
3. Espiga 5x18x6cm;
4. Cunha 1,8x2,8x12cm;
5. Proteção do rasgo 5x20x10cm;

Detalhes do projeto da Casa de Chá no Jardim Botânico:



Planta Baixa: Pav. Térreo.



Planta Baixa: Pavimento Superior.

Legenda das Plantas Baixa:

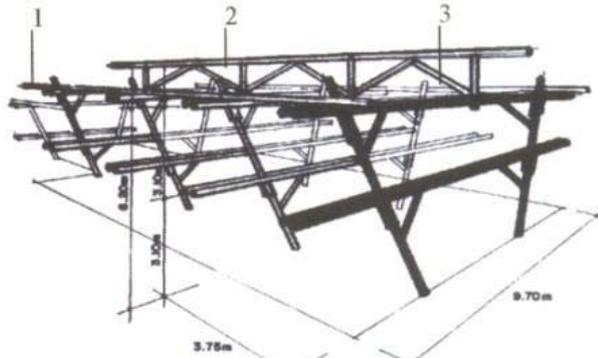
1. salão
2. loja
3. salão
4. salão de chá
5. cozinha
6. bar



A Alvenaria no pavimento térreo, e no superior é com painel sanduíche de compensado naval. Toda a construção é circundada por uma veneziana de madeira com im de altura a 2,1m do piso.

JARDIM BOTÂNICO DE BRASÍLIA CASA DE CHÁ

 Localização: Jardim Botânico, Brasília, Distrito Federal, BR.
Utilização: edificação comercial
Projeto: Arq. Leda Maria Vasconcelos Furtado, Arq. Roberto Leconte de Mello e Eng. Júlio Eustáquio de Melo - 1994
Sistema estrutural: Pórtico V (colunas inclinadas para fora)
Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça de Eucalipto Grandis
Tratamento: vácuo pressão em autoclave.



Perspectiva da estrutura da Casa de Chá.

Legenda da Perspectiva:

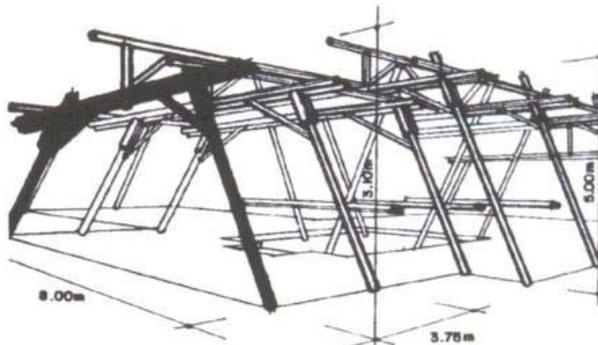
1. Terça Lateral
2. Terça Cumeeira
3. Contraventamento

Fonte: PARTEL (1999)



JARDIM BOTÂNICO DE BRASÍLIA ORQUIDÁRIO

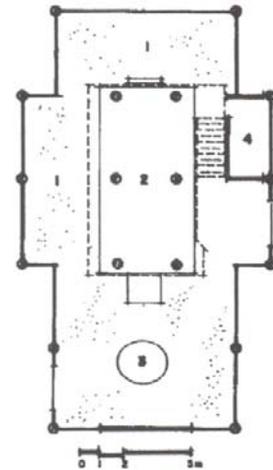
 Localização: Jardim Botânico, Brasília, Distrito Federal, BR.
Utilização: edificação de estufa de mudas de orquídeas
Projeto: Arq. Leda Maria Vasconcelos Furtado, Arq. Roberto Leconte de Mello e Eng. Júlio Eustáquio de Melo - 1994
Sistema estrutural: Pórtico (colunas inclinadas para dentro)
Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça de Eucalipto
Diâmetros médios: Φ 30 cm
Ligações: Redução por entalhes, através da utilização de vigas duplas
Tratamento: secagem ao ar livre, vácuo pressão em autoclave.



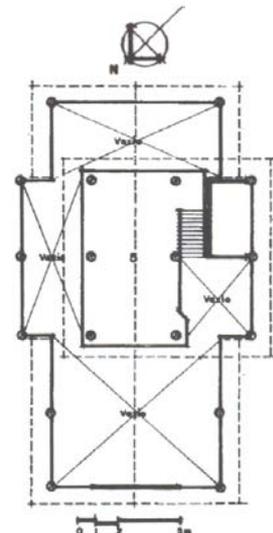
Perspectiva da estrutura do Orquidário.

Fonte: PARTEL (1999).

Detalhes do projeto do Orquidário no Jardim Botânico:



Planta Baixa: Pav. Térreo.



Planta Baixa: Pavimento Superior.

Legenda das Plantas Baixa:

1. Jardim
2. Galeria
3. Espelho d'água
4. Depósito
5. Mezanino



Para o fechamento, foram utilizados alvenaria, tela de sombreamento e venezianas de madeira.



Fundações: Brocas independentes de concreto, sobre pilotis de toras posicionados através de dispositivo metálico, o sistema de barroteamento (16cm sobre viga principal) 22cm recebe o deck (interno) e assoalhos (interno). As ligações estruturais são em cavilhas.



Acabamento: Paredes externas, internas e o piso foram raspilhados, lixados encerados com cera mista (cera de carnaúba (cera branca e gasolina). As esquadrias receberam pintura pentox e cera.



Detalhe da seção transversal, do tipo de corte longitudinal executado na serraria.

RESERVA FLORESTAL LINHARS EDIFICAÇÃO DE ALOJAMENTO



Localização: Reserva Florestal Linhares, Espírito Santo.

Utilização: edificação de alojamento

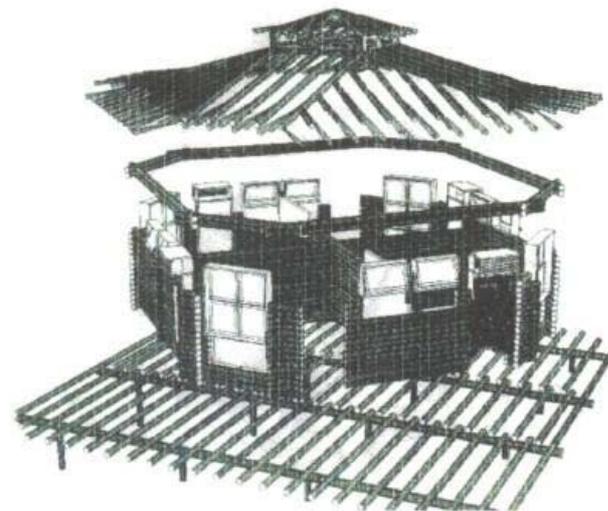
Projeto: Arq. Kátia Serejo; Amélia Gama; Eng. Akemi Ino - 1992

Sistema estrutural: Paredes autoportantes em toras sobrepostas com encaixe macho e fêmea.

Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça de Eucalipto de várias espécies, Grandis, Citriodora, Urophylla.

Ligações: na sobreposição de toras corte longitudinal em macho e fêmea encaixe tipo "V" e "A". No cruzamento o transpasse de toras um sim e outro não com entalhe curvo no topo.

Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.



RESERVA FLORESTAL DE LINHARES SALÃO DE JOGOS



Localização: Reserva Florestal Linhares, Espírito Santo.

Utilização: edificação de salão de jogos

Projeto: Arq. Kátia Serejo; Amélia Gama; Eng. Akemi Ino - 1992

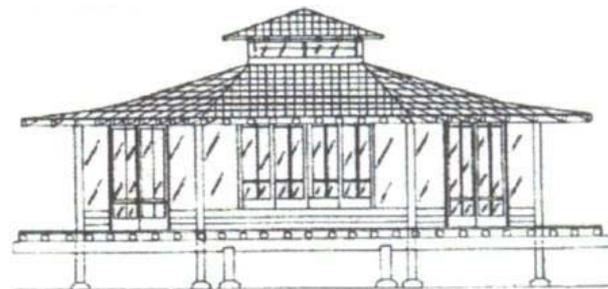
Sistema estrutural: viga-coluna em planta octogonal com quadro de tração, em madeira roliço, amarrando os topos dos oito pilares na parte central, o lanternim conforma sobre o quadro de compressão.

Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça de Eucalipto de várias espécies, Grandis, Citriodora, Urophylla.

Diâmetros médios, viga e colunas Φ 22 cm.

Ligações: entalhes na madeira e fixação com barras de aço rosqueadas passantes Φ 16mm, arruelas, porcas, e cavilhas.

Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.



Fachada do Salão de Jogos.

Fonte: PARTEL (1999)



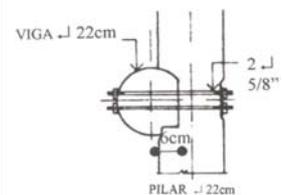
Fechamento: Esquadrias de vidro posicionado entre os pilares e parte inferior em toras sobrepostas encaixadas também entre os pilares.

Cobertura: Espigões e caibros todos em Eucalipto roliço entalhados, com forração sobre os caibros e sobre estes o ripamento e telhas cerâmicas, tipo francesa.

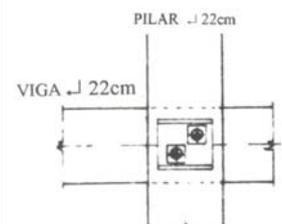
AREA UMIDA: Revestida em chapa de cimento amianto parafusada nos montantes embutidos na parede de toras, com uma pintura impermeabilizante (esmalte sintético).



Piso Elevado, internamente em assoalho e externamente em deck sobre vigamentos principais e secundários em Eucalipto roliço (ligações utilizando cavilhas e parafusos).



Corte transversal da viga.



Vista longitudinal da viga.



Coluna com seção composta.



Conexões no topo da coluna.



Cobertura treliça howe.



Restaurante.



Fachada.



Ponto de ônibus.

EDIFICAÇÃO DO PARQUE NACIONAL DO IGUAÇU – PORTO DE CANOAS



Localização: Parque nacional do Iguaçu, Foz do Iguaçu, PR.

Utilização: edificação da sede do parque

Projeto: Arquiteto Wilson Pinto

Sistema estrutural: Sistema de galpão Misto composto por colunas de Madeira roliça e cobertura de treliça howe de madeira serrada.

Elementos Estruturais: peças roliças de Madeira e peças serradas.

Ligações: Barras de aço rosqueadas passantes, arruelas e porcas.

Tratamento da madeira: Impregnação de CCA em autoclave.



Frente do galpão do Parque Nacional do Iguaçu.



Colunas com seção composta de quatro postes de eucalipto, de sustentação das treliças howe de madeira serrada da cobertura.



Conexão no topo da coluna de eucalipto, composta de quatro postes e peças de madeira roliça, funcionando como console das treliças e vigas de madeira serrada da cobertura. Fotos: CALIL 2009

Fonte: www.arcoweb.com.br/arquitetura/wilson-pinto-15-02-2008.html



Corredor de acesso coberto com telhas cerâmicas.



Estrutura tipo pórtico.



Estrutura da cobertura.



Conexões da cumeeira.



Conexões da estrutura da cobertura com a coluna de seção composta dupla.

Detalhes da estrutura da passarela de acesso.



Pórtico de acesso à passarela.



Conexões do pórtico.



Conexões do pórtico.



Conexões dos nós das vigas transversinas com seção composta dupla.



Guarda corpo que compõem os contraventamentos em X da estrutura treliçada da passarela.



Conexões dos nós do guarda corpo que compõe os contraventamentos em X da estrutura treliçada.

PASSARELA E EDIFICAÇÃO DO MUSEU JARDIM BOTÂNICO CURITIBA



Localização: Jardim botânico, Curitiba, PR.

Utilização: passarela e edificação pública de museu

Projeto: Arquiteto Abrão Assad

Sistemas estruturais: passarela e galpão com cobertura de treliças duplas howe assimétrica, com peças roliças de madeira.

Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça de Eucalipto

Diâmetros médios: 20 cm a 30 cm

Ligações: Entalhes na madeira e chapas metálicas externas fixadas com parafusos metálicos com diâmetros de $\Phi 25\text{mm}$ inseridos nos elementos estruturais.

Fundações: Blocos de Concreto sobre estacas.

Dados: coletados pelo autor em visita técnica em outubro de 2009



Passarela de acesso ao galpão do museu do jardim botânico.



Passarela: Estrutura em manutenção. Sistema estrutural de pórticos, contraventados com treliças em X. Blocos sobre estacas de concreto.



Galpão com cobertura de treliças duplas howe assimétrica, com peças roliças de madeira de reforestamento.

Fonte: Fotos tiradas pelo autor em visita técnica em outubro de 2009.

Detalhes da estrutura do galpão do museu.



Treliça externa, composta dupla. Conexões com chapas metálicas externas.



Colunas do galpão, com seção composta dupla. Tora ao centro está fixada às peças da coluna, com a função de espaçador e console do banzo inferior da treliça da cobertura.



Sistemas de contraventamentos do galpão.



Conexões com chapas externas, dos nós da treliça do banzo inferior, com as diagonais, montantes e consoles que recebem às extremidades das peças de contraventamentos.



Emendas das peças do banzo inferior, com chapas externas.



Vista lateral esquerda da edificação.



Estrutura da edificação.
Vista interna da sede.



Detalhe frontal da viga dupla que suporta a estrutura do 1º piso, fixadas na coluna inclinada.



Detalhe lateral da viga dupla que suporta a estrutura do 1º piso, fixadas na coluna inclinada.



Detalhe lateral.

SEDE DO CENAFLOR



Localização: Sede do CENAFLOR, IBAMA, Brasília, DF.

Utilização: Parque do Centro Nacional de Apoio ao Manejo Florestal

Sistema estrutural: Viga-coluna inclinada

Elementos Estruturais: Peças de Madeira Rolíça de Eucalipto

Diâmetros médios: 20 cm a 30 cm

Ligações: Entalhes na madeira e fixação com barras de aço entre os elementos estruturais viga-coluna.

Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.

Fundações: blocos de concreto armado sobre estacas.



Estrutura com vigas duplas e colunas inclinadas.



Vista frontal da edificação.



Vista lateral direita da edificação.

Fontes: Fotos do autor, junho de 2008.

www.ibama.gov.br/cenaflor



O CENAFLOR - Centro Nacional de Apoio ao Manejo Florestal tem sede em Brasília no Distrito Federal, com a estratégia de possibilitar a articulação entre os técnicos do IBAMA e outras instituições, nacionais e estrangeiras.

Sua sede, construída com recursos da Diretoria de Florestas - IBAMA e do Programa Nacional de Florestas (PNF/MMA), foi inaugurada em 20 de dezembro de 2006 e se localiza nas dependências da Administração Central do IBAMA.

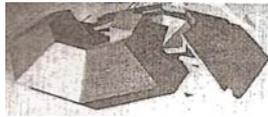


Perspectiva da estrutura.

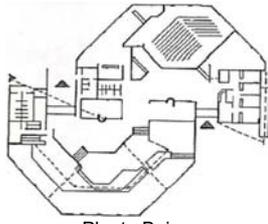


Planta baixa.

PAVILHÃO DE EXPOSIÇÕES GRAFENAU

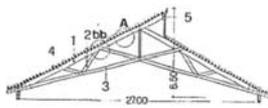


Vista externa da cobertura.

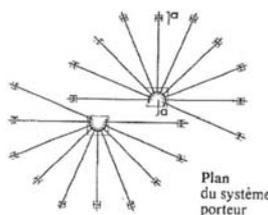


Planta Baixa.

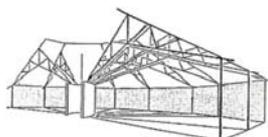
O complexo do galpão de exposições é disposto das salas de exposição, cinemas, representação, estar, assim como a biblioteca e as salas anexas se encontram dentro de dois módulos em forma de semi círculo.



Sistema Estrutural: Treliça Scissors

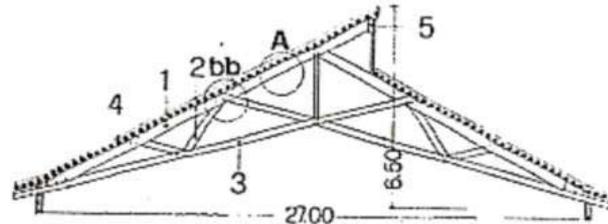


Sistema Estrutural: composto por pórticos treliçados scissors com vão de 27m, dispostos radialmente.

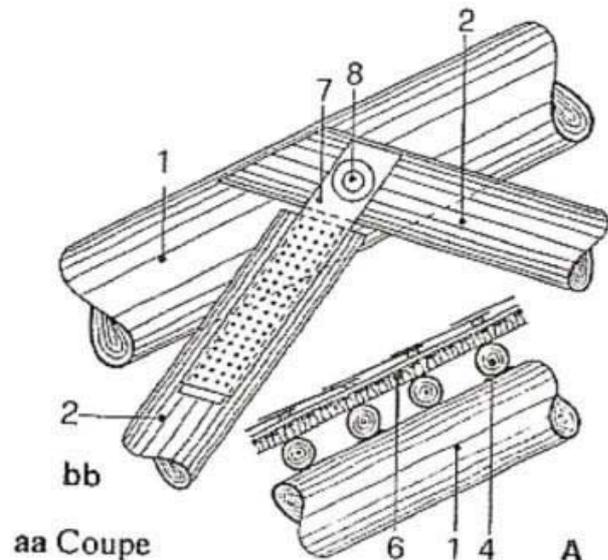


Perspectiva: vista da elevação de um módulo.

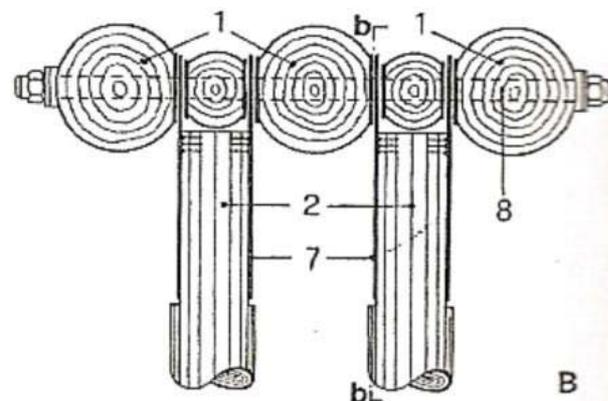
 Localização: Parque Nacional da Floresta da Bavária, Munich.
Utilização: edificação de galpão de exposições
Projeto Arquitetônico: Arquiteto Schuster et Gerlach, Munich
Projeto Estrutural: Julius Natterer, Munich
Sistema estrutural: Pórticos Treliçados Scissors
Elementos Estruturais: Peças de Madeira Rolíça
Ligações: Chapas de aço externas, perfuradas pregadas e parafusadas através de barras rosqueadas, arruelas e porcas.



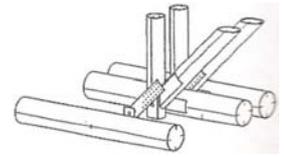
Detalhes da estrutura da treliça Scissors.



Detalhes das conexões: Vista Lateral.



Detalhes das conexões: Vista Superior.



Ligações com chapas externas pregadas de 5mm.

Os banzos, montantes e diagonais da estrutura da cobertura são de madeira roliça.

No projeto estrutural, foi considerado a carga de neve de 5kN/m².

Legenda do Projeto Estrutural:

1. Três banzos superiores com diâmetro de 37cm;
2. duas diagonais com diâmetro de 25cm;
3. Três banzos inferiores com diâmetro de 25cm diâmetros 20cm distanciados de 40cm entre eixos;
4. Arranjo da terças com $\Phi 20$ cm entre eixo de 40 cm;
5. Viga de travamento;
6. isolante térmico da cobertura sobre as ripas;
7. ligações com chapas externas pregadas de 5mm, com anéis de reforço;
8. Barra rosqueada com diâmetro de 63mm.

Fonte: NETTERER (1995).

Colunas centrais compostas de 5 peças roliças para vencer o pé direito triplo do galpão.



Topo de uma das colunas centrais e mãos francesas para suporte da cobertura.



Colunas centrais com 5 peças roliças. Mezanino com vigas e assoalho de madeira serrada.



Topo de uma das colunas centrais, apoiando 2 mãos francesas da cobertura.



Mão francesa apoiada na coluna central da seção composta de 5 colunas.

EDIFICAÇÃO P/ SALÃO DE EVENTOS



Local: Pq. de Expo. Laucídio Coelho, Campo Grande, MS.

Utilização: Salão de eventos – parque de exposições

Projeto: Arquiteto Dennis Michael Defense (2006)

Sistema estrutural: viga-coluna, colunas centrais compostas de 5 peças roliças dispostas em vãos de 5 metros, para vencer o pé direito triplo e coberturas com mãos francesas.

Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça de Eucalipto
Diâmetros médios: 20 cm a 30 cm

Ligação: Barras de aço rosqueadas passantes, arruelas e porcas, inseridas transversalmente nos elementos estruturais.

Fundação: Colunas engastadas nas fundações.

Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.

Fornecedor da madeira: TRAMASUL

Dados: coletados pelo autor em visita técnica em abril de 2009



Fachada principal do salão de eventos.



Mezanino do salão de eventos.



Vista dos níveis do pavimento térreo e do mezanino.

Fonte: Fotos do Autor em abril de 2009.



Mãos francesas apoiadas na coluna de extremidade da frente da edificação.



2 Vigas na inclinação da cobertura, que suportam o beiral c/ balanço de 3,5m.



Conexão das 2 Vigas na inclinação da cobertura.



Vista frontal das 2 vigas inclinadas que suportam o beiral c/ balanço de 3,5m.



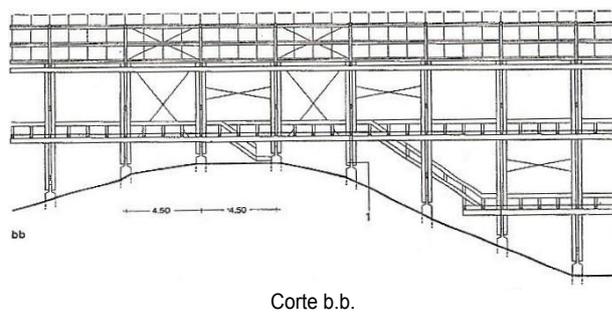
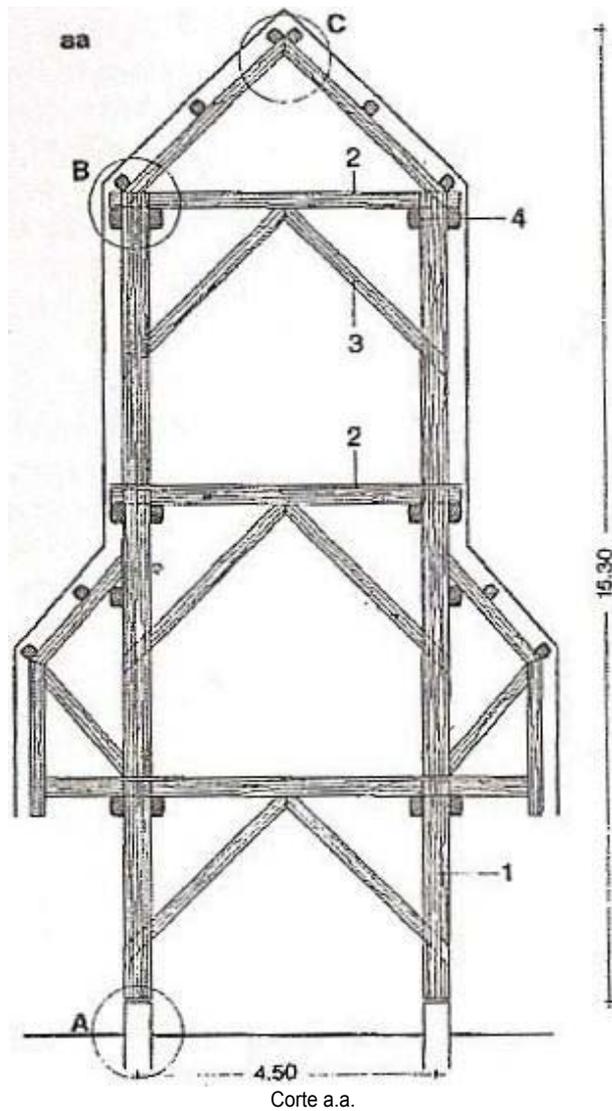
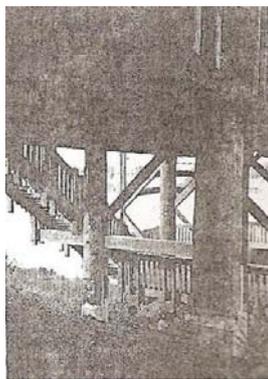
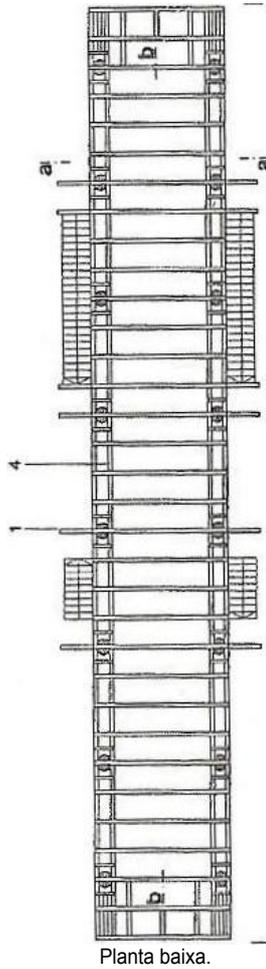
Mãos francesas apoiadas na coluna de extremidade da frente do galpão, que suportam o beiral c/ balanço de 4m.



Mão francesa apoiada na coluna de canto, que suporta o beiral c/ balanço de 4m.

PARQUE FLORESTAL DE EXPOSIÇÃO DE HORTICULTURA

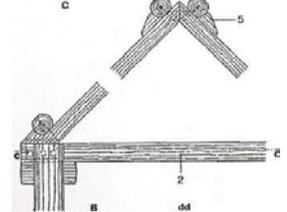
+ Localização: Fribourg, Suíça.
 Utilização: edificação de parque florestal de exposições hortícolas.
 Projeto Arquitetônico: H. Mohl, Karlsruhe (1986).
 Projeto estrutural: Ingenieurgruppe Bauen, Karlsruhe (1986).
 Sistema estrutural: pórticos de torres e viga-coluna
 Elementos Estruturais: Peças de Madeira Rolíça, peças de madeira semicirculares e peças de madeira serrada.
 Diâmetros médios: 20 cm a 49 cm



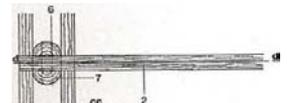
Fonte: NATTERER (1998).

Detalhes do projeto estrutural:

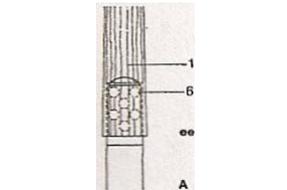
Detalhe C: cumeeira da estrutura da cobertura.



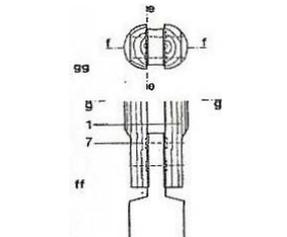
Detalhe B: vista lateral das conexões da viga transversal e longitudinal no topo da coluna.



Detalhe B: vista superior das conexões da viga transversal e longitudinal no topo da coluna.



Detalhe A: vista frontal da placa de base metálica, fixada através de parafusos, na base da coluna, e chumbada no bloco de fundação.



Detalhe A: vista lateral da placa de base metálica, fixada através de parafusos, na base da coluna, e chumbada no bloco de fundação.

Legenda do projeto:

1. Colunas de madeira roliça Φ 40-49
2. vigas transversais 2x9,5/25
3. diagonais 20/20
4. vigas longitudinais 8,5/30
5. calços das terças de madeira roliça.
6. Placas de base metálicas.
- 7 parafusos M 12, M 24.

EDIFICAÇÃO DE CONVENÇÕES HOOKE PARQUE

Localização: Inglaterra.

Utilização: edificação de galpão para convenções

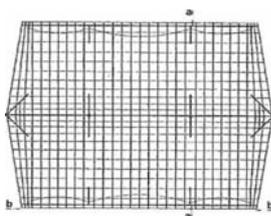
Projeto: Buro Happold.

Sistema estrutural: Colunas inclinadas formando pórtico em A, cobertura tipo grelha c/ peças roliças de pequeno diâmetro e cabos de aço tensionados.

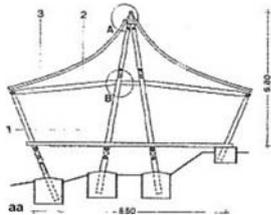
Elementos Estruturais: peças de madeira roliça.

Ligações: entalhes na madeira, conexões metálicas externas; fixação c/ barras passantes, arruelas, porcas, pinos embutidos c/ resina epóxi.

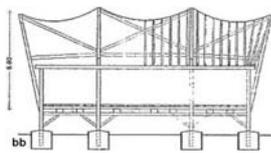
Fundações: Postes engastados em blocos de concreto.



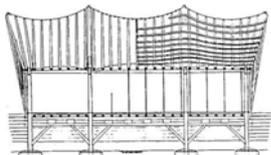
Planta de cobertura.



Corte a.a.



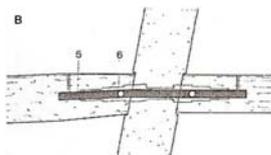
Corte b.b.



Elevação lateral da estrutura.



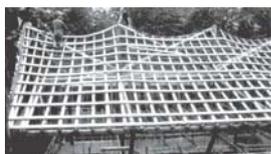
Conexão, com pino embutido e cabo Φ 25 mm.



Pino embutido madeira e colado com adesivo epóxi.

Legenda do projeto:

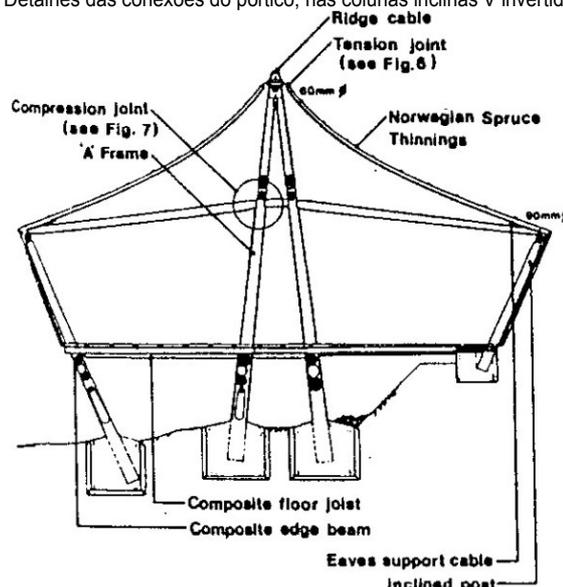
1. Pórtico A, coluna Φ 20-40 cm
2. Viga inclinada Φ 20-25 cm.
3. Viga Φ 15-20 cm.
4. Cabo Φ 25 mm.
5. Pino embutido na madeira.
6. Resina epóxi reforçada com fibras de celulose.



Sistema estrutural da cobertura tipo grelha com peças de madeira roliça de pequeno diâmetro.



Detalhes das conexões do pórtico, nas colunas inclinadas V invertido.



Detalhe do projeto estrutural: colunas inclinadas
Fontes: NATTERER (1998); RANTA-MAUNUS (1999).



Vista externa da edificação.



Vista interna do galpão.



Detalhe do sistema estrutural de grelha da cobertura, com peças de madeira roliça de pequeno diâmetro (9 cm).



Conexão com chapas metálicas externas no topo das colunas inclinadas formando pórtico A.



Estrutura do pilotis, com colunas V e montantes.



Vista externa da edificação da entrada principal.

Sistema estrutural de pórtico formado pelas vigas compostas com seção dupla de madeira laminada colada em arco e com colunas inclinadas, de madeira roliça.



Fachada da entrada principal.



Vista geral da entrada do complexo do centro de conferência.



Fachada da galeria do complexo.



Vista interna da galeria do complexo.

PARQUE ECOLÓGICO CENTRO DA TERRA EDIFICAÇÃO CENTRO DE CONFERÊNCIAS

 Localização: Inglaterra.

Utilização: Projetos sustentáveis de edificações para conferências.

Projeto Arquitetônico: Bill Dunster Architects, BDA.

Projeto Estrutural: Mark Lovell Design Engineers, MLDE.

Sistema estrutural: colunas inclinadas V

Elementos Estruturais: Colunas com peças roliças de madeira e vigas de madeira laminada colada.

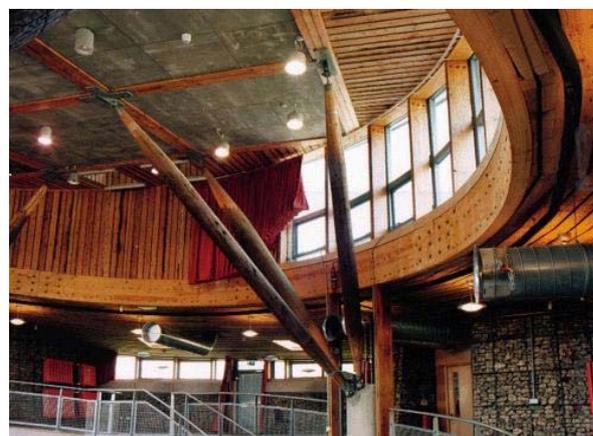
Sustentabilidade: As madeiras são oriundas do reflorestamento. O edifício foi construído em quase 75% de materiais reciclados e gera 60% de energia para seu próprio consumo. As paredes têm um bom desempenho no isolamento térmico, e foram construídas com a reciclagem de resíduos de concreto.



Vista externa da edificação da entrada principal. Colunas inclinadas V de Peças Roliças de Madeira vigas de madeira laminada colada.



Vista interna da edificação da entrada principal. Sistema estrutural com colunas inclinadas V, de madeira roliça. Vigas compostas com seção dupla de madeira laminada colada em arco.



Vista interna do centro de convenções. Escoras definitivas da estrutura da cobertura, com colunas inclinadas V de madeira roliça.

Fonte: www.mlde.co.uk



Modelo de sistema estrutural com escoras definitivas da estrutura da cobertura, com colunas inclinadas V de madeira roliça.



Conexão articulada do topo da coluna inclinada da escora central.



Conexão articulada do topo da coluna inclinada da escora de extremidade.



Conexão articulada das bases das escoras definitivas, compostas por colunas inclinadas, fixada no topo da coluna de concreto armado.



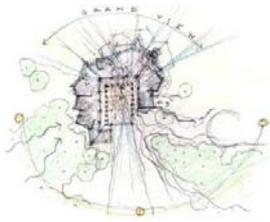
Paredes tipo gabião.



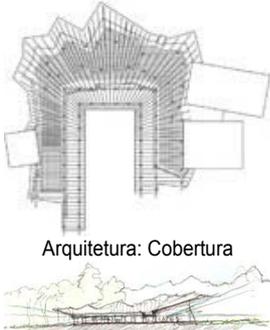
Vista geral do complexo.

EDIFICAÇÃO PARA PARQUE GRAND TETON NATIONAL PARK FOUNDATION

Local: Teton National Forest, Wyoming, Missoula, USA.
Utilização: edificação para parque ecológico
Projeto Arquitetônico: Arquiteto Bohlin Cywinski Jackson (2007)
Projeto Estrutural: Beaudette Consulting Engineers, Inc. (2007)
Sistema estrutural: Composição de pórticos
Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça de Pinus
Diâmetros: peças com grande diâmetro
Ligações: Entalhes na madeira e fixação com pinos metálicos
Fornecedor da Madeira: Spearhead Timberworks, Inc.



Arquitetura: Implantação



Arquitetura: Cobertura

Arquitetura: Fachada



Arquitetura: Iluminação.



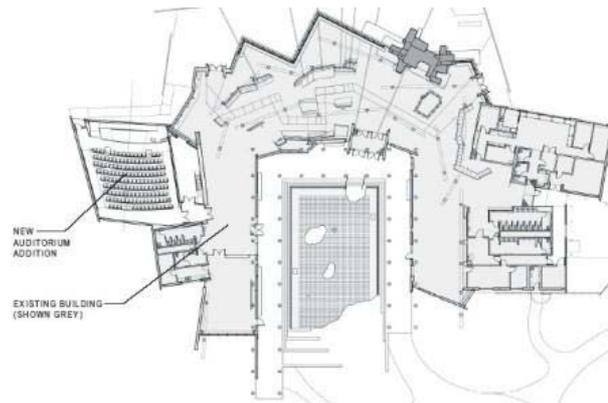
Fachada Lateral Esquerda.



Vista interna da estrutura do painel de vidro.



Beiral da fachada. Os grandes desafios, no dimensionamento da estrutura, foram as considerações de cargas de neve, vento e abalos sísmicos.



Arquitetura: Planta Baixa



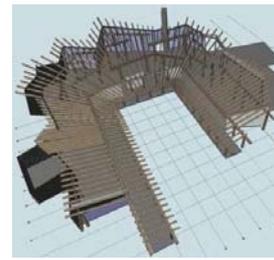
Vista frontal da edificação. Estrutura do painel de vidro e chaminé da lareira.



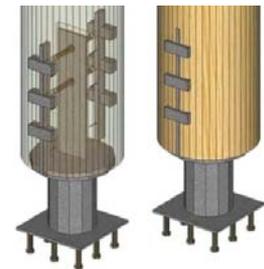
Vista dos fundos da edificação.



Pátio interno com visão para as Montanhas de Teton.



Estrutura: Maquete Eletrônica.



Estrutura: Modelo transparente da placas de base da coluna.



Bases das colunas.



Colunas com peças roliças de madeira, de grande diâmetro.



Estruturas dos pórticos.

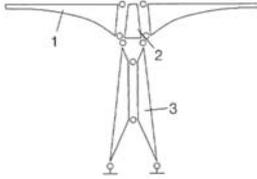


Topos das colunas do pórtico. Estrutura da cobertura com vigas de madeira serrada.



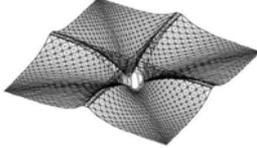
Vista panorâmica da fachada e para as Montanhas de Teton.

FONTE: SCHMIDT (2009).



Esaquema estático:

1. Console do módulo lamelar
2. Pedestal de aço
3. Torre com quatro postes



Modelo computacional: grelha.



Estrutura concluída.



Vista superior da estrutura lamelar da cobertura.



Instalação dos módulos estruturais lamelares da cobertura.



Torres concluídas.

EDIFICAÇÃO CENTRO DE EXPOSIÇÕES EXPODAGH HANNOVER

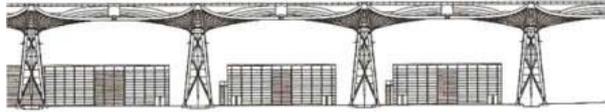
Localização: Hannover, Germani, Alemanha.

Utilização: edificação de centro de exposições

Projeto: Thomas Herzog; Julius Natterer et al - 1999/2000

Sistema estrutural: colunas de madeira roliça, que compõem as torres de sustentação da cobertura lamelar com peças serradas.

Ligações: conexões metálicas e parafusos com arruelas e porcas.



Montagem de uma das torres com quatro peças de madeira roliça.



Detalhes das ligações da placa de base, de uma das colunas das torres.



Placas de base, das colunas das torres de sustentação.

Fonte: www.nattererbcn.com/web/expo.htm



Topo da Torre: Conexões metálicas, unindo os elementos estruturais lamelares da cobertura, sobre as torres de sustentação.



Cortes longitudinais nas colunas. Ligações das seções das colunas, com conexões metálicas, parafusos e porcas.



Pedestal de aço: Conexões metálicas, que unem os elementos estruturais lamelares da cobertura, sobre as torres de sustentação.



Montagem das torres c/ quatro peças de madeira roliça.

EDIFICAÇÃO DO PARQUE DE EXPOSIÇÕES GRIDSELL

 Localização: Inglaterra.

Utilização: edificação de galpão de parque de exposições
Arquitetos: Edward Cullinan, Steve Johnson, Robin Nicholson, John Romer (2000).

Engenheiros: Buro Happold, Michael Dickson, Richard Harris, James Rowe, Peter Moseley (2000).

Carpintaria: Green Oak Carpentry Company Ltd (2000-2002).

Sistemas estruturais: colunas inclinadas V, como escoramento definitivo de estrutura de cobertura e do pórtico em arco inclinado da fachada principal, e estrutura laminar tipo grelha com sarrafos de madeira serrada de pequenas dimensões, dando as formas de parabolóides hiperbólicas do galpão.

Elementos Estruturais: peças roliças de madeira de pequeno diâmetro, peças de madeira laminada colada e sarrafos de madeira serrada.

Ligações: conexões metálicas especiais.



Vista lateral do sistema de escoramento definitivo, com peças roliças de pequeno diâmetro, da estrutura da cobertura e do pórtico em arco inclinado da fachada principal.



Vista lateral dos detalhes das escoras de madeira roliça de pequeno diâmetro, que suportam a estrutura da cobertura e do pórtico em arco inclinado da fachada principal.



Vista inferior dos detalhes das escoras de madeira roliça de pequeno diâmetro, que suportam a estrutura da cobertura e do pórtico em arco inclinado da fachada principal.



Detalhe da conexão do topo do escoramento com a estrutura da cobertura.



Fachada principal do galpão. Madeira laminada colada com seção circular, formando o pórtico em arco inclinado.



Fase da construção do galpão.



Escoramento da estrutura da cobertura da fachada, com peças de madeira roliça de pequeno diâmetro.

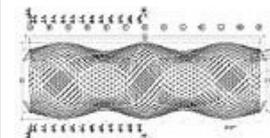
Fonte: www.wealddown.co.uk



Detalhe da conexão das bases das escoras da estrutura da cobertura e do pórtico em arco inclinado da fachada principal.



Confecção da peça estrutural de madeira laminada colada com seção circular, formando o pórtico em arco da fachada.



Projeto: forma da anatomia da estrutura do galpão.



Fase de construção da estrutura laminar de grelha do galpão.



Fase final de construção.



Nó de conexão da estrutura da grelha laminar.



Treliças c/ peças de Madeira Roliça de Pequeno Diâmetro. Banzos e montantes $\Phi 15$ cm, diagonais $\Phi 12$ cm.



Montagem da estrutura.



Estrutura da cobertura.



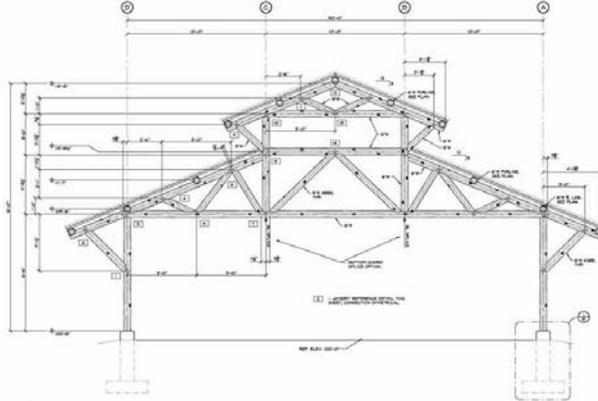
Estrutura da cobertura.



Mão francesa: Apoio dos beirais.

EDIFICAÇÃO DE GALPÃO PARK PICNIC PAVILION

Localização: Townsend, Montana, USA.
 Utilização: edificação de galpão de refeitório
 Projeto: Beaudette Consulting Engineers Inc. - 2001
 Sistema estrutural: industrializado, cobertura de treliças atirantadas
 Elementos Estruturais: Madeira Roliça de Pequeno Diâmetro
 Diâmetros: $\Phi 12$ cm e $\Phi 15$ cm
 Ligações: conexões c/ chapas externas, barras de aço rosqueadas, arruelas, porcas.
 Fundações: Blocos em Concreto Armado.



Detalhe do Projeto Estrutural: Elevação transversal do galpão.



Detalhe externo da estrutura galpão de 30m x50m acabado.



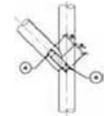
Detalhe da estrutura da cobertura: ligações c/ chapas externas.

"Este projeto foi designado pela USDA Forest Products Laboratory em Madison WI, como parte da iniciativa promover o uso estrutural de Madeira Roliça de Pequeno Diâmetro."

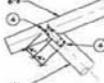
Disponível em: www.bceweb.com/Projects/materials.html

Fonte: Beaudette Consulting Engineers Inc.

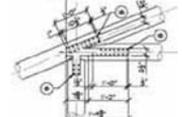
Projeto Estrutural: detalhes dos elementos das ligações.



1) 2 chapas externas.



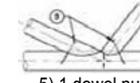
2) 2 chapas externas.



3) 2 chapas externas.



4) 1 dowel nut.



5) 1 dowel nut.



6) 1 dowel nut e 2 chapas externas.



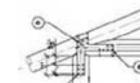
7) 2 chapas externas.



8) 1 dowel nut e 2 chapas externas.



9) 1 dowel nut.



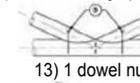
10) 2 chapas externas.



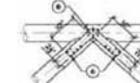
11) 1 dowel nut.



12) 1 barra de aço passante.



13) 1 dowel nut.



14) 2 chapas externas.



Cobertura textil da tenso estrutura.



Conexões metálicas especiais, parafusadas nas extremidades dos elementos estruturais de madeira roliça de pequeno diâmetro.



Conexões metálicas especiais, que unem os elementos estruturais de madeira roliça.



Fachada da estrutura.

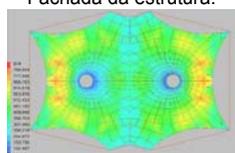


Diagrama de análise numérica de uma tenso estrutura.

TENSOESTRUTURA BUCKINGHAM PALACE TICKET OFFICE

 Localização: Londres, Inglaterra.

Utilização: edificação provisória para venda de ingressos para entrada no Palácio de Buckingham, na praça de Green Park em Londres.

Projeto: Hopkins (1995)

Sistema estrutural: cobertura de tenso estrutura.

Elementos Estruturais: peças de madeira roliça de pequeno diâmetro.

Ligações: conexões especiais com chapas metálicas internas, parafusos, arruelas e porcas.

Comprimento: 15 metros



Elementos estruturais da tenso estrutura, com peças roliças de pequeno diâmetro.

Fonte: www.hopkins.co.uk/projects/_1,8

COLUNAS E ESCORAS DEFINITIVAS DE COBERTURA LAMENAR

 Localização: Inglaterra.

Utilização: elementos estruturais de suporte de cobertura.

Projeto: Hopkins

Sistema estrutural: colunas e escoras inclinadas em V definitivas como suporte da estrutura da cobertura com sistema estrutural lamelar com peças de madeira laminada colada.

Elementos Estruturais: peças de madeira roliça de pequeno diâmetro. e peças de madeira serrada.

Ligações: conexões especiais com chapas metálicas, parafusos, arruelas e porcas.



Colunas e escoras inclinadas em V, definitivas de suporte da cobertura com sistema estrutural lamelar com peças de madeira serrada.

Fonte: www.hopkins.co.uk



Detalhes da estrutura lamelar da cobertura em arco, e das colunas e escoras inclinadas em V definitivas de madeira roliça de pequeno diâmetro ao lado esquerdo da edificação.



Detalhes das conexões.



Conexões de topo das escoras inclinadas, fixandas na estrutura da cobertura.



Conexões metálicas especiais entre as bases das escoras inclinadas em V e o topo da coluna.



Mãos francesas com peças roliças de madeira de pequeno diâmetro.

ARQUIBANCADE DE BASEBALL KELLY PINE GRANDSTAND

 Localização: Bonner, Montana, USA.
Utilização: arquibancada de campo de baseball
Projeto: Beaudette Consulting Engineers Inc. (2007)
Sistema estrutural: industrializado, cobertura de treliças atirantadas
Elementos Estruturais: Madeira Roliça de Pequeno Diâmetro
Diâmetros médios: Φ 12 cm e Φ 15 cm
Ligações: conexões c/ chapas externas, barras de aço rosqueadas, arruelas, porcas.
Fundações: Blocos em Concreto Armado.



Instalações das colunas.



Detalhe das placas de base das colunas.



Pequenas fendas transversais na seção da peça roliça, para instalação externa da chapa metálica, de ancoragem da barra de aço de tirante.



Instalação da chapa metálica externa de ancoragem da barra de aço do tirante.



Chapa metálica externa de canto, para ancoragem da barra de aço do tirante.



Fonte: Beaudette Consulting Engineers Inc.



Detalhe da fixação do tirante: Barra de aço com rosca na extremidade, atarrachada com arruela e porca.

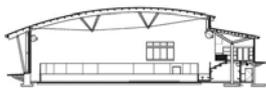


Montada a estrutura e a treliça da cobertura. Instalação de placas OSB como piso da arquibancada.



Colunas com seção composta, com quatro peças roliças.

EDIFICAÇÃO DA ARENA ARMSTRONG



Projeto: elevação do da estrutura do galpão.



Instalação das vigas curvas de Madeira Laminada e Colada de pinus que compõem a cobertura.



Fechamento da cobertura.

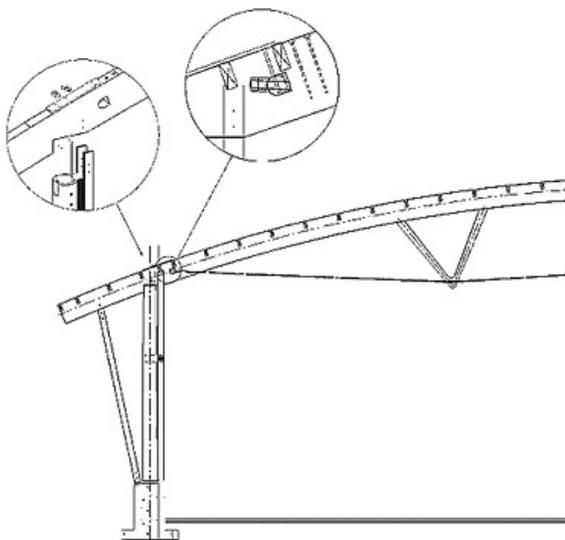


Tirantes com cabos de aço duplo de Ø35mm de diâmetro.



Suporte metálicos de sustentação dos tirantes da cobertura.

🇨🇦 Localização: Ontário, (localizada nos arredores de Ottawa), Canadá.
Utilização: edificação de arena para a prática de hóquei no gelo Projeto: Graham Edmunds Cartier/Prime Consultant/C.E.I. Architecture
Cálculo Estrutural : Fast + EPP Sistema
estrutural: Galpão com sistemas mistos. vigas curvas de Madeira Laminada e Colada, apoiadas em colunas de madeira roliça de pinus e vigas com perfis i de aço, apoiadas em colunas de concreto armado.
Ligações: conexões metálicas e fixação com parafusos metálicos, de aço galvanizado. Cabos de aço : Ø35mm (duplos)



coluna de madeira roliça de pinus.

Projeto:



Instalação das vigas curvas de Madeira Laminada e Colada, apoiadas nas colunas de madeira roliça de pinus.



das colunas de madeira roliça de pinus, com placas de base de aço galvanizadas, junto ao bloco de fundação de concreto armado.

Conexão

Fonte: www.madeiraestrutural.wordpress.com/2009/10/18/armstrong-arena/#more-391



Projeto: perspectiva do galpão



Vista externa geral do galpão da arena.



Vista interna da arena: colunas de madeira roliça de pinus à esquerda.



Vista interna da arena: vigas com perfis i de aço, apoiadas em colunas de concreto armado.



Arquibancada da arena.



Estrutura da cobertura sobre a arquibancada.

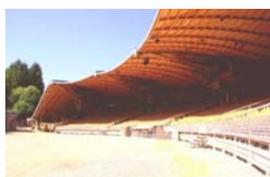
EDIFICAÇÃO DE TEATRO ALSTURIED



Fase inicial da construção.



Montagem da estrutura do piso da arquibancada.



Estrutura lamelar da cobertura.



Estrutura treçada, de sustentação da cobertura.



Estrutura da cobertura.



Vista da estrutura lamelar.

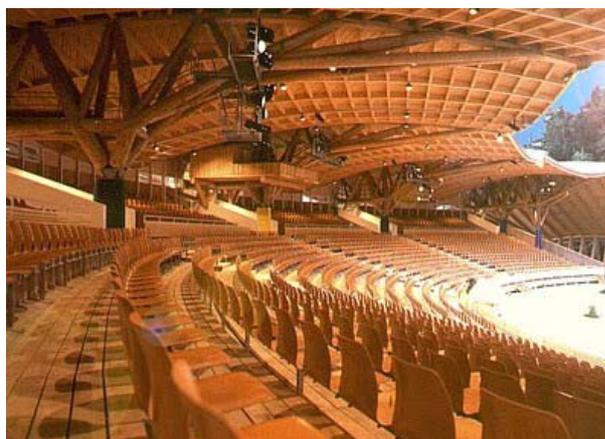
 Localização: Alsturiéd, Alemanha.
 Utilização: edificação de estádio
 Projeto: Leopold Mohr; Julius Natterer
 Construção em 1999
 Sistema estrutural: colunas de madeira roliça e treçado espacial tipo árvore
 Diâmetros das toras: variam entre 30 cm e 50 cm
 Ligações: conexões metálicas e parafusos com arruelas e porcas.



Fase da construção: Estrutura da cobertura.



Fase da construção: Escoramento da estrutura da cobertura.



Estrutura treçada, de sustentação da cobertura da arquibancada.

Fontes: www.nattererbcn.com/web/altusried.htm



Peça de Teatro.



Platéia.



Entrada principal.



Fachada Frontal.



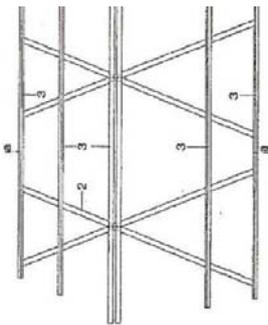
Vista total externa.



Vista total interna.

COBERTURA TRIBUNE

 Localização: Neufahrn, Baviera, Alemanha.
 Utilização: modelo de cobertura
 Projeto Arquitetônico: Büro Vier, Dietersheim
 Projeto estrutural: Natterer, Munich
 Sistema estrutural: cobertura com treliça espacial tipo árvore
 Elementos Estruturais: Peças de Madeira Rolça
 Ligações: chapas internas e fixação com pinos metálicos



Planta de cobertura.

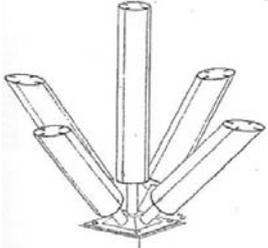


Estrutura da cobertura.

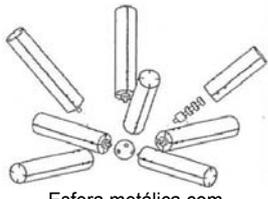


Treliça espacial tipo árvore.

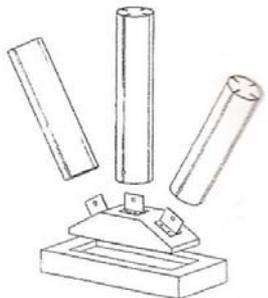
Modelos de conexões para treliças espaciais, por NATTERER (1998):



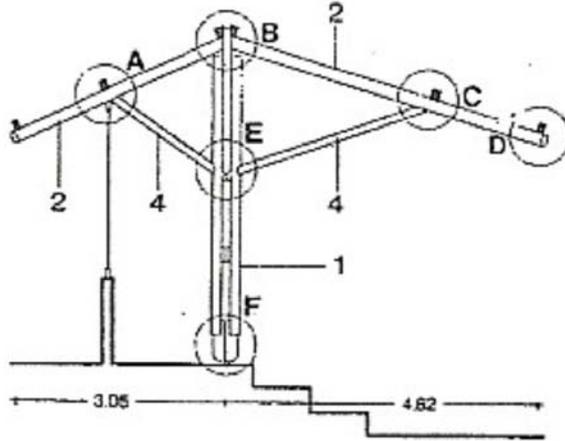
Tipo árvore.



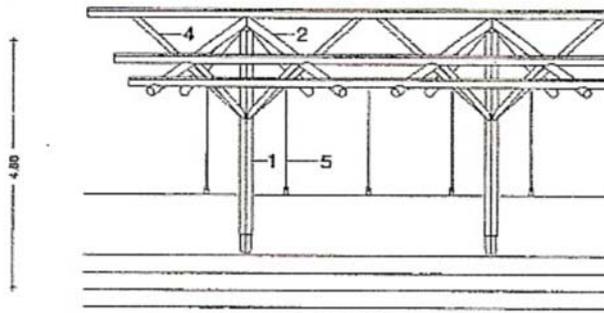
Esfera metálica com conexões de pinos metálicos rosqueados. (Sistema Bertsche)



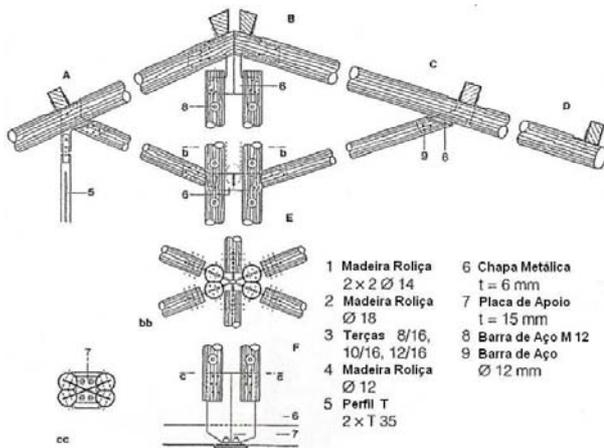
Placa de base com perfis T.



Elevação Lateral.



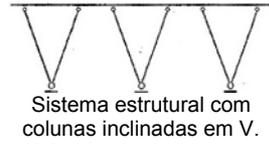
Elevação Frontal.



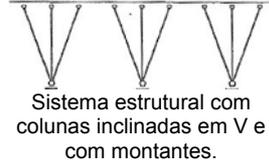
Detalhes dos elementos estruturais e das conexões.

Fonte: NATTERER (1998)

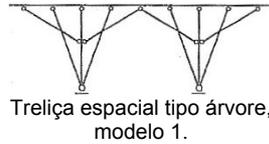
Modelos de sistemas estruturais de coberturas com treliças espaciais, por NATTERER (1998):



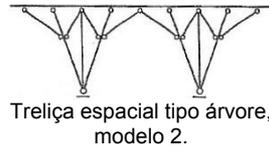
Sistema estrutural com colunas inclinadas em V.



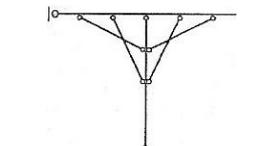
Sistema estrutural com colunas inclinadas em V e com montantes.



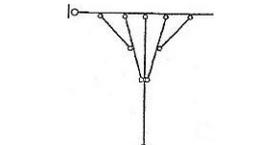
Treliça espacial tipo árvore, modelo 1.



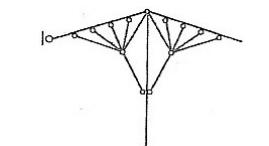
Treliça espacial tipo árvore, modelo 2.



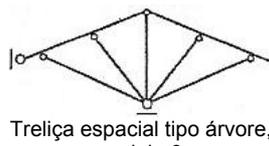
Treliça espacial tipo árvore, modelo 3.



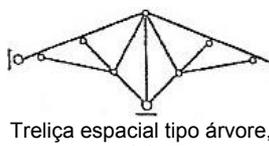
Treliça espacial tipo árvore, modelo 4.



Treliça espacial tipo árvore, modelo 5.



Treliça espacial tipo árvore, modelo 6.



Treliça espacial tipo árvore, modelo 7.



Processo de montagem da cobertura de treliça espacial.



Vista inferior da estrutura da treliça espacial.



Vista inferior da cobertura, ao lado esquerdo da edificação.



Detalhe do contraventamento da estrutura de apoio da cobertura, com 4 colunas inclinadas em V, situada ao lado esquerdo da edificação.



Detalhe da placa de base metálica, com parafusos passantes, arruelas e porcas.

COBETURA DE TRELIÇA ESPACIAL SOLAR CANOPY

 Localização: Parque Centro da Terra, **Doncaster, Inglaterra.**

Utilização: modelo de cobertura para suporte de células fotovoltaicas, apoiado sobre uma estrutura de treliça espacial de madeira roliças que foi projetado como uma estrutura de árvore abstrata para parecer uma floresta. A geração da energia solar deste projeto de pesquisa produz energia elétrica suficiente para fornecimento de 42 casas.

Projeto: Feilden Clegg Bradley Architects.

Sistema estrutural: treliça espacial tipo árvore.

Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça de pequeno diâmetro

Ligações: conexões metálicas especiais para estruturas de treliças espaciais e fixação com pinos metálicos.



Vista frontal da estrutura completa.



Detalhe da estrutura da treliça espacial com peças roliças de pequeno diâmetro, e das conexões metálicas especiais.



Estrutura de apoio da cobertura, com 4 colunas inclinadas em V, situada ao lado esquerdo da edificação.

Fonte: www.carpenteroakandwoodland.com



Detalhe da estrutura de treliça espacial da cobertura, fixada no topo da coluna de concreto armado, situada ao lado direito da edificação.



Vista inferior da estrutura de treliça espacial da cobertura, fixada no topo da coluna de concreto armado, situada ao lado direito da edificação.



Detalhe das conexões da treliça espacial.



Nó da treliça espacial da cobertura. Detalhe de uma conexão metálica, com parafusos passantes, arruelas e porcas.



Vista da estrutura completa.

**PARQUE MUNICIPAL
DE POÇOS DE CALDAS
ANTÔNIO MOLINARI**

  Localização: Avenida João Pinheiro, Poços de Caldas, MG.
Utilização: parque de atividades físicas, esportivas, recreativas e ponto turístico.
Projeto: Maria Fernandes Caldas; Gina Beatriz Rende - 1985
Sistemas estruturais: vigas-colunas, e quiosques com peças roliças de madeira.
Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça de Eucalipto
Diâmetros médios: 20 cm a 30 cm
Ligações: Entalhes na madeira e barras de aço rosqueadas, arruelas e porcas.
Tratamento: impregnação de CCA em autoclave.



Todos os brinquedos do parque são com peças roliças de madeira.



Barras e equipamentos de aquecimento e abdominais, com peças roliças de madeira de reflorestamento.

Fonte: Fotos tiradas pelo autor em visita técnica em abril de 2008.



EDIFICAÇÃO DA ENTRADA DO PARQUE EFTELING ENTRANCE

 Localização: Loon on Zand, Holanda, países baixos.
 Utilização: edificação do pavilhão de entrada do parque temático.
 Projeto Arquitetônico: Ton Van der Vem
 Projeto Estrutural: Hans Roosen
 Sistema estrutural: estrutura de treliça espacial tipo árvore.
 Elementos Estruturais: peças de madeira roliça.
 Diâmetros das peças: colunas principais com diâmetros médios 65 cm e elementos estruturais das treliças espaciais com peças roliças de pequeno diâmetro, com varias dimensões de diâmetros.
 Ligações: conexões metálicas com chapas internas, barras rosqueadas passantes, arruelas e porcas.



Detalhe da estrutura da cumeeira da fachada da entrada principal.



Estrutura do mesanino.



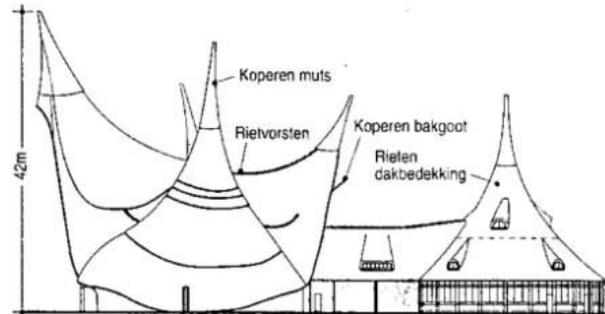
Vista da estrutura central da edificação. Treliça espacial tipo árvore.



Estrutura da cobertura.



Detalhe da conexão da treliça espacial c/ chapas metálicas internas, barras passantes, arruelas e porcas.



Elevação: altura mais alta da edificação com 42 metros.



Fachada da edificação do pavilhão de entrada do parque. A edificação possui largura total de 60 metros de frente.

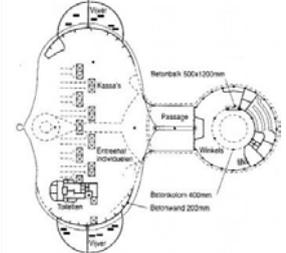


Treliça espacial tipo árvore: Vista parcial da estrutura da cobertura.

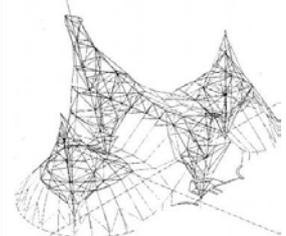
Fonte: RANTA-MAUNUS (1999).



Perspectiva.



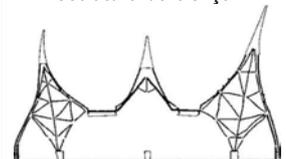
Planta Baixa.



Esquema de barras unifilares da estrutura.



Esquema lateral da estrutura da treliça.



Esquema frontal da estrutura da treliça.



Módulos triangulares da treliça espacial.



Nó da treliça espacial.

EDIFICAÇÃO DO TERMINAL DO AEROPORTO DE BONITO



Localização: Aeroporto, Bonito, MS.

Utilização: Edificação do terminal do Aeroporto

Projeto Arquitetônico: De Camilo Arquitetura (2009)

Sistema estrutural: Viga-coluna dupla inclinada, coberturas tipo asa-delta e estrutura da torre com madeiras roliças contraventadas em X.

Elementos Estruturais: Madeira Roliça de Eucalipto Citriodora

Diâmetros médios: variados

Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.

Fornecedor da madeira: TRAMASUL

Dados: coletados pelo autor, via e-mail em abril de 2010.



Maquete eletrônica:
Vista aérea do aeroporto.



Maquete eletrônica:
Vista aérea do terminal.
Fachada Frontal do aeroporto.



Maquete eletrônica: Vista da fachada principal de acesso às aeronaves e da estrutura da torre com peça roliça de madeira.



Maquete eletrônica.
Projeto da torre com peças
roliças de madeira,
contraventada em X nas duas
direções.



Etapa final da construção.



Primeira fase da obra concluída: Vista Geral da fachada.



Terminal tipo quiosque.



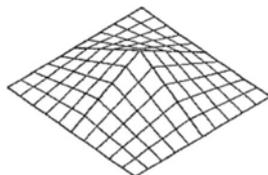
O novo terminal de
passageiros com a arquitetura
projetada considerando a
integração com a natureza,
contempla com lojas
comerciais e restaurante.



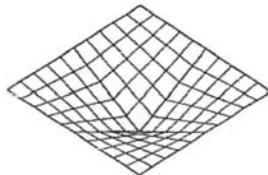
Sistema estrutural viga-coluna
dupla inclinada.



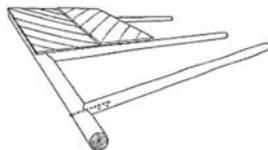
Conector com barra de aço e pino metálico galvanizado (Dowel-nut), utilizados nas ligações viga-coluna.



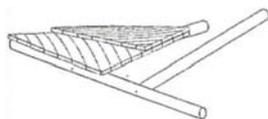
Parabólica hiperbólica concava.



Parabólica hiperbólica convexa.



Costelas de peixe (ou nervuras) internas, de madeira roliça com duas camadas de cruzamentos de tábuas.



Costelas de peixe (ou nervuras) em madeira roliça c/ camadas de tábuas dispostas na diagonal.

Desenhos de estruturas de parabolóides hiperbólicas, com madeira roliça de reflorestamento de pequeno diâmetro.

Fonte: Natterer (1998).

TORRE DO LAMEM



Localização: LaMEM, EESC, USP, São Carlos, SP.

Utilização: edificação de torre, para proteção do silo

Projeto: Arq. Priscila Maria P. Partel / Eng. Prof. Dr. Carlito Calil Júnior

Sistema estrutural: Torre composta por quatro colunas e vigas horizontais de contraventamento. Fechamento externo com peças de madeira roliça de pequeno diâmetro e interno com placas de OSB.

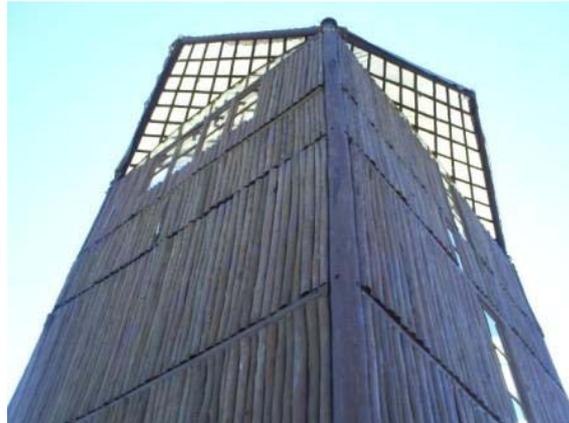
Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça de Eucalipto

Diâmetros médios: 20 cm a 30 cm

Ligações: Entalhes na madeira e fixação com barras de aço rosqueadas e pinos metálicos (dowel-nut) entre os elementos estruturais viga-coluna.

Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.

Dados: Base de dados LaMEM e com Prof. Dr. Carlito Calil Júnior



Vista de baixo para cima da torre. Fonte: Foto tirada pelo autor (2008).



Instalação da cobertura na torre.



Cobertura Parabolóide Hiperbólica. Montagem no chão.

Fonte: Base de Dados LaMEM; CALIL e MOLINA (2010).



Acesso para a carpintaria do LaMEM. Portão de entrada com peças de Madeira Roliça de Pinus, torneadas. Fonte: Foto tirada pelo autor (2008).



Fase de montagem da conexão central da cobertura. Tubo de aço, com esperas de chapas de aço inseridas internamente em corte na madeira e ligações com parafusos, arruelas e porcas.



Conexão central da cobertura, porém já sem a conuna de apoio para o processo de montagem.



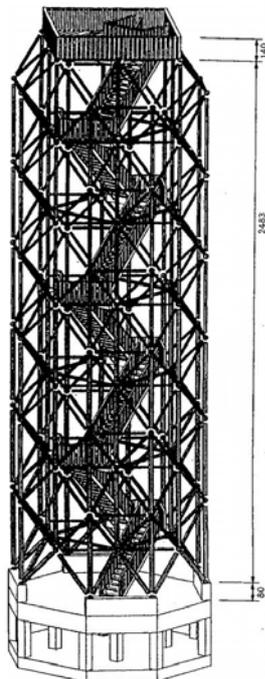
Conexões de canto da estrutura da cobertura.



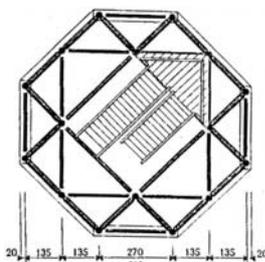
Instalação do revestimento textil da cobertura na torre.



Torre Apeldoorn.



Elevação da torre.



Planta da torre.

TORRE APELDOORN

 Localização: Holanda.

Utilização: edificação de torre de observação

Projeto: Huyber's et al apud Ranta-Maunus

Sistema estrutural: Treliça espacial (tridimensional)

A torre tem 27,0 metros de altura e 8,1 m x 8,1 m de largura.

Todas as conexões são especiais para Treliças espaciais, fixadas com parafusos $\Phi 16\text{mm}$ de alta resistência. Além disso, todas as conexões também contam com um sistema de amarração com arame galvanizado, que é incorporado para reduzir as eventuais fendas que podem ocorrer nas extremidades das peças. As dimensões das peças das treliças principais são 2,5 m e 3,6 m e os diâmetros das peças roliças variam entre 12, 15 e 20 cm.

Elementos Estruturais: Madeira Roliça de Pequeno Diâmetro.

Dimensões das peças:

a. diagonal inclinada $\Phi 200$; b. diagonal inclinada $\Phi 150$;

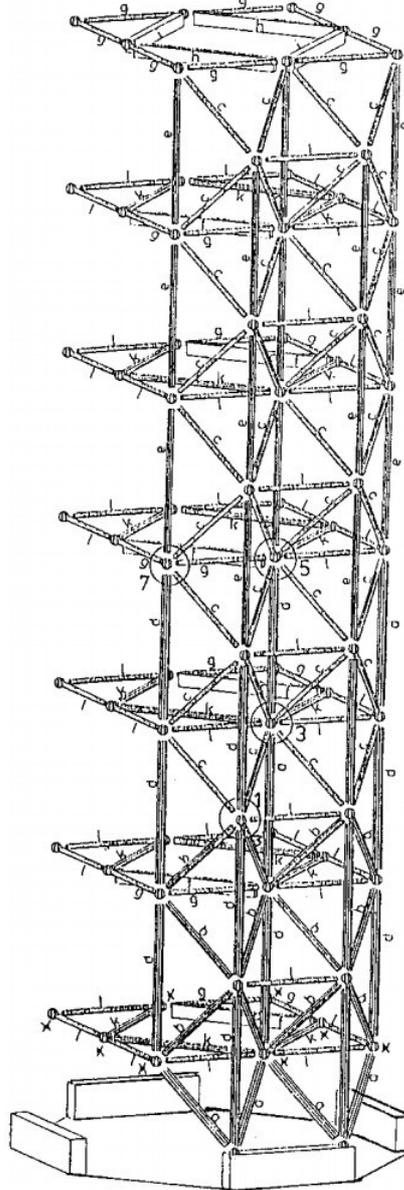
c. diagonal inclinada $\Phi 120$; d. vertical $\Phi 200$; e. vertical $\Phi 150$;

f. suporte da escada 120x350;

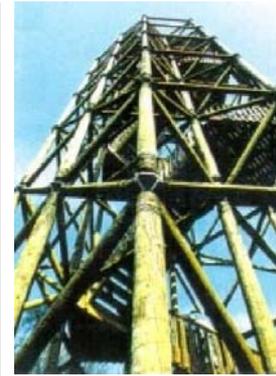
g. suporte da base 100x165;

h. suporte da plataforma 150x350; i. plataforma 112x250;

k. diagonal horizontal $\Phi 150$; l. horizontal $\Phi 120$.



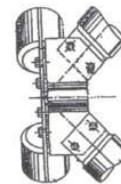
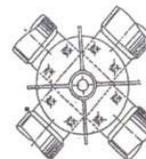
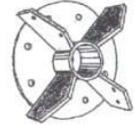
Detalhes do projeto estrutural da Torre Apeldoorn.
Fonte: Huyber's et al apud Ranta-Maunus (1999).



Peças Roliças de Pequeno Diâmetro.



Conexão Especial para a Treliça Espacial.

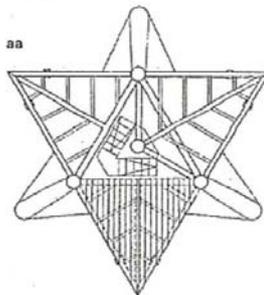
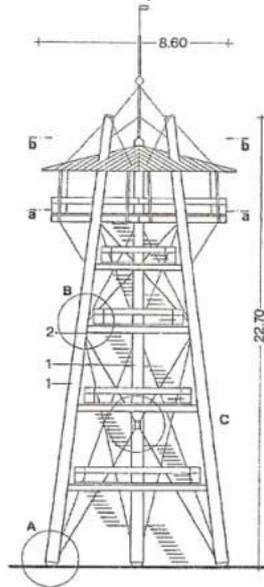


Detalhes da conexão especial para a treliça espacial.

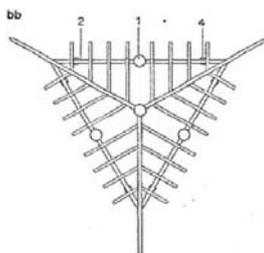


Detalhes da conexão da diagonal.

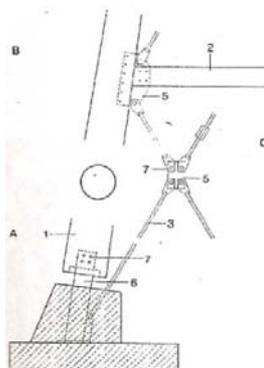
Detalhes do Projeto Estrutural



Estrutura do Patamar Principal



Estrutura da cobertura



- 1 COLUNAS DE MRR 65 À 50cm
- 2 VIGAS HORIZONTAIS 20x30cm
- 3 DIAGONAIS TENSIONADAS 42 À 27
- 4 DISPOSITIVO DE SUSPENSÃO 6x22
- 5 CHAPA METÁLICA 20 A 15mm
- 6 TUBO METÁLICO ϕ 267mm
- 7 PARAFUSOS 20 X 45

Fonte: NATTERER (1998)

TORRE DE SCHAUNSLAND

Localização: Fribourg, Dinamarca.

Utilização: edificação de torre de observação para ponto turístico

Projeto Arquitetônico: Hochbauamt - 1981

Projeto Estrutural: W. Hirzle

Sistema estrutural: Torre de triângulo equilátero de base, decrescente em direção ao alto. Plataforma triangular panorâmica. Quatro Colunas de Madeira Rolíça, sendo que as três das extremidades são inclinadas em forma de tripé. Contraventamentos com vigas de madeira serrada, horizontais resistentes à compressão e a tração e diagonais com cabos de aço resistentes à tração, para estabilizar a torre. Parte da carga da escada é absorvida pela coluna de madeira roliça central.

Elementos Estruturais: Peças de Madeira Rolíça Douglas-fir impregnados em autoclave.

Ligações: Todas as conexões foram realizadas com de chapas de aço e parafusos galvanizados.



Vista da Torre de Schauinsland.



Ligações de Vigas Horizontais com a coluna.

Fonte: www.flickr.com/photos/tillwe/219004928



Vista inferior do patamar Principal.



Coluna central que suporta parte do carga da escada.



Colunas nas placas de base e nos blocos de fundações.



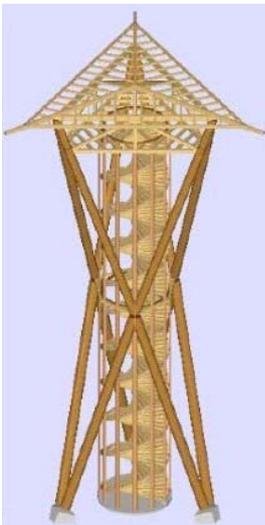
Detalhe do bloco de fundação com fixação da placa de base da coluna

Detalhes do Projeto Estrutural

TORRE WIL



Estrutura: Perspectiva



Estrutura: maquete eletrônica



Montagem da estrutura da escada central em espiral.



Formas dos blocos das fundações e gabaritos da estrutura da escada central.



Localização: Hofberg, Wil, Suíça.

Utilização: edificação de torre de observação para ponto turístico
Projeto Estrutural: Bois Consult Natterer AS, Etoy

Ano de construção: 2006

Sistema estrutural: A torre com de 38 metros de altura, consiste em planos de triângulos com 12 m de largura por 17 metros de altura, dispostos de forma inversa, compondo sistemas estruturais em X. Internamente à estrutura da torre, as disposições de madeira serrada sobrepostas em forma de espiral, escoradas externamente nas colunas de peças roliças, compõem a estrutura da escada de acesso ao mirante.

Ligações: parafusos, elementos especiais de aço galvanizado, placas de base de aço galvanizado.

Fundações: Blocos de Concreto Armado



Vista da Torre Wil.



Montagem do sistema com conector metálico, unindo os vértices dos triângulos, na meia altura da torre.

Fonte: www.nattererbcn.com/web/turm_wil.htm



Vista inferior do Mirante.



Vista interna do Mirante.



Vista de Baixo para cima

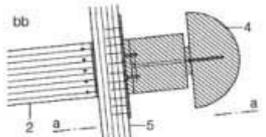
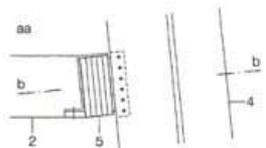
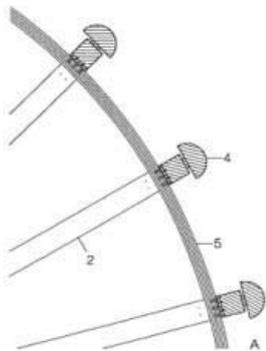
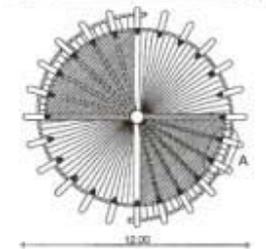
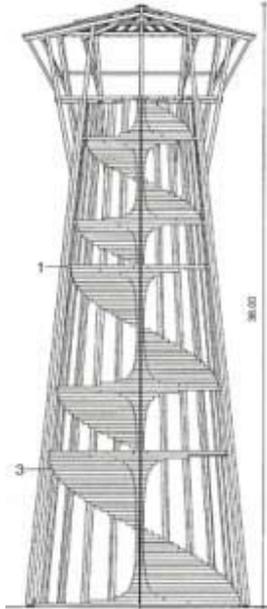


Fase final de construção.



Fase até a meia altura.

Detalhes do Projeto Estrutural



- 1 Plataforma intermediária
 - 2 Viga da plataforma 200x200cm
 - 3 Estrutura da escada com seção transversal de semicircunferência.
 - 4 Coluna de seção composta, por seção de semicircunferência com 350mm diâmetro associada com seção quadrada de 200x200 mm.
 - 5 Viga curva 100x200 mm
- Fonte: NATTERER (1998)

TORRE DE SAUVABELIN

 Localização: Lausanne, Suíça.

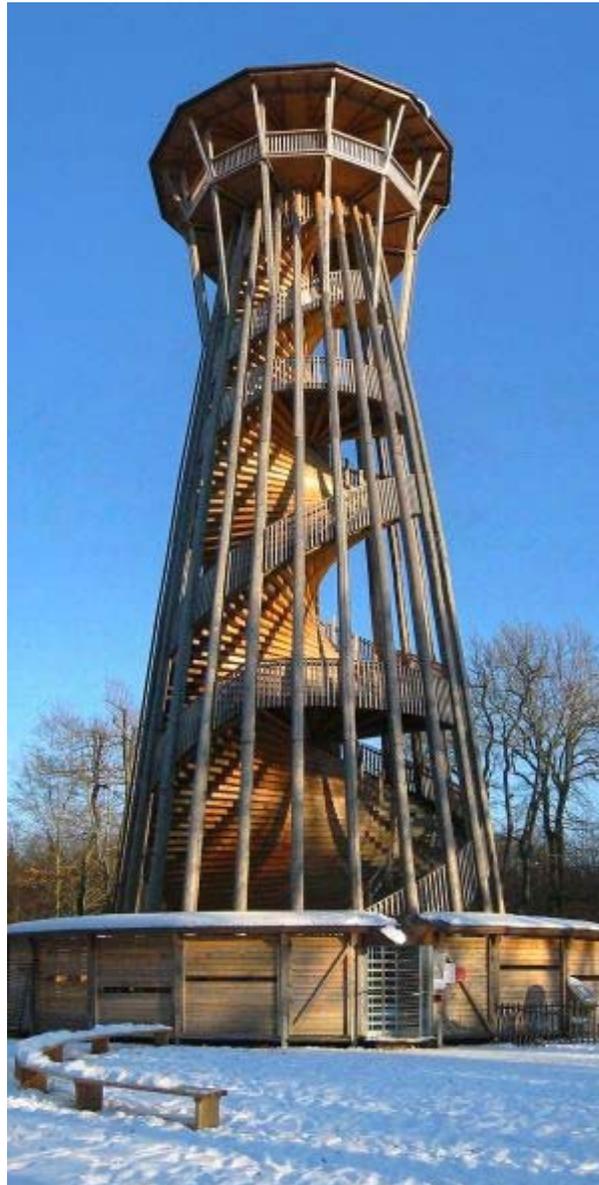
Utilização: edificação de torre de observação para ponto turístico

Projeto Arquitetônico: B. Bolli, R. Mohr, Lausanne, Suíça (2003)

Projeto Estrutural: Natterer Bois Consult, Etoy, Suíça

Sistema estrutural: Torre com altura total de 36 metros. A Plataforma de observação está localizada na cota de 30. Existem plataformas intermediárias nas cotas de 9 m e 20 m. Os diâmetros destas plataformas circulares variam de 12 m na base para 6 m abaixo da plataforma principal do topo. Organizado regularmente ao redor da circunferência estão dispostas 24 colunas de seção composta por seção de semicircunferência com 350mm diâmetro associada com seção quadrada, que formam os apoios externos da estrutura da escada em forma de hélice, com duas rotas completamente independentes para o topo.

Ligações: parafusos chapas de aço galvanizado



Vista da Torre de Sauvabelin Lausanne.



Fontes: Julius Natterer. Timber Construction Manual
www.nattererbcn.com/web/sauvabelin.htm



Vista de cima para baixo.



Vista inferior da plataforma.



Vista de Baixo para cima

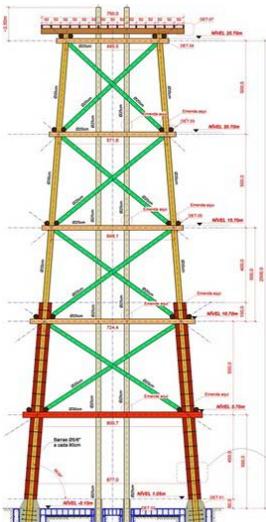


Fase final de montagem da estrutura da escadaria em espiral.

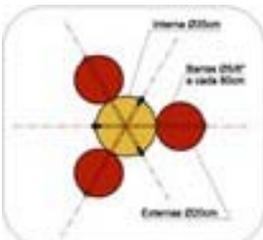


Fase inicial de montagem da estrutura da escadaria em espiral, fixadas nas colunas externas da torre.

TORRE IGARATÁ



Elevação da torre.



Colunas com seção composta, com quatro peças distribuídas em forma triangular, nos dois primeiros lances da torre.



Detalhe de uma das colunas com seção transversal composta.



Detalhe da conexão de transição, de uma das colunas de seção composta por quatro peças, para uma seção simples, com uma peça de madeira roliça.



Localização: Igaratá, SP.

Utilização: edificação de torre de observação da fazenda

Projeto Arquitetônico: Arq. Alfredo Kobbas

Projeto Estrutural: Eng. Civil Alan Dias

Ano de construção: 2009

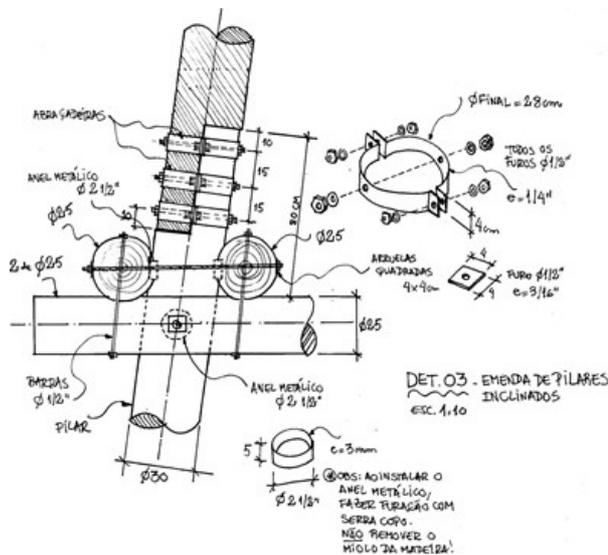
Sistema estrutural: A torre com 25 metros de altura, em forma de treliça com as colunas inclinadas, todas contraventadas com vigas inclinadas em forma de "X". No eixo central foi feita uma escada em espiral, travando todas as 4 colunas centrais. Foi considerado o estudo de ação de vento na estrutura e, como a base da torre não é contraventada, nesta região os trechos das colunas foram projetados com peças roliças de seção compostas, para absorverem os momentos fletores.

Ligações: barras de aço passantes, anéis metálicos, abraçadeiras de aço galvanizado, placas de base de aço galvanizado.

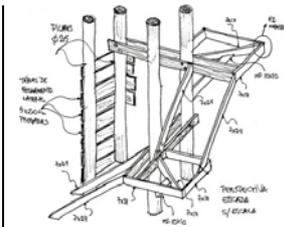
Fundações: Blocos de Concreto Armado, de 176x176x75 (cm), engastando parcialmente as colunas principais de madeira.



Vista da Torre. Sistemas de contraventamentos em X.



Detalhes das conexões e emendas das colunas com abraçadeiras metálicas. Fonte: www.estruturademadeira.blogspot.com



Perspectiva da estrutura da escada.



Vista do mirante.



Vista de cima para baixo.



Blocos de concreto armado de coroamento das estacas da fundação.

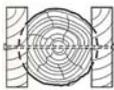
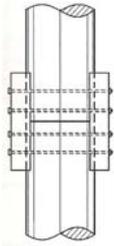


Vista de baixo para cima.

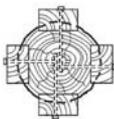
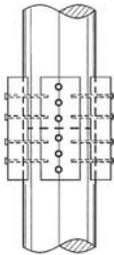


Vista geral da torre.

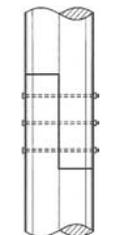
Emendas de topo de peças roliças de madeira comprimidas axialmente:



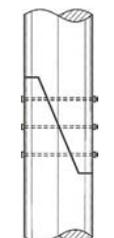
Emendas provisórias com duas talas laterais aparafusadas.



Emendas provisórias com quatro talas laterais pregadas.



Emenda por meio de corte vertical e com parafusos passantes, arruelas e porcas.

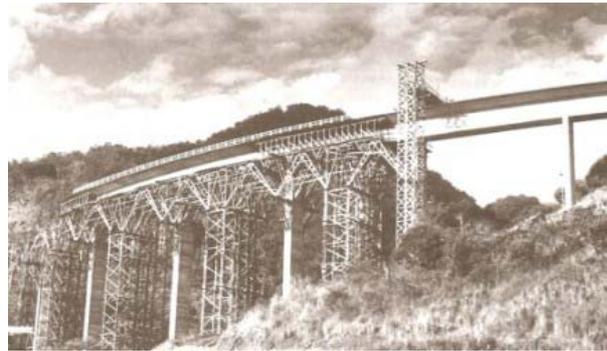


Emenda por meio de corte inclinado e com parafusos passantes, arruelas e porcas.

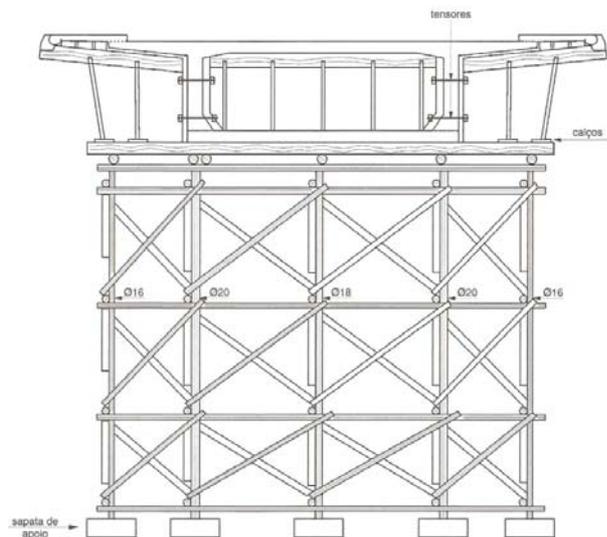
CIMBRAMENTOS DE FORMAS VIADUTO VALE DOS DIABOS



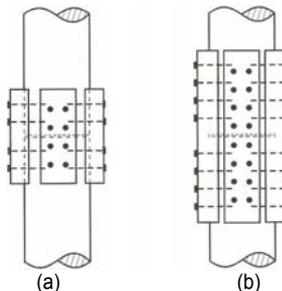
Localização: Viaduto sobre o Vale dos Diabos, BR-158/RS.
 Utilização: cimbramentos das formas de madeira do viaduto.
 Projeto Estrutural do Viaduto: Eng.º Walter Pfeil.
 Projeto da Estrutura do Escoramento: Eng.º Viktor Boehm.
 Execução: ESBEL, (1960).
 Sistema estrutural: torres treliçadas, com montantes contraventados nas duas direções.
 Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça e Madeira Serrada.
 Ligações: talas de madeira e fixação com pinos metálicos.



Escoramento em torres e mãos-francesas de madeira, para viaduto rodoviário em vigas contínuas de 30 m de vão. As torres mais altas do escoramento têm 40 m. As torres foram executadas com madeira roliça e as mãos-francesas com madeira serrada.



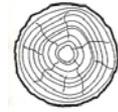
Detalhe do projeto da Estrutura do Escoramento. Esquema da seção transversal de um escoramento em montantes verticais de madeira roliça, contraventados nas direções transversal e longitudinal.



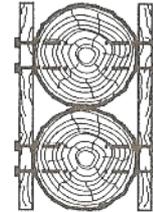
Emendas c/ talas em peças roliças, c/ apoio de topo entre as peças:
 (a) emenda situada junto a um nó de contraventamento;
 (b) emenda não adjacente a nó de contraventamento.

Fonte: PFEIL (2003).

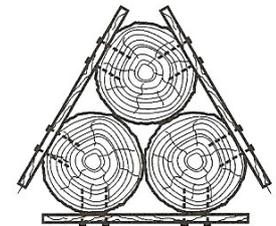
Seções transversais de peças roliças de madeira comprimidas:



Seção simples.

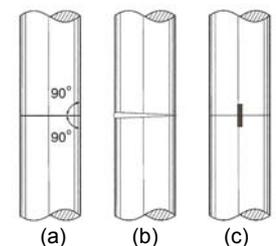


Seção composta por duas peças comprimidas.

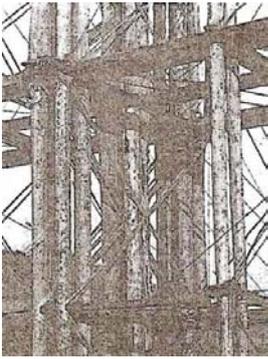


Seção composta por três peças comprimidas.

Em obras provisórias, como escoramentos de madeira roliça, pode-se dispensar o corte em esquadro, preenchendo-se a superfície de apoio com cunhas de madeira, ou com argamassa de cimento e areia. Porém há necessidade de fixar as peças emendadas, uma na outra. Em colunas sem perigo de flambagem, a fixação pode ser feita por um pino metálico, conforme a figura abaixo.



Emendas de peças de madeira roliça comprimidas axialmente:
 (a) corte em esquadro das seções em contato;
 (b) superfície de contato preenchida com argamassa;
 (c) fixação da emenda por meio de pino.



Cimbramentos do Viaduto Mülmisch Talbrücke.



Sistema estrutural composto por quatro lances de cimbramentos do Viaduto Mülmisch Talbrücke.



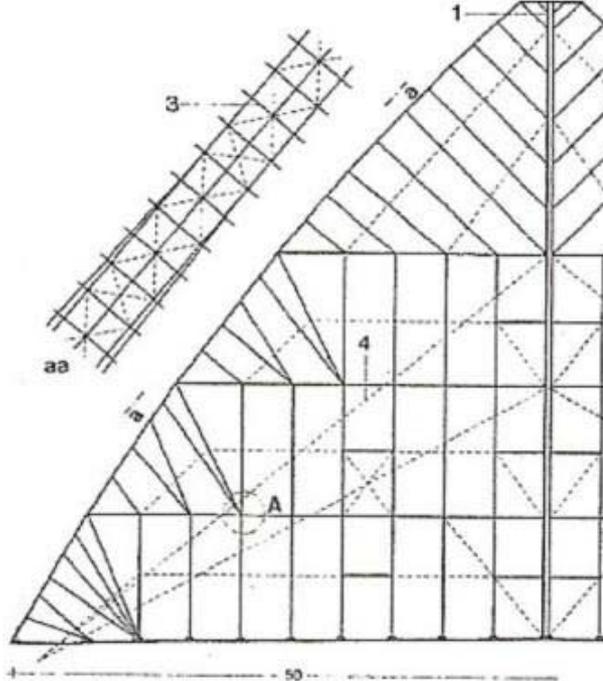
Cimbramentos do cume do Viaduto Mülmisch Talbrücke. Sistema estrutural com coluna central e diagonais tipo escama de peixe.



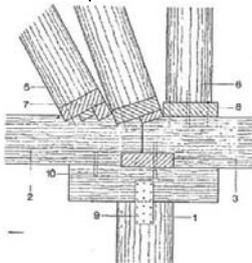
Viaduto ferroviário Mülmisch Talbrücke, concluído.

GIMBRAMENTOS DE FORMAS DO VIADUTO FERROVIÁRIO MÜLMISCH TALBRÜCKE

 Localização: Viaduto Mülmisch Talbrücke, Alemanha.
Utilização: cimbramentos das formas de madeira p/ o viaduto.
Projeto Arquitetônico: Bahnbauzentrale. Projektgruppe MBS, Francfort-sur-le-Main, (1985-1988).
Projeto Estrutural: Harries + Kinkel GmbH. Neu-Isenburg; Holzbau Rinn, Heuchelheim.
Sistema estrutural: cimbramentos de torres com montantes e diagonais contraventadas. O comprimento máximo do vão do viaduto é de 100 metros, por 60 metros de altura e 7 metros de largura.
Elementos Estruturais: Peças de Madeira Rolíça e Madeira Serrada.
Ligações: pinos metálicos, parafusos e chapas c/ dentes estampados.

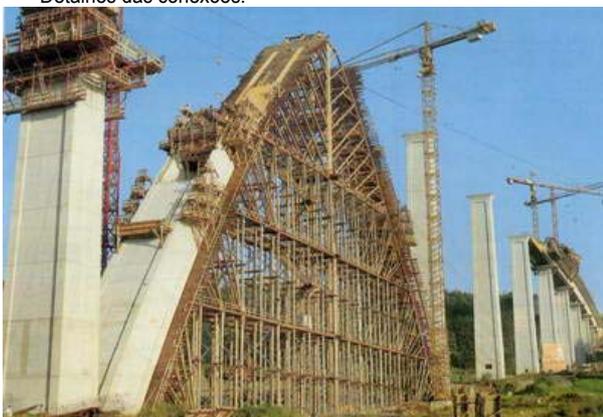


Esquema unifilar do sistema estrutural dos cimbramentos.



Detalhes das conexões.

1. Coluna: mad. roliça $\Phi 27-40$ cm.
2. Pranchões 26x36 cm
3. Travessa 8x28 cm
4. Tirante metálico 60/2 mm.
5. Diagonal: mad. roliça $\Phi 25$ cm
6. Montante: mad. roliça $\Phi 25$ cm
7. Diagonal: mad. roliça $\Phi 25$ cm
8. Parafuso 12x200 mm
9. chapa c/ dentes estampados.
10. Pino metálico.



Cimbramentos do pórtico do viaduto ferroviário Mülmisch Talbrücke.
Fonte: NATTERER (1998).

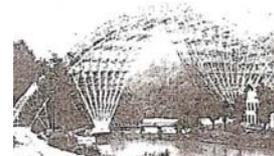
Tipos de torres de cimbramentos, por NATTERER (1998):



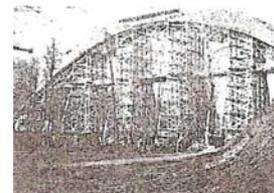
Cimbramentos com duas torres tipo leque, de ponte em arco sobre canions.



Cimbramento com uma torre tipo leque de ponte em arco.



Cimbramento com duas torres tipo leque de ponte em arco.



Torres de cimbramento.



Torre de cimbramento.



Conexão viga-coluna.

Resumo da instalação:

1. perfil metálico U enrijecido;
2. coluna de madeira;
3. ligação metálica viga-coluna;
4. madeira de acabamento;
5. vigas de madeira roliça fixadas c/ parafusos de 16 mm;
6. parafusos de posicionamento
7. conexão viga-coluna;
8. ajuste da conexão metálica;
9. viga de madeira roliça.



Defensa instalada em margem de encosta.



Defensa instalada em margem de encosta com curva perigosa.



Defensa instalada em margem próxima à encosta de litoral.



Defensa instalada em margem de curva perigosa.



Defensa e guarda-corpo instalada em ponte.

Fonte: www.tertu.com

DEFENSA PARA RODOVIAS E ESTACIONAMENTOS

Localização: França e Países Baixos.

Utilização: proteção de veículos instalada nas margens das rodovias, principalmente nas curvas e em locais de situação de risco de queda.

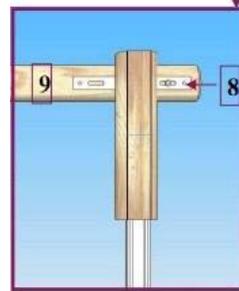
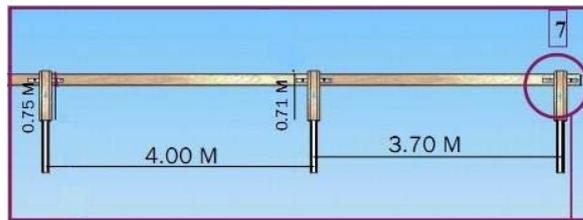
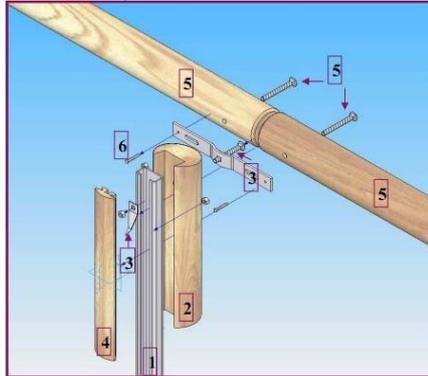
Projeto e execução: Tertu Equipements Routiers (www.tertu.com).

Sistema estrutural: viga-coluna com carregamento horizontal.

Elementos Estruturais: Peças roliças de Madeira de Reflorestamento Diâmetros médios: 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 28, 30, 35 (cm).

Dimensões: comprimento aprox. de 4 metros; altura de 75 cm.

Ligações: Chapas metálicas galvanizadas internas, barras de aço rosqueadas, arruelas e porcas.



Detalhes construtivos da estrutura de defesa.

BARREIRAS ACÚSTICAS

Localização: França e Países Baixos.

Utilização: barreiras acústicas, instaladas às margens das rodovias.

Projeto e execução: Tertu Equipements Routiers (www.tertu.com).

Sistema estrutural: colunas engastadas na base.

Elementos Estruturais: Peças roliças de Madeira de Reflorestamento



Muro de barreira acústica, c/ colunas de madeira roliça engastadas no solo. Peças inclinadas de madeira roliça para dar rigidez às paredes.



Defensa instalada em estacionamento.



Proteções em calçadas.



Cancelas para portarias de estacionamentos.



Muros residências c/ madeira roliça de pequeno diâmetro.



Projeto de barreira acústica.



Barreira acústica em distrito industrial.



Barreira acústica com peças de madeira roliça de pequeno diâmetro.

Fonte: www.tertu.com

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALLA, Anna Cristina Pacheco Ballassini (2002). Utilização de Madeira de Eucalipto em Estruturas de Pontes. Piracicaba, 108 pg. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

ABNT (1980) – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6231 - Poste de madeira - Resistência à flexão. RJ.

ABNT (1973) – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6232 - Poste de madeira - Penetração e retenção de preservativo. RJ.

ABNT (1997) – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7190 - Projeto de estruturas de madeira. RJ.

ABNT (1984) – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8456 - Postes de eucalipto preservado para redes de distribuição de energia elétrica – Especificação. RJ.

ABNT (1984) – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8457 - Postes de eucalipto preservado para redes de distribuição de energia elétrica – Padronização. RJ.

ABRAF (2009) – Associação Brasileira de produtores de Florestas Plantadas. Anuário estatístico da ABRAF 2009, ano base de 2008. Disponível em: <http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF09-Errata_BR.pdf>. Acesso em 18 de março de 2010.

AFLALO, Roberto; CROCE, Plínio; Gasperini, Gian Carlo (2009). Hotel Club Med Trancoso. Disponível em: <http://www.aflaloegasperini.com.br/projeto_detalhe.php?id=158>. Acesso em 17 dezembro de 2009.

AL-KHATTAT, I. (2002). Small Diameter Timber: The Ultimate Engineering Solution. Iowa City, American Institute of Sustainable Science, p.245-247, 2002.

AL-KHATTAT, Ph.D., MIMechE, Ibrahim (2008). SustainableScience.org Inc., Iowa, USA Light Prestressed Segmented Arch (LPSA) Bridges: A Demonstration of Sustainable Engineering. Disponível em: <www.sustainable-science.org/SEIfeb08.pdf>. Acesso em 18 de setembro de 2009.

ALTABBA, Bashar. (2000). Re-creating the Rainbow Bridge. Civil Engineering Magazine, p 32-37. May 2000.

ALTOÉ, Emanuella Sossai (2009). Diretrizes Projetuais para Edificações Unifamiliares em Toras de Eucalipto no Espírito Santo. Vitória. 149 pg. Dissertação de Mestrado. Programa de pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Espírito Santo. PPGEC/UFES.

A Natural Revolution. Disponível em: <[www.faro-architecten.nl/download/KLM% 20holland %20herald.pdf](http://www.faro-architecten.nl/download/KLM%20holland%20herald.pdf)>. Acesso em 18 de setembro de 2009.

ANTONI R. W.; BODIG J. (1991): Applications of Stress Wave - Based Nondestructive Evaluation to wood. In: International Timber Engineering Conference. Anais. London 2-5 Set. v. 2.

ANTONI R. W.; BODIG J. (1996) Strength of wood poles. In: WORLD CONFERENCE IN TIMBER ENGINEERING -WCTE. New Orleans, USA. v.1, p. 1-436.

AMÁ, V. (2009). Chalé contemporâneo. Casa & Construção, editora Escala, edição número 41, p.60-67, São Paulo, janeiro de 2009.

ARRUDA, R.P.(1); DEDAVID, B.A.(2); PIRES M.(3); VIDOR, F.L.R.(4) (2006). 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Novembro de 2006, Foz do Iguaçu, PR, Brasil. Estudo sobre a caracterização de postes de madeira utilizados em linhas de transmissão de energia através de ensaios de flexão e compressão. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais PGETEMA-PUCRS (2006).

ASTM D198-97. Standard Test Methods of Static Tests of Lumber in Structural Sizes.

BAKHT,B.; JAEGER,L. (1992). Simplified Methods of Bridge Analysis for the Third Edition of OHBDC. Canadian Journal of Civil Engineering. V19, n3. P 551-559. Jun.

BALLARIN,A.W. ; LARA PALMA,F.H. Propriedades de Resistência e Rigidez da Madeira Juvenil e Adulta de Pinus Taeda L. Viçosa-MG, v.27, n.3, p.371-380, 2003. Disponível em: <<http://www.redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/488/48827314.pdf>>. Acesso em 18 de setembro de 2009.

BEAUDETTE CONSULTING ENGINEERS INC. Designing with small-diameter logs. Disponível em: <<http://www.roundwoodproject.org/index.html>>. Acesso em 10 de dezembro de 2008.

BEAUDETTE CONSULTING ENGINEERS INC. Designing with small-diameter logs. Missoula, Montana 59802. Disponível em: <www.forestprod.org/smallwood04haroldson.pdf>. Acessado em 11 de setembro de 2009.

BRAZOLIN, S.; LANA, L.E.; MONTEIRO, M.B.B; LOPEZ, G.A.C e PLETZ, E. (2004). Preservação de madeiras – sistema de classe de risco. Revista Madeira: arquitetura e engenharia, ano 5, nº 13. Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto Brasileiro de Madeira e das Estruturas, São Carlos, SP. CD-Rom, maio/agosto.

BRITO, Leandro Dussarrat (2010). Recomendações para o Projeto e Construção de Estruturas com Peças Roliças de Madeira de Reflorestamento. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

BRUAND, Y. (1991) Arquitetura Contemporânea no Brasil. Ed. Perspectiva 2ªed. São Paulo, SP. 398p.

CALLIA ESTRUTURAS DE MADEIRA. Disponível em: <<http://www.callia.com.br/projeto.php?prj=40>>. Acesso em 17 de dezembro de 2009.

CALIL, C. Jr. (1994). Treliças de Madeira para Coberturas. Notas de Aula. (Departamento de Estruturas) Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 79p.

CALIL, C. Jr.. Timber bridges in South America (1996). FPL-GTR-94. National conference on wood transportation structures. USDA, Forest Service, Forest Products Lab. Disponível em: <<http://www.woodcenter.org/pubs/pubsbyyr.cfm/calil96a.pdf>>(2.6 MB). Acesso em 31 de janeiro de 2010.

CALIL, C. Jr., (2001). Fôrmas de madeira para concreto armado. Notas de Aula SET 613. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2001.

CALIL, C. Jr.; ROCCO LAHR, F.A.; DIAS, A.A. (2003). Dimensionamento de Elementos Estruturais de Madeira. Barueri-S.P., editora Manole.

CALIL, C. Jr.; GÓES, J. L. N. (2005). Programa Emergencial das Pontes de Madeira para o Estado de São Paulo. Publicação: Pesquisa e Tecnologia. Minerva.

CALIL, C. Jr.; et al (2006). Manual de projeto e construção de pontes de madeira. São Carlos: Suprema, 2006. 252p. ISBN: 85-98156-19-1.

CALIL, C. Jr. (2007). Madeira Roliça Tratada em Sistemas Construtivos. Banco de Dados do Laboratório de Madeira e Estruturas de Madeira, Departamento Engenharia de Estruturas. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, SP.

CALIL, C. Jr.; ROCCO LAHR, F.A.; DIAS, A.A. (2009). Sistemas Estruturais II. Estruturas de Madeira. Notas de Aula SET 177. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos.

CALIL, C. Jr.; MOLINA, J. C. (2010). Cobertura em estruturas de madeira. Exemplo de cálculo. Editora PINI.

CAMPOS, Janaina Anadia Ortiz de (2002). Método para Avaliação da Durabilidade e da Reabilitação da Madeira de Estruturas em Serviço, 99 folhas. Dissertação de Mestrado em Ciência e Engenharia de materiais. Programa de Pós-graduação na área da interunidades. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

CARREIRA, Marcelo R. (2003) Critérios para Classificação Visual de Peças Estruturais de Pinus. São Carlos, SP. 179 pg. Dissertação (Mestrado). – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

CARVALHO, Rafael Rodrigues Bittencourt de; OLIVEIRA, Artur Mendes de; SILVA, Guilherme Pereira da; (2007). Park Hotel: o regionalismo crítico de Lúcio Costa e o desafio da rearquitetura em obras modernas. Anais do 7º seminário do.co.mo.mo_Brasil. Porto Alegre, 22 a 24 de outubro de 2007.

CHISTÓFORO, André Luis (2007). Influência das Irregularidades da Forma em Peças de Madeira na Determinação do Módulo de Elasticidade Longitudinal (Doutorado). – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

COSTA, André (2008). Acervo técnico do Arquiteto, Campo Grande, MS. Disponível em: <http://www.flickr.com/photos/andre_costa>. Acesso em 20 de abril de 2009.

COSTA, Lucio (1962). Sobre arquitetura. 1º Volume. Porto Alegre: Centro dos estudantes universitários de arquitetura, 1962, pg. 43.

COSTA, Lucio (1995). Registro de uma vivência. São Paulo: Empresa das Artes, 1995.

CHRISTOFORO, A. L. (2007). Influência das Irregularidades da forma em peças de madeira na determinação do módulo de elasticidade longitudinal. Tese de Doutorado. - Escola de Engenharia de São Carlos Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

CRUZEIRO, E. de C.; MARTINS, E. C. ; MURATORE, J. R. (1995) Park Hotel - Um exemplo de Arquitetura em Macieira há 50 anos. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE MADEIRAS E DAS ESTRUTURAS DE MADEIRA. Anais. V, Belo Horizonte, EEUFMG/ CEFET- MG/ IBRAMEM. vi, p261.

DIAS, A. A.; OLIVEIRA, M. A. M. Caderno de Engenharia de Estruturas. São Carlos, v. 7, n. 26, 2005.

EUROCODE 5 (1995). Design of timber structures. Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings. Part 1-2: General – Structural fire design; Part 2: Bridges.

FALLER, R.; Hascall, J.; Kretschmann, D.E.; Nelson, T.; Reid, J.; Rohde, J.; Shilts, D.; Sicking, D. (2007). Investigating the Use of Small-Diameter Softwood as Guardrail Posts: Static Test Results. United States Department of Agriculture (USDA), Forest Products Laboratory, Research Note FPL—RP—640.

FAIR-CT95-0091. Round Small Diameter Timber for Constructions. Disponível em: <<http://www.biomatnet.org/secure/Fair/S498.htm>>. Acesso em 18 de setembro de 2009.

FIGUEIREDO, Eduardo; MADUEÑO, Fábio; VENTURA, Ronald. A estrutura é de madeira? Fique atento!. Casa & Construção, editora Escala, edição número 41, p.68-69, São Paulo, janeiro de 2009.

FUCHS, R. D. ; ALMEIDA, M. T. (1982). Projetos Mecânicos das Linhas Aéreas de Transmissão. São Paulo, Edgard Blücher. EFEI. Itajubá. 360p.

GANG-NAIL do Brasil. Conectores anti-racha GN-18. Disponível em: <http://www.gangnail.com.br/gn_18.php>. Acesso em 11 de setembro de 2009.

GANG-NAIL do Brasil. G-NIAL. Conectores para madeira roliça G-NIAL. Disponível em: <http://www.gangnail.com.br/conectores_g_nial.php>. Acesso em 11 de setembro de 2009.

GARCIA José (1986). Torre de Vigia Florestal. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.

HABITATIONSE (2007). Round Wood Structure Housing, 2007.

HELLMEISTER, J. (1978). São Carlos, 85p. Pontes de eucalipto Citriodora. Tese (Livre docência). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1978.

HELLMEISTER, J. (1983). Pontes de eucalipto Citriodora . In: ENCONTRO BRASILEIRO DE MADEIRAS E DAS ESTRUTURAS DE MADEIRA EBRAMEM, 1. v.5,.Anais, São Carlos.

HOLZ. A. (1995). Timber Engineering. Step Eurofortech — EU Comett Programme . v. 2. 1ªed. Centrum Hout. Netherlands. Roundwood structures, E19.

HURST, H. T. (1991). Countinuouns Wood Joists in Composit Action with Concrete and Steel. In: International Timber Engineering Conference 2-5 set. Anais. vol. III. Trada.

HUYBERS, P. (1991) Building Structures of Timber Poles, Connected With Steel Wire Lacings. v. 2 In: International Timber Engineering Conference. London 2-5 set. ed. Trada.

HOYLE JR., H (1972). Wood technology in the design of structures. 3.ed. Missoula, Montana, Moutain Press. 1972. 370p.

INO, A. (1992) Sistema Estrutural Modular em Eucalipto Roliço para Habitação. 212p. Tese de Doutorado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

INO, Akemi (1997). Princípios básicos para garantir a durabilidade de uma construção em madeira. In: WORKSHOP DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES, 1997, São Leopoldo. Anais, Rio Grande do Sul, p. 1-8.

JANKOWSKI, I. P; (2002). *Defeitos na Secagem de Madeiras*. LCF/ESALQ/USP. Piracicaba, 2002. Disponível em: <<http://www.ipef.br/tecprodutos/defsecagem.asp>>. Acesso 18 setembro de 2009.

KARLSEN, G. G.; BOLSHAKOV, V.V.; KAGAN,M.Y.; SVENTSITSKY,G.V.; ALEKSANDROVSKY, K.V.; BOCHKARYOV,I.V.; FOLOMIN, A.I. (1967). *Wooden Structures*. Mir Publishers. Moscou, 1967.

KUPFER, C. (1955). *Pratique du coffrage en bois et du ferrailage*. Trad. Par T. Holca. Paris, Eyrolles, 1955. V.II, Le coffrage des parois des murs, dalles et escaliers. 126p.

KUILEN, W.G. (1995). *Timber Engineering*. Step Eurofortech — EU Comett Programme . v 2. 1°ed. Centrum Hout. Netherlands. Timber piles, E18.

LEONHARDT, F. (1982). *Bridges Aesthetics and Design*. The Architectural Press Ltd. Londres.

LIGNUM. Z. (1995). *Timber Engineering*. Step Eurofortech — EU Comett Programme . v 2. 1°ed. Centrum Hout. Netherlands. Timber bridges, E17.

LOGSDON, N. B. (1982) *Contribuição ao Estudo das Pontes de Madeira*. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

LUQUE, André (2009). *Aposte na madeira legal!* . Arquitetura & Construção, editora Abril, edição número 266, p.73, São Paulo, junho de 2009.

MAGAZINE, CIVIL ENGINEERING (2000). *Re-creating the Rainbow Bridge*, May (2000).

MAIA, R. CALIL, C. (1989). *O Eucalipto Citriodora Roliço como estrutura de Residência*. In: Encontro Brasileiro de Madeiras e das Estruturas de Madeira, EBRAMEM, III. v.5.Anais, São Carlos. P 101.

MATTHIESEN, J. A. (1987). *Contribuição ao Estudo das Pontes de Eucalipto Citriodora*. São Carlos, 220p. Tese. – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

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

MOLINA, J.C. (2009). Relatório final da caracterização dos eucaliptos. Projeto: Centro de Educação Ambiental (CEAM), Votorantin Metalurgia, Unidade Florestal.

MOURA, J. D. M. (1992). Determinantes para Elaboração do Projeto Arquitetônico em Madeira de Baixa Densidade. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE MADEIRAS E DAS ESTRUTURAS DE MADEIRA EBRAMEM, IV. v.2., Anais, São Carlos. pp195-204.

NAHUZ, M. A. R. (2002). Produtos de Pinus de maior valor agregado. Revista da Madeira, Curitiba, edição especial, p. 134-135, dezembro.

NATTERER, J. (1995). Construire en Bois. Press Polytechniques et Universitaires Romandes. Lausanne, Suisse.

NATTERER, J. (1998). Construire en Bois 2. Press Polytechniques et Universitaires Romandes. Lausanne, Suisse.

NAZAR, Nilton (2007). Fôrmas e escoramentos para edifícios. Critérios para dimensionamento e escolha do sistema. Editora Pini. São Paulo, 2007.

OBBERG, F. R. (1963). Heavy Timber Construction. American Technical Society. Chicago, American Technical society.

OLIVEIRA, M. A. M.; DIAS, A. A. ; *Caderno de Engenharia de Estruturas*. São Carlos, v. 7, n. 26, p.33-64, 2005. cee26_33. Disponível em: <http://www.set.eesc.usp.br/cadernos/artigos_det.php?id=144>. Acesso em 18 de setembro de 2009.

Park Hotel São Clemente, Nova Friburgo, RJ. Disponível em: <<http://www.arcoweb.com.br/debate/debate28.asp>>. Acesso em 10 de dezembro de 2008.

Park Hotel São Clemente, Nova Friburgo, RJ. Disponível em: <<http://www.arcoweb.com.br/arquitetura/arquitetura237.asp>>. Acesso em 10 de dezembro de 2008.

PARTEL, Priscila M.P. (1999). Sistemas Estruturais e Construtivos Utilizando Madeira Roliça de Reflorestamento. São Carlos. 180 pg. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

Pesquisas fortalecem benefícios do Eucalyptus. Disponível em: <http://www.reflore.com.br/exibe.php?id=287&cod_editorial=2&url_back=&pag=0&busca>. Acesso em 15 de dezembro de 2009.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michele (2003). Estruturas de Madeira, Sexta Edição. Rio de Janeiro, LTC Editora, 2003.

PINHEIRO, R. V. (2001). Influência da preservação contra a demanda biológica nas propriedades de resistência e de elasticidade da madeira. São Carlos, 2001. 162p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

PLETZ, Everaldo (2003). PASSARELA ESTAIADA COM TABULEIRO DE MADEIRA LAMINADA PROTENDIDA EM MÓDULOS CURVOS. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

PRATA, D. O. (1995) Pontes Protendidas de Madeira. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.

RANTA-MAUNUS, A. (1999). Round small-diameter Timber for Construction. Final Report of Project FAIR CT95-0091. Espoo 1999, Technical Research Centre of Finland, VTT Publications P 383.

REVISTA DA MADEIRA (2001). Madeira de Eucalipto na construção civil. Curitiba, edição especial, p. 100-102, setembro.

REVISTA DA MADEIRA (2007). Edição N°107. Setembro de 2007. Pesquisas fortalecem benefícios do Eucalyptus. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1138&subject=Meio%20Ambiente&title=Pesquisas%20fortalecem%20benefícios%20do%20Eucalyptus>. Acesso em 15 de dezembro de 2009.

RITTER, M. A. Timber bridges. Madison, Forest Products Laboratory — Forest Service, 1990.

ROUNDTEC. Tommi Laine Trading, Finland, Slidetec/Roundtec. Disponível em: <<http://www.slidetec.fi/eng/tuotteet/roundtec.html>>, acesso em 07 de julho de 2009.

SCHMIDT, Matthew J. (2009). Featured Article: A Change of View. Craig Thomas Discovery and Visitor Center. Grand Teton National Park Foundation. Structure magazine, January, 2009. Disponível em: <<http://www.structuremag.org/article.aspx?articleID=837>>. Acesso em 25 de dezembro de 2009.

SAGOT, G. (1995). Timber Engineering. Step Eurofortech — EU Comett Programme . v 1. 1ºed. Centrum Hout. Netherlands. Detiling for durability, E14/7.

SOLLI, K.H. (1995). Timber Engineering. Step Eurofortech — EU Comett Programme . v 2. 1ºed. Centrum Hout. Netherlands. Structures for transmission systems, E24/5.

SOUZA, H. R. de (1996). Estudo das coberturas dos hotéis de selva do Estado do Amazonas”. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo.

STAMATO, Guilherme Corrêa (2002). Ligações em estruturas de madeira compostas por chapas de madeira compensada. Tese de doutorado, apresentada na Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Tertu France Douglas Glissières Sécurité. Disponível em: <<http://www.tertu.com/france/index.html>>. Acesso em 8 de março de 2010.

Timber Engineering STEP 1 (1995). Basis of design, material properties, structural components and joints. First Edition, Centrum Hout, The Netherlands.

Timber Engineering STEP 2 (1995). Design – Details and structural systems. First Edition, Centrum Hout, The Netherlands.

TIMOSHENKO S. P.; YOUNG, D. H. (1968). Statically determinate Space Structures. In: Theory of Structures. 2ªed Tokyo, Mc. Graw HILL International Book. 629p.

The Round Wood Project - Overview, info and comments on Project by partners. Happy Camp Art Center Roundwood Utilization Project Proposal. Disponível em: <<http://www.roundwoodproject.org/index.html>>. Acesso em 11 de setembro de 2009.

United States Department of Agriculture. Forest Service. Rocky Mountain Research Station. Proceedings RMRS-P-22, September 2001. Ponderosa Pine Ecosystems Restoration and

Conservation: Steps Toward Stewardship. Disponível em: <http://www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs_p022.pdf>. Acesso em 18 de setembro de 2009.

WOLF, R. W. (2000). *Reserch Challenges for Structural use of Small-diameter Round Timber*, Forest Product Journal, vol. 50, no2, p.21-29, 2000.

WOLF, R. W. ; HERNANDEZ, R. (1999). *Trussed Assemblies from Small-Diameter Round Timber*, Madison, Forest Products Laboratory, p.251-255, 1999.

WOLF, R. W. ; KING, J. R. ; GJINOLLI, A. (2000). *Dowel-Nut Connection in Douglas-fir Peeler Cores*, Madison, Forest Products Laboratory, p.1-16, 2000.

WOLF, R. W (1999). *Wood Handbook*, Forest Product Laboratory, chapter 18, p.18/1-18/9. Disponível em: <<http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fplgtr113/ch18.pdf>>. Acesso em 18 setembro de 2009.

YOJO, T; FRANCO, N.; PONCE, R.H.; LEONE, M; SIMÕES, J. C. (1993). Projeto e Construção de uma Passarela de Madeira Tratada de Reflorestamento. In: ENCONTRO REGIONAL EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRA 1, Anais. São Paulo, Escola Politécnica. USP. L39-144p.

ZANGIÁCOMO, A. L. (2007). Estudo de elementos estruturais roliços de madeira. 142 pg. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

ZERBINO, Rodrigo (2007). Ligações Parafusadas em Peças Roliças de Madeira de Pequeno Diâmetro. Trabalho de conclusão de curso de graduação em Engenharia Civil, da Universidade de Londrina, orientado pelo Prof. Dr. Everaldo Pletz.

Carlito Calil Junior
Leandro Dussarrat Brito

Este livro é fruto da dissertação de mestrado do Engenheiro Civil MSc. Leandro Dussarrat Brito, desenvolvida no programa de Pós-graduação em Engenharia de Estruturas do Departamento de Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, sob orientação do Prof. Dr. Carlito Calil Junior, e financiado pela Montana Química S.A.. Nele são apresentadas as recomendações para o projeto e construção de estruturas com peças roliças de madeira de reflorestamento, com o objetivo de fornecer a estudantes e profissionais das áreas de Engenharia Civil e Arquitetura, os principais critérios de classificação e caracterização estrutural, com um banco de dados de propriedades de resistência e rigidez de peças roliças de eucalipto e de pinus. Também são apresentados os critérios de durabilidade e tratamento da madeira, diversas sugestões de ligações usuais entre os elementos estruturais e tipos de sistemas estruturais e construtivos, com exemplos de aplicação de coluna e viga e tabelas práticas de pré-dimensionamento de pontes em viga roliça, pontes em placa mista de madeira roliça e concreto armado, e galpões tipo pórtico rígido, indicando as diretrizes para projeto. No final são apresentadas várias fichas técnicas de projetos e obras construídas no Brasil e no exterior utilizando peças roliças como exemplos de projetos de arquitetura e de engenharia, com ênfase no potencial da utilização deste nobre material, seguro, durável, econômico e ambientalmente correto, como uma alternativa sustentável para a construção civil.

ISBN 978-85-8023-000-0



978-85-8023-000-0