
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
MESTRADO

ESTRUTURA DE MADEIRA PARA COBERTURA DE
AVIÁRIOS NO ESTADO DA PARAÍBA

DISSERTAÇÃO

MARLUCE ARAÚJO DE AZEVEDO

Campina Grande – Paraíba
Abril – 1999

MARLUCE ARAÚJO DE AZEVEDO

**ESTRUTURA DE MADEIRA PARA COBERTURA DE AVIÁRIOS NO ESTADO
DA PARAÍBA**

Dissertação apresentada ao curso de pós-graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento às exigências para obtenção do Grau de Mestre.

Área de Concentração: Construções Rurais

Orientador: Prof. Dr. José Wallace Barbosa do Nascimento

Campina Grande – PB

1999

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central - UFPB

694.1(1-22) AZEVEDO, Marluce A.
A994e Estrutura de madeira para cobertura de aviários
no Estado da Paraíba/ Marluce Araújo de Azevedo.
Campina Grande, UFPB, 1999.
91p: il.

Dissertação (Mestrado) - UFPB - Departamento de
Engenharia Agrícola

1. Construções Rurais - Estrutura de Madeira
2. Construções Rurais - Cobertura
3. Construções Rurais - Aviários



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
COPEAG - PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

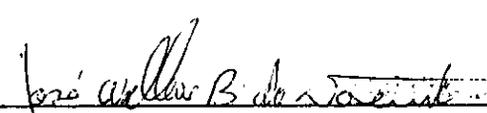
PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DA MESTRANDA

MARLUCE ARAÚJO DE AZEVEDO

Título: "Estrutura de Madeira para Cobertura de Aviários no Estado da Paraíba".

COMISSÃO EXAMINADORA

PARECER


Dr. José Wallace B. do Nascimento-Orientador

APROVADO


Dr. Antônio Alves Dias-Examinador

APROVADO


Dr. Normando Perazzo Barbosa-Examinador

APROVADO

Campina Grande, 30 de abril de 1999

DEDICATÓRIA

Ao meu esposo Nilson.

Aos meus filhos Mayara, Nayfson e Rienzy.

Aos meus pais Gilberto e Beatriz.

AGRADECIMENTOS

A Jesus Cristo, pela vida;

Ao Professor Dr. José Wallace Barbosa do Nascimento, pela orientação, concessão de material bibliográfico e amizade;

Ao Professor Dr. Carlito Calil Júnior, pelas sugestões e colaboração;

Ao Engenheiro Ricardo Nóbrega Pedrosa, pela execução dos desenhos no Programa AutoCAD e colaboração na apresentação do trabalho;

Aos colegas professores e funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola;

Ao Professor Dr. Francisco de Assis Santos e Silva, pela concessão do software ASSISTAT;

Ao IPT - São Paulo, pela identificação das madeiras;

Ao Laboratório de Modelos Reduzidos, Departamento de Desenho Industrial, UFPB, pela confecção dos corpos-de-prova;

Ao Laboratório de Solos I, Departamento de Engenharia Civil, UFPB, pela execução dos ensaios de compressão paralela às fibras de madeira;

Ao Laboratório de Irrigação e Salinidade, Departamento de Engenharia Agrícola, UFPB, pela concessão de equipamentos para realização de ensaios.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	ii
LISTA DE QUADROS	iii
LISTA DE SÍMBOLOS	iv
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
1 INTRODUÇÃO	01
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	04
2.1 Globalização versus Sistema de Produção.....	05
2.2 Emprego Racional da Madeira.....	05
2.3 Propriedades da Madeira.....	06
2.3.1 Padronização das Propriedades da Madeira.....	08
2.4 Aspectos Gerais de Durabilidade.....	08
2.4.1 Fungos.....	09
2.4.2 Térmitas ou Cupins.....	09
2.4.3 Outros insetos da Madeira Seca.....	10
2.4.4 Brocas Marinhas.....	10
2.5 Classificação da Madeira.....	10
2.5.1 Classificação das Peças.....	12
2.6 Estruturas de Madeira nas Coberturas.....	12
2.7 Sistemas Construtivos.....	13
3 MATERIAL E MÉTODOS	15
3.1 Material.....	15

3.2 Identificação da Madeira.....	15
3.3 Determinação das Propriedades das Madeiras	15
3.3.1 Amostragem.....	15
3.3.2 Compressão Paralela às Fibras e Rigidez.....	16
3.3.3 Teor de Umidade.....	20
3.3.4 Densidade Aparente.....	21
3.4 Local dos Ensaios	21
4 DIMENSIONAMENTO DAS COBERTURAS PARA AVIÁRIOS.....	22
4.1 Dispositivos de Ligação	22
4.2 Estrutura de Contraventamento	22
4.3 Estrutura Principal: Treliça do tipo “Howe”	25
4.3.1 Geometria da Treliça.....	27
4.3.2 Ações, Carregamentos e Esforços Internos.....	29
4.3.2.1 Ação variável – vento.....	29
4.3.2.2 Ação Permanente.....	32
4.3.2.3 Esforços Internos.....	33
4.3.3 Dimensionamento da Treliça nos Estados Limites.....	34
4.3.3.1 Estados Limites Últimos.....	34
4.3.3.2 Estados Limites de Utilização.....	38
4.3.4 Estabilidade Global.....	40
4.3.5 Dimensionamento das Ligações	40
4.3.5.1 Resistência de Cálculo de um Pino.....	40
4.3.5.2 Cálculo do Número de Parafusos.....	41
4.3.5.3 Espaçamento dos Parafusos.....	52
4.4 Estrutura Secundária	52
4.4.1 Cálculo das Grandezas Geométricas.....	53
4.4.2 Determinação das Ações	54
4.4.3 Componentes do Carregamento e Verificação dos Deslocamentos	54
4.4.4 Cálculo dos Esforços Internos	56
4.4.5 Cálculo das Tensões.....	56
4.4.6 Verificação da Estabilidade Lateral.....	58
4.5 Dimensionamento do Contraventamento Vertical.....	58

4.5.1 Características Geométricas da Seção Transversal.....	58
4.5.2 Índice de Esbeltez da Peça	59
4.5.3 Inclinação da Diagonal do Contraventamento.....	59
4.5.4 Esforço Normal	59
4.5.5 Condição de Estabilidade da Peça	59
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	60
5.1 Compressão Paralela às Fibras e Rigidez.....	60
5.2 Propriedades Físicas da Madeira	62
5.3 Dimensões Finais da Estrutura Principal.....	62
5.4 Dimensões finais da Estrutura Secundária (Terças).....	63
5.5 Dimensões Finais da Estrutura de Contraventamento	65
5.6 Consumo de Material	66
5.7 Relação entre Peso dos Parafusos e Peso da Estrutura	69
6 CONCLUSÃO.....	71
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73
8 ANEXO	78

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 – Esquema para extração de corpo-de-prova	16
FIGURA 02 – Corpo-de-prova para ensaio de compressão paralela às fibras.....	17
FIGURA 03 – Corpo-de-prova para ensaios de umidade e densidade aparente.....	17
FIGURA 04 – Corpo-de-prova na fase inicial de carregamento.....	18
FIGURA 05 – Corpo-de-prova na fase final de carregamento.....	19
FIGURA 06 – Arranjos dos contraventamentos.....	23
FIGURA 07 – Detalhe do contraventamento vertical	24
FIGURA 08 - Esquema das treliças e terças.....	26
FIGURA 09 - Seção transversal das barras da treliça	28
FIGURA 10 – Geometria das treliças (1ª e 3ª situações)	28
FIGURA 11 – Geometria das treliças (2ª situação).....	29
FIGURA 12 – Ligações dos banzos (nós A e B)	43
FIGURA 13 – Ligações das barras dos nós D e M	44
FIGURA 14 – Ligações das barras dos nós C e L.....	45
FIGURA 15 – Ligações das barras do nó G	45
FIGURA 16 – Ligações das barras dos nós E e I.....	47
FIGURA 17 – Ligações das barras dos nós F e J.....	49
FIGURA 18 – Ligações das barras do nó H	50
FIGURA 19 – Emendas dos banzos superior e inferior	51
FIGURA 20 – Carregamento das terças	53
FIGURA 21 – Consumo de madeira por unidade de área coberta p/ roxinho	67
FIGURA 22 – Consumo de madeira por unidade de área coberta p/ maçaranduba.	67

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 – Compressão paralela às fibras (f_{c0}) e rigidez (E_{c0}) a 12% de Umidade.....	60
TABELA 02 – Compressão paralela às fibras, a 12% de umidade – f_{c0} (MPa).	61
TABELA 03 – Teste para comparação de variâncias (teste “ F”)	61
TABELA 04 – Valores médios da compressão paralela às fibras em MPa.....	61

LISTA DE QUADROS

QUADRO 01 - Classes de resistência das coníferas.....	07
QUADRO 02 – Classes de resistência das dicotiledôneas.....	07
QUADRO 03 – Classes de umidade proposta pela NBR 7190/1997.....	08
QUADRO 04 - Esforço normal de cálculo N_d	34
QUADRO 05 - Valores para o cálculo da deformação axial.....	38
QUADRO 06 - Valores de N e Δ_s para o cálculo das deformações dos nós	39
QUADRO 07 - Esforços internos para o dimensionamento dos parafusos.....	42
QUADRO 08 - Tipos de composições das seções para as treliças e terças (1ª situação)	63
QUADRO 09 - Tipos de composições das seções para as treliças e terças (2ª situação)	64
QUADRO 10 - Tipos de composições das seções para as treliças e terças (3ª situação)	65
QUADRO 11 - Contraventamento vertical	65
QUADRO 12 - Contraventamento horizontal	66
QUADRO 13 - Consumo de madeira por unidade de área coberta.....	66
QUADRO 14 - Consumo de parafusos para estruturas feitas com roxinho.....	68
QUADRO 15 - Consumo de parafusos para estruturas feitas com maçaranduba ..	69
QUADRO 16 - Percentual de F_{gp} em relação a F_{gc} para roxinho.....	70
QUADRO 17 - Percentual de F_{gp} em relação a F_{gc} para maçaranduba.....	70

LISTA DE SÍMBOLOS

- A – área de seção transversal da peça de madeira, cm^2
 A_c – área da seção transversal do caibrão, cm^2
 A_{inf} – área de influência do nó da treliça, m^2
 A_r – área da seção transversal da ripa, cm^2
 A_{util} – área útil da seção transversal da peça de madeira, cm^2
 α - inclinação das fibras da madeira, graus
 α_e – coeficiente da Tabela 14 da NBR 7190/1997
 α_1 – ângulo formado pelas barras n^{os} 9 e 13 e a horizontal
 b – largura da seção transversal, cm
 β - parâmetro definido no item 8.3.4 da NBR 7190/1997
 β_{lim} - parâmetro definido no item 8.3.4 da NBR 7190/1997
 β_M – coeficiente definido no item 7.5.6 da NBR 7190/1997
 C_e – coeficiente de forma externo
 C_i - coeficiente de forma interno
 d – diâmetro do pino metálico, cm
 e_a – excentricidade acidental, cm
 e_c – excentricidade suplementar de 1^a ordem, em
 e_i – excentricidade de 1^a ordem, cm
 e_1 – soma entre “ e_a ” e “ e_i ”, cm
 $e_{1,ef}$ – excentricidade efetiva de 1^a ordem, cm
 e_d – valor de cálculo da excentricidade, cm
 E_{c0} – módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras da madeira, daN/cm^2

E_{12} - módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras da madeira, a 12% de umidade, daN/cm²

$E_{U\%}$ - módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras da madeira, à U% de umidade, daN/cm²

$E_{cd,ef}$ - valor efetivo do módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras, daN/cm²

F - força estática devida ao vento, daN

$F_{co,max}$ - força máxima no carregamento do corpo-de-prova, daN

F_E - carga crítica de Euler, daN

$F_{GA,B}$ - carga permanente nos nós A e B, daN

$F_{GD,M}$ - carga permanente nos nós D e M, daN

$F_{GF,J}$ - carga permanente nos nós F e J, daN

F_{GH} - carga permanente no nó H, daN

F_{gx} - componente da carga permanente na direção X, daN

F_{gy} - componente da carga permanente na direção Y, daN

F_{qx} - componente da carga variável na direção X, daN

F_{qy} - componente da carga variável na direção Y, daN

F_{10d} - valor de cálculo da força máxima de tração paralela às fibras, daN

f - resistência da madeira, daN/cm²

f_{cd} - valor de cálculo da resistência à compressão paralela às fibras, daN/cm²

f_{ck} - resistência característica da compressão paralela às fibras, daN/cm²

f_{90d} - valor de cálculo da resistência à compressão normal às fibras, daN/cm²

f_{cd} - valor de cálculo da resistência à compressão inclinada às fibras, daN/cm²

f_{12} - resistência da madeira a 12% de umidade, daN/cm²

$f_{U\%}$ - resistência da madeira à U% de umidade, daN/cm²

f_{cd} - valor de cálculo da resistência ao embutimento paralelo às fibras, daN/cm²

f_{90d} - valor de cálculo da resistência ao embutimento normal às fibras, daN/cm²

f_{cd} - valor de cálculo da resistência ao embutimento inclinado às fibras, daN/cm²

f_{td} - valor de cálculo da resistência à tração paralela às fibras, daN/cm²

f_{vd} - valor de cálculo da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras, daN/cm²

f_{yd} - valor de cálculo da resistência de escoamento do aço, daN/cm²

f_{yk} - valor da resistência nominal característica de escoamento do aço, daN/cm²

f_{wd} - valor de cálculo da resistência da madeira, daN/cm²

- ϕ - coeficiente de fluência da madeira
- γ_f - coeficiente de ponderação das ações variáveis (Estado Limite de Utilização)
- γ_g - coeficiente de ponderação das ações permanentes (Estado Limite Último)
- γ_q - coeficiente de ponderação das ações variáveis (Estado Limite Último)
- γ_s - coeficiente de ponderação da resistência de escoamento do aço
- γ_w - coeficiente de ponderação das resistências (Estado Limite de Utilização)
- γ_{wc} - coeficiente de ponderação da resistência à compressão paralela às fibras (Estado Limite Último)
- γ_{wt} - coeficiente de ponderação da resistência à tração paralela às fibras (Estado Limite Último)
- γ_{wv} - coeficiente de ponderação da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras (Estado Limite Último)
- h - altura da seção transversal, cm
- i_{\min} - raio de giração mínimo, cm
- I_x - momento de inércia em relação ao eixo X, cm⁴
- I_y - momento de inércia em relação ao eixo Y, cm⁴
- K_{mod} - coeficiente de modificação total
- K_M - coeficiente de correção, definido em 7.3.4 da NBR 7190/1997
- L - vão, cm
- L_0 - comprimento teórico de referência, cm
- χ - índice de esbeltez
- m_i - massa inicial do corpo-de-prova, kg
- m_s - massa do corpo-de-prova depois de secagem em estufa, kg
- $m_{(U\%)}$ - massa do corpo-de-prova à umidade U%, kg
- M_d - valor de cálculo do momento fletor devido a excentricidade $e_{l,ef}$, daN.cm
- M_1, M_2, \dots, M_6 - corpos-de-prova da madeira maçaranduba
- M_{xd} - valor de cálculo do momento máximo de flexão em relação ao eixo X, daN.cm
- M_{yd} - valor de cálculo do momento máximo de flexão em relação ao eixo Y, daN.cm
- N - esforço normal em cada barra da treliça devido a aplicação das cargas nos nós, daN
- \bar{N} - esforço normal em cada barra da treliça devido a aplicação de uma carga unitária colocada no meio do vão e na direção vertical

- N_d – valor de cálculo do esforço normal, daN
- N_{gk} – valor característico do esforço normal de compressão devido às ações permanentes, daN
- N_p – número de parafusos
- N_{qk} - valor característico do esforço normal de compressão devido às ações variáveis, daN
- Ψ_0 – fator de combinação (Estado Limite Último)
- Ψ_1 – fator de utilização (Estado Limite de Utilização)
- Ψ_2 - fator de utilização (Estado Limite de Utilização)
- q – pressão dinâmica devida ao vento, daN/m²
- R_1, R_2, \dots, R_6 - corpos-de-prova da madeira roxinho
- ρ_{ap} – densidade aparente da madeira a 12% de umidade, kg/m³
- $\rho_{ap(U\%)}$ - densidade aparente da madeira à U% de umidade, kg/m³
- R_{vd1} – valor de cálculo da resistência de um pino metálico, referente a uma seção de corte, daN
- σ_{cd} – valor de cálculo da tensão normal de compressão inclinada às fibras, daN/cm²
- σ_{Md} – valor de cálculo da tensão de compressão devida ao momento fletor M_d , daN/cm²
- σ_{Mxd} - valor de cálculo da tensão máxima de flexão, em relação ao eixo X, daN/cm²
- σ_{Myd} - valor de cálculo da tensão máxima de flexão, em relação ao eixo Y, daN/cm²
- σ_{Nd} - valor de cálculo da tensão de compressão devida ao esforço de compressão paralelo às fibras N_d , daN/cm²
- σ_{td} – valor de cálculo da tensão normal máxima na tração paralela às fibras, daN/cm²
- θ - ângulo entre barras da treliça, graus
- θ_c – ângulo formado pela diagonal do contraventamento e a horizontal, graus
- t – espessura convencional da madeira, cm
- τ_d – valor de cálculo da tensão máxima de cisalhamento, daN/cm²
- τ_{xd} - valor de cálculo da tensão máxima de cisalhamento, na direção X, daN/cm²
- τ_{yd} - valor de cálculo da tensão máxima de cisalhamento, na direção Y, daN/cm²
- U – umidade da madeira
- u_x – deslocamento no meio do vão, na direção X, cm
- u_y - deslocamento no meio do vão, na direção Y, cm
- u_{lim} - deslocamento limite no meio do vão, cm

V_{xd} – valor de cálculo do esforço cortante máximo em relação ao eixo X, daN

V_{yd} – valor de cálculo do esforço cortante máximo em relação ao eixo Y, daN.

RESUMO

AZEVEDO, Marluce A. **Estrutura de madeira para cobertura de aviários no Estado da Paraíba.** Campina Grande, 1999. 91p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Paraíba.

Objetivando-se a elaboração de projeto para cobertura de aviário, com padrão adotado atualmente, a nível nacional e internacional, 12 metros de vão por 125 metros de comprimento, foi utilizada estrutura treliçada de madeira, do tipo "Howe", em três situações distintas: aviário com oitões em alvenaria e ventilação artificial lateral, aviário com oitões em alvenaria e ventilação natural (lanternim) e aviários com oitões abertos (treliças nas extremidades) e túnel de vento no sentido longitudinal. O trabalho teve como objetivo também, caracterizar as madeiras maçaranduba (*Manilkara sp.*, *Sapotaceae*) e roxinho (*Peltogyne sp.*, *Leguminosae*), comercializadas na região. Para obtenção do projeto, foram feitas várias composições da estrutura de cobertura, considerando as condições de conforto térmico do galpão, como pé-direito de 4,20m, cobertura com telha capa-canal, orientação Leste-Oeste, inclinação do telhado 25°, além de uso racional da madeira. A caracterização da madeira, foi realizada através do método simplificado da norma brasileira NBR 7190/1997. Os resultados obtidos mostram que composição de estrutura com treliça apresentando banzos de seções transversais simples 7,5cm x 12,5cm, diagonais com seções transversais simples 7,5cm x 10,0cm, montantes com seção dupla de 3,5cm x 12,5cm, terças com seções transversais simples 7,5cm x 15,0cm para primeira e terceira situações de aviários e, composição com seções transversais idênticas para banzos, diagonais e montantes além de peças laterais com seções transversais 7,5cm x 15,0cm terças principais de 7,5cm x 15,0cm, terças extremas de 7,5cm x 12,5cm para segunda situação de aviário, espaçamento entre treliças de 2,72m e contraventamento com seções transversais simples de 7,5cm x 12,5cm proporcionam menor consumo de madeira por metro quadrado de área coberta e menor custo da cobertura. E, de acordo com os resultados dos ensaios de caracterização, as madeiras estudadas foram classificadas na categoria C60.

Palavras-chave: cobertura, aviário, estrutura de madeira.

ABSTRACT

AZEVEDO, Marluce. A. **Wooden Structures for Chicken Shed Roofing in the State of Paraíba, Brazil.** Campina Grande, 1999. 91p. Master's Dissertation - Federal University of Paraíba.

The purpose of this study was to draw up a design for chicken shed roofing using the current national and international standard, i.e., 12 meters width by 125 meters length. The design consists of a "Howe" type wooden truss structure used for three different types of building: a chicken shed with brick walls and artificial side ventilation, a shed with brick walls and natural ventilation (ventilation windows), and a shed with open walls (with end trusses) and longitudinal wind tunnel. The purpose of this work was also to characterize the "maçaranduba" (*Manilkara sp.*, *Sapotaceae*) and "roxinho" (*Peltogyne sp.*, *Leguminosae*) species that are commercially available in the region. Several roofing structures were built in order to reach a definition of the design, considering conditions of thermal comfort, such as the 4,20m height, interlocking tile roof, east-west orientation, a 25 degree slanted roof, in addition to the rational use of wood. The wood was characterized using the simplified method of the Brazilian NBR 7190/1997 code. Truss structures were built using chords with 7,5cm x 12,5cm single transversal sections, diagonals with 7,5cm x 10,0cm single transversal sections, struts with 3,5cm x 12,5cm double sections, and purlins with 7,5cm x 15,0cm single transversal sections for the first and third chicken sheds. Structures with identical transversal sections for the chords, diagonals and struts, as well as side pieces with 7,5cm x 15,0cm transversal sections, 7,5cm x 15,0cm main purlins, and 7,5cm x 12,5cm end purlins were built for the second shed. The three sheds had 2,72m spacing between trusses and 7,5cm x 12,5cm single transversal section bracing. The results obtained showed that these roofing structures allow for reduced consumption of wood per square meter of roofing as well as lower costs. Moreover, the results of the wood characterization tests showed their classification to be C60.

Key words: roofing, chicken shed, wooden structure.

1 INTRODUÇÃO

A revolução tecnológica que a avicultura brasileira tem passado mantém o Brasil, no ano de 1998, na posição de terceiro maior produtor do mundo de aves, o que equivale a 4,498 milhões de toneladas produzidas. Em termos de consumo interno de carne de frango, isto representa 23,98 Kg/hab.

De acordo com a Associação Brasileira dos Produtores de Exportação de Frangos (ABEF), o Brasil exportou 612.477ton de frango no ano passado. A previsão da União Brasileira de Avicultura (UBA), para 1999, é de que 700 mil toneladas de frango de corte sejam exportadas.

Na Paraíba, a avicultura aumentou de 5,8 milhões para 6,2 milhões de aves, entre 1985 e 1996, segundo Censo Agropecuário. A evolução decorreu da expansão da demanda dos principais núcleos urbanos (ANUÁRIO 99 DA AVICULTURA INDUSTRIAL, 1999).

Ao extraordinário progresso científico verificado na avicultura contrapõe-se a pouca atenção que se deu, até recentemente, às técnicas de alojamento das aves. De modo que a avicultura contemporânea passa a avaliar o ambiente em que são criadas as aves como um dos principais determinantes nas possibilidades de se obter benefícios ainda maiores com a aplicação das tecnologias conquistadas, e que resultem em máximo desempenho produtivo.

O meio ambiente inclui todas as influências e condições externas que afetam a ave. Dentre os fatores ambientais, os térmicos, representados por temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do ar e a radiação, são os que afetam mais diretamente a ave, pois comprometem sua função vital mais importante, que é a manutenção da própria homeotermia. Se estas condições estão próximas das ideais, a probabilidade de se obter alta produtividade é grande (TINÔCO, 1996).

No Brasil, a criação de aves ocorre quase que totalmente em instalações abertas, sem ambiente controlado, sendo que, por razões econômicas de curto prazo ou mesmo desconhecimento, pouca atenção se tem dado às fases de planejamento e concepção arquitetônica, compatíveis com a realidade climática de cada região, ou seja, ao acondicionamento térmico natural, que é a técnica que baliza os procedimentos construtivos para que os espaços habitados apresentem as condições térmicas exigidas pela ave, utilizando ao máximo os recursos da própria natureza, como a ventilação natural e o paisagismo circundante. Somente quando o condicionamento térmico natural estiver totalmente esgotado é que se utiliza o sistema artificial (TINÔCO, 1997).

Considerando os fatores ambientais do Estado da Paraíba, a competitividade e a globalização da economia, foram projetadas estruturas de madeira para a cobertura de aviários, para a mesorregião do Agreste Paraibano, levando em conta três situações: uma com condicionamento térmico natural e duas com sistema artificial de condicionamento térmico dos aviários.

As florestas nativas do Estado da Paraíba representam somente 33,25% de sua área territorial e as políticas públicas existentes têm se revelado ainda insuficientes para garantir tanto a auto-preservação dos recursos naturais, quanto a sua utilização racional. Assim, o fornecimento de madeira serrada para execução de estruturas de madeira é praticamente feita pela região Norte.

O levantamento realizado nas madeireiras da cidade de Campina Grande e em granjas, mostrou que as estruturas para coberturas são construídas predominantemente com a madeira maçaranduba (*Manilkara sp.*) e que não é feito nenhum tipo de caracterização da madeira, quer seja na fonte fornecedora, quer nas madeireiras ou por técnicos responsáveis pelo projeto e/ou execução das mesmas.

Na região são comercializadas madeiras com a denominação de “madeira mista”, que são utilizadas em coberturas pela população de baixo poder aquisitivo, mas, por apresentar uma grande variedade de espécies, das quais, muitas, os próprios madeiros desconhecem, aliadas ao fato de que não podem ser vendidas individualmente, tornam-se inconvenientes à pesquisa, para atender os objetivos que se pretende alcançar nesse trabalho de dissertação. Dai porque se optou por estudar: maçaranduba (*Manilkara sp.*, *Sapotaceae*) e roxinho ou pau roxo (*Peltogyne sp.*, *Leguminosae*), das quais, a maçaranduba já tem utilização consagrada e a outra não é usada nas estruturas de cobertura na

região.

As estruturas em pórticos premoldados de concreto, que podem ser competitivas com as estruturas de madeira, são fabricados com inclinação de 23° para coberturas com telhas de barro, portanto inadequados para atender as condições de conforto térmico dos aviários e de escoamento superficial durante as chuvas. Além disto, não estão disponíveis nas cidades do interior.

O objetivo principal desta pesquisa é estudar duas espécies de madeira para elaboração de projeto de estrutura treliçada, do tipo “Howe”, para cobertura de aviários, no padrão adotado atualmente, 12 metros de vão por 125 metros de comprimento.

Os objetivos específicos do presente trabalho são:

- Caracterizar as espécies de madeira maçaranduba e roxinho, comercializadas na região;
- Dimensionar estrutura treliçada, do tipo Howe, para cobertura de aviários nas três situações consideradas: aviário com oitões em alvenaria e ventilação artificial lateral, aviário com oitões em alvenaria e ventilação natural e aviário com oitões abertos (treliças nas extremidades) e túnel de vento no sentido longitudinal.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O Estado da Paraíba possui uma área de 56.372 Km². Está situado na porção oriental do Nordeste do Brasil, entre os meridianos 34°45'54" e 38°45'45" de longitude Oeste e entre os paralelos 6°2'12" e 8°19'18" de latitude Sul.

A variedade climática está na dependência direta do relevo e das massas de ar. A proximidade do Equador, com alta irradiação solar, define o clima quente, caracterizado por uma temperatura média anual de 27°C, sendo que a distribuição das temperaturas depende do relevo. Assim, as áreas elevadas apresentam condições climáticas mais amenas, enquanto as depressões são essencialmente mais quentes.

A Paraíba está situada dentro da faixa fixa dos ventos de Sudeste ou Alíseos. Entretanto, as áreas serranas provocam desvios significativos que, de início, se evidenciam sobre a força e a continuidade da massa de ar, para finalmente se diferenciarem quanto à precipitação espacial.

O Estado da Paraíba tem um caráter predominantemente agropastoril. Suas terras estão divididas em regiões com e sem utilização agropecuária. Dentro das regiões sem utilização agropecuária, tem-se as florestas nativas que representam 33,25% da superfície do Estado, compreendendo a Caatinga, o Cerrado, as Matas Úmidas e as Formações Litorâneas (DIAGNÓSTICO do setor florestal do Estado da Paraíba, 1994).

Segundo MOREIRA *apud* SILVA (1994) o Estado da Paraíba hoje está dividido nas seguintes mesorregiões: Mata Paraibana, Agreste, Borborema e Sertão. A primeira apresenta clima quente e úmido com chuvas de outono-inverno. A mesorregião da Borborema apresenta clima quente e seco com chuvas de verão. A mesorregião do Agreste é a transição entre as duas anteriores e a mesorregião do Sertão apresenta clima do tipo AW', de acordo com a classificação de Köpper, caracterizando-se por ser quente com chuvas de verão-outono (PARAIBA/SEPLAN/ATECEL, 1994).

Apesar disso, a avicultura, principalmente de corte, tem crescido bastante, a exemplo do que acontece no resto do país. Tal fato se deve ao aumento na procura da carne de frango, inclusive pela classe de menor poder aquisitivo, aliado ao sistema de integração adotado na mesorregião do Agreste.

2.1 Globalização versus Sistema de Produção

A globalização da economia exige do sistema produtivo: competência e produtividade. A competência reside no uso de práticas simples e de tecnologia já disponíveis que proporcionam um retorno visível e que sejam facilmente assimiláveis pelos produtores. No modelo atual de sistema de produção animal constituem os maiores problemas para a produtividade: a alimentação e o clima (FURTADO, 1997).

À nutrição tem sido dada a maior responsabilidade de minimizar os problemas de estresse devido ao calor, sendo que, com a manipulação de nutrientes é possível reduzir os efeitos das altas temperaturas (CAMPOS; PENZ JÚNIOR *apud* TINÔCO, 1996).

Em regiões tropicais as limitações climáticas podem ser amenizadas com técnicas apropriadas na concepção das instalações, em conjunto com alimentação racional e manejos adequados de acordo com TINÔCO (1996).

Para atender as condições de conforto térmico é necessário que se projete instalações para a região, com cobertura de telha cerâmica, do tipo capa-canal (um dos tipos usuais na prática) de forma que se otimize o sombreamento artificial das aves protegendo-as da radiação solar direta (MOURA *et al.*, 1992).

O bom desempenho térmico da cobertura com telha cerâmica, as funções que deve ter o telhado e o custo, determinam o uso racional de estrutura de madeira (PUCCINI & TANAAMI, 1997).

2.2 Emprego Racional da Madeira

O emprego racional da madeira somente pode ser conseguido se existir um conhecimento adequado de suas propriedades.

A madeira serrada, do ponto de vista estrutural, é de grande utilidade se usa-

da de forma correta, isto é, com peças de pequena espessura, associadas quando necessário a adequada execução da união entre elementos estruturais. Assim, as estruturas de madeira serão tão versáteis quanto as demais estruturas correntes (FUSCO, 1989).

A utilização de espécies nativas alternativas disponíveis no mercado, vem contribuir para a diminuição do emprego sistemático de apenas algumas espécies nas estruturas de madeira, e conseqüentemente, reduzir a velocidade de desmatamento (HELLMEISTER, 1992).

2.3 Propriedades da Madeira

As propriedades da madeira são condicionadas por sua estrutura anatômica, devendo distinguir-se os valores correspondentes à tração dos referentes à compressão, bem como os valores correspondentes à direção paralela às fibras dos referentes à direção normal às fibras. Além disso, deve-se levar em conta as diferentes classes de umidade. No projeto de estruturas de madeira são quatro as propriedades a serem consideradas no dimensionamento: densidade, resistência, rigidez ou módulo de elasticidade e teor de umidade (FUSCO *et al.*, 1997).

A densidade é utilizada na determinação do peso próprio da madeira, podendo ser adotado o valor da densidade aparente, definida por:

$$\rho_{ap} = \frac{m_{12}}{V_{12}} \quad (1)$$

ρ_{ap} = densidade aparente;

m_{12} = massa do corpo-de-prova à 12% de umidade;

V_{12} = volume do corpo-de-prova à 12% de umidade.

A resistência da madeira é utilizada no dimensionamento das estruturas e, para tanto, podem ser utilizados valores obtidos em ensaios de laboratório de caracterização, valores de resistência fornecidos pela Norma Brasileira para Projeto de Estruturas de Madeira (NBR 7190/1997), para uma determinada espécie, ou de acordo com a classe de resistência a que pertence a espécie, definida a seguir.

A classe de resistência é definida pelo valor característico da resistência à compressão paralela às fibras (f_{ck}) do lote de madeira, em MPa, classificado por laboratório idôneo, que comprove as propriedades do lote dentro de uma das classes de re-

sistência apresentadas nos Quadros 01 e 02.

QUADRO 01 – Classes de resistência das coníferas (Fonte: NBR 7190/1997)

Valores na condição padrão de referência U = 12%					
Classe	f_{c0k} (MPa)	f_{v0k} (MPa)	$E_{c0,m}$ (MPa)	$\rho_{bas,m}$ (kg/m ³)	ρ_{ap} (kg/m ³)
C 20	20	4	3500	400	500
C 25	25	5	8500	450	550
C 30	30	6	14500	500	600

QUADRO 02 – Classes de resistência das dicotiledôneas (Fonte: NBR 7190/1997)

Valores na condição padrão de referência U = 12%					
Classe	f_{c0k} (MPa)	f_{v0k} (MPa)	$E_{c0,m}$ (MPa)	$\rho_{bas,m}$ (kg/m ³)	ρ_{ap} (kg/m ³)
C 20	20	4	9500	500	650
C 30	30	5	14500	650	800
C 40	40	6	19500	750	950
C 60	60	8	24500	800	1000

Os valores da resistência são determinados convencionalmente pela máxima tensão que pode ser aplicada a corpos-de-prova normalizados e isentos de defeitos até o aparecimento de fenômenos particulares de comportamento, além dos quais há restrição de emprego do material em elementos estruturais.

A rigidez da madeira é medida pelo valor médio do módulo de elasticidade, determinado na fase de comportamento elástico-linear. Devem ser conhecidos os módulos nas direções paralelas (E_0) e normal (E_{90}) às fibras.

"A umidade presente na madeira pode alterar as suas propriedades de resistência e elasticidade, por isso, deve-se ajustar estas propriedades em função das condições ambientais onde permanecerão as estruturas. Este ajuste é feito através das classes de umidade especificadas no Quadro 03" (CALIL JÚNIOR, 1998).

De acordo com LIMA *et al.* (1995) a média anual da umidade de equilíbrio para madeiras nas mesorregiões do Estado da Paraíba são: 11,4% para o Sertão, 15,1% para o Agreste e 16,4% para a Mata Paraibana, o que significa, classes de umidade 1, 2 e 3 respectivamente.

QUADRO 03 – Classes de umidade proposta pela NBR7190/1997

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	$\geq 25\%$

2.3.1 Padronização das Propriedades da Madeira

A norma brasileira NBR 7190/97 adota o conceito de classes de resistência, visando o emprego das madeiras com propriedades padronizadas. Isto facilita a utilização de várias espécies com propriedades similares em um mesmo projeto. Para tanto, basta que o lote de madeira tenha sido classificado por laboratórios idôneos, que comprovem as propriedades do lote dentro de uma das classes de resistência.

FUSCO *et al.* (1997) afirma que para projeto, os valores básicos das propriedades da madeira devem ser referidos à condição padrão de umidade ($U = 12\%$), obtidos a partir das classes de resistência.

2.4 Aspectos Gerais de Durabilidade

A durabilidade ou resistência natural é definida como a capacidade inerente a uma espécie de resistir à ação de agentes deterioradores, incluindo os agentes biológicos e físicos, sem tratamento preservativo (LOPEZ & MILANO *apud* BENEVENTE, 1995).

No desenvolvimento do projeto de uma estrutura de madeira, é preciso assegurar uma durabilidade mínima compatível com sua finalidade e com o investimento a ser realizado.

Os componentes de uma construção de madeira podem estar expostos a diferentes classes de risco de biodeterioração em função dos organismos xilófagos presentes no local e das condições ambientais que possam favorecer o ataque.

Toda madeira, em seu estado natural ou não, está sujeita às ações de agentes deterioradores, sejam de origem biológica ou não. Segundo DÉON(1989) os seres vivos capazes de deteriorar ou destruir a madeira, podem ser agrupados em quatro categorias:

- fungos;

- térmitas (cupins);
- outros insetos;
- certos organismos marinhos.

2.4.1 Fungos

Os fungos são responsáveis por numerosos tipos de podridão, que provocam alterações profundas e irreversíveis de todas as propriedades da madeira. Atacam os elementos constituintes da madeira transformando-os em substâncias nutritivas assimiláveis por eles.

Quando as condições de fornecimento suficiente de água, fornecimento suficiente de oxigênio e temperatura favorável são dadas ao fungo, ele é capaz de destruir a madeira em sua quase totalidade.

2.4.2 Térmitas ou Cupins

Os cupins são insetos que constituem uma ameaça nos países tropicais, e cuja atividade é favorecida pelo calor e pela umidade. Existe uma grande variedade de espécies, entretanto as que representam perigo real à madeira é um número limitado.

Quanto ao modo de ataque da madeira, esses insetos podem ser distintos em:

- a) cupins de madeira seca - as colônias instalam-se diretamente na madeira e aí se desenvolvem sem qualquer ligação com o solo. Suas necessidades de água são limitadas e a umidade da madeira lhes basta. Os sintomas externos de ataque são facilmente reconhecíveis: de tempos em tempos é jogado para o exterior os excrementos acumulados durante um certo período;
- b) cupins subterrâneos - as colônias não se instalam na madeira. Estão mais frequentemente no solo onde suas necessidades de água são geralmente satisfeitas.

2.4.3 Outros Insetos da Madeira Seca

As madeiras folhosas nas regiões tropicais podem ser atacadas por lyctus e bostríquidos. No caso dos lyctus são as larvas que atacam a madeira; entre os bostríquidos a maior parte das espécies ataca a madeira, tanto sob a forma de larva quanto no estado de inseto adulto.

A biologia dos lyctus e dos bostríquidos permite afirmar que seus ataques são essencialmente ligados ao conteúdo de amido da madeira. O amido é uma das substâncias de reserva e se localiza no alburno.

2.4.4 Brocas Marinhas

As madeiras imersas em meio marinho (águas salgadas ou salobras) possuem inimigos temíveis: as brocas marinhas. Dentre elas podem-se distinguir: os foladídeos, espécies de moluscos que fazem cavidades na madeira, pequenos crustáceos e teredos. Estes últimos são os mais temidos. Eles escavam galerias na madeira que podem atingir grandes diâmetros e comprimentos, chegando a destruir completamente a madeira em prazos, às vezes, muito curtos (da ordem de alguns meses) se há condições ótimas de salinidade e temperatura - o que ocorre normalmente em clima tropical.

Além desses agentes, outros fatores podem comprometer a edificação como um todo, tais como: escolha do material, secagem incorreta, ausência de preservação, forma de armazenagem, processos construtivos, etc.

De acordo com SOUZA *et al.*, (1997), a maçaranduba é resistente a muito resistente, ao ataque de fungos apodrecedores e cupins subterrâneos, moderadamente resistente a cupins de madeira seca, não é resistente a brocas marinhas, entretanto resiste bem à umidade. O roxinho apresenta cerne altamente resistente a ataque de fungos apodrecedores, muito resistente a cupins de madeira seca, mas é pouco resistente a brocas marinhas.

2.5 Classificação da Madeira

A madeira, devido as suas características intrínsecas, é necessário classificá-

la quando utilizada em estruturas.

De uma maneira geral, sabe-se que utilizando métodos mais eficientes na classificação do material, conduzem a maior segurança e economia à edificação.

A literatura internacional destaca dois processos para classificação estrutural da madeira: classificação visual e classificação mecânica.

A classificação visual fundamenta-se nas características de crescimento da árvore, ou seja, nas orientações das fibras, número de nós, fendas e anéis anuais de crescimento. Em síntese, a classificação visual detecta a presença de defeitos através da inspeção visual e classifica a madeira de acordo com regras normalizadas.

Segundo FURATI (1983), no Brasil existe apenas a norma de classificação visual usada para exportação da espécie pinho do Paraná (*Araucária angustifolia*), com base no decreto 30/385 de 21/12/1951, e recomendações para a adoção do "Boletim 185 do Forest Products Laboratory".

Entretanto, a classificação visual apresenta as seguintes desvantagens:

- em peças de aparência semelhante é impossível definição quanto à resistência;
- custo e o tempo necessário para aplicação desta classificação, desestimulam seu uso.

O mesmo autor propõe um processo seletivo da madeira, com base em sua resistência efetiva, definindo-o como "Classificação Estrutural". O processo consiste em determinar o módulo de elasticidade longitudinal, no local da obra, através da realização de ensaio de flexão estática não destrutivo para as peças que compõem um determinado lote.

Vantagens apresentadas para o processo:

- tempo de execução do ensaio é de aproximadamente 2 minutos;
- baixo custo de equipamentos e de mão-de-obra.

De acordo com GLOS (1995), a classificação mecânica através do módulo de elasticidade à flexão, implantada a cerca de trinta e quatro anos, conduziu a trabalhos de pesquisa em países da Europa, nos Estados Unidos e Austrália, que resultaram em diferentes tipos de máquinas para realizar a classificação da madeira. Apesar da eficiência desse processo, é pouco usado no Brasil em virtude do custo inicial dos equipamentos e mão-de-obra.

Atualmente, a norma brasileira NBR 7190/1997 prevê a divisão das madei-

ras em classes de resistência por métodos de classificação visual e mecânico (Anexo B da norma).

2.5.1 Classificação das peças

De acordo com o item 10.6 da NBR 7190/97 a classificação das peças de madeira deve respeitar as seguintes condições:

- a) as peças só poderão ser classificadas como de primeira categoria quando forem isentas de defeitos por meio o método visual normalizado, e também submetidas a uma classificação mecânica para enquadramento nas classes de resistência especificadas em 6.3.5;
- b) as peças serão classificadas como de segunda categoria quando não houver a aplicação simultânea da classificação visual e mecânica;
- c) a utilização de máquinas automáticas de classificação mecânica permite enquadrar as peças em lotes de rigidez homogênea, mas não permite enquadrá-las nas classes de resistência especificadas em 6.3.5;
- d) para o enquadramento nas classes de resistência estabelecidas em 6.3.5, para as madeiras de primeira e segunda categoria, deve ser feita pelo menos a caracterização simplificada, definida em 6.3.3, de acordo com a amostragem definida em 6.4.8;
- e) a aceitação de um lote de madeira como pertencente a uma das classes de resistência é feita sob a condição resistência característica calculada ($f_{c0k,ef}$) \geq resistência característica especificada nos Quadros 01 e 02 ($f_{c0k,esp}$).

2.6 Estruturas de Madeira nas Coberturas

Segundo ROCCO LAHR (1983), as estruturas treliçadas na forma de tesouras podem ser consideradas uma das primeiras estruturas de madeira a serem utilizadas com a finalidade específica de sustentação das coberturas.

As estruturas de madeira serrada para cobertura no Brasil tiveram grande destaque através da empresa “Hauff”, entre 1925 e 1960. Tal fato se deve a grande variedade de sistemas estruturais adotados pela “Hauff”: pórticos, treliças, vigas e arcos,

além da eficiência e seriedade com que a empresa desenvolveu e executou seus projetos (CESAR & CALIL, 1992).

LIMA & ROCHA (1995) constataram a inexistência, com raras exceções, de projetos estruturais em madeira para o município de Patos-PB, e, observações posteriores ao levantamento realizado, evidenciaram que o problema se estende à zona rural e a outros municípios, caracterizando o problema como regional e não apenas local.

A geometria das treliças escolhida para o trabalho de dissertação é do tipo “Howe”, também conhecida como Treliça Inglesa e, dentre todas as formas geométricas existentes, é a que se destaca no Brasil quanto à sua utilização nas construções pela facilidade de execução (MOLITERNO, 1992).

2.7 Sistemas Construtivos

De acordo com o nível de tecnologia adotado na execução das estruturas, os sistemas construtivos podem ser:

- Sistema construtivo convencional (artesanal);
- Sistema construtivo industrializado (pré-fabricado).

O sistema construtivo artesanal é considerado o processo pioneiro nas construções de madeira, e as estruturas treliçadas para cobertura no Brasil, executadas pela empresa Hauff, é um exemplo desse sistema. Ainda é o mais divulgado e utilizado em todo o país.

O sistema artesanal caracteriza-se por permitir quaisquer tipos de variações, seja na geometria da estrutura, nos tipos de ligações entre elementos estruturais ou na forma e dimensão da seção transversal.

Nesse sistema, os tipos de ligações mais convenientes são: pinos metálicos (pregos e parafusos), conectores metálicos (anéis) e os pinos de madeira (cavilhas).

As seções transversais são classificadas de acordo com a sua forma geométrica:

- Simples - formadas por apenas uma peça (retangular, quadrada ou circular).
- Compostas - formadas por duas ou mais peças, ligadas entre si por meio de pregos, parafusos ou cola (seção I, T, H).

- Múltiplas - formadas por mais de uma peça, na maioria das vezes retangulares. Estas peças são ligadas entre si através de enrijecedores descontínuos dispostos perpendicularmente ao eixo axial das peças.

O sistema construtivo industrializado surgiu para atender um mercado consumidor mundial exigente com relação à qualidade do produto e o custo, para atender uma demanda crescente da extração de madeira de reflorestamento e com o objetivo de tornar a madeira competitiva com os demais materiais.

O sistema construtivo industrializado consiste basicamente em estruturas treliçadas para coberturas, executadas na sua quase totalidade em indústrias, utilizando chapas com dentes estampados nas ligações. São executados "in loco" as emendas responsáveis pela integralização da estrutura, as terças e o sistema de contraventamento.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

Foram usadas as espécies de madeira roxinho (*Peltogyne sp.*, *Leguminosae*) e maçaranduba (*Manilkara sp.*, *Sapotaceae*) no trabalho de pesquisa.

3.2 Identificação da Madeira

A identificação das madeiras foi feita no Laboratório de Anatomia e Identificação de Madeiras, Divisão de Produtos Florestais, do Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo (IPT). Para tanto, os corpos-de-prova foram feitos de acordo com as recomendações desse órgão.

A identificação foi realizada através do processo macroscópico de exame do lenho, que se baseia nas características organolépticas e anatômicas da madeira, com vista desarmada e auxílio de lupa com 10 (dez) aumentos.

3.3 Determinação das Propriedades das Madeiras

As madeiras foram caracterizadas de acordo com as recomendações da norma NBR 7190/1997 para caracterização simplificada da resistência de madeira serrada (espécies usuais), através dos ensaios de compressão paralelas às fibras, teor de umidade e densidade aparente, utilizando os métodos especificados no Anexo B da referida norma e apresentados a seguir.

3.3.1 Amostragem

Em lote de madeira serrada, considerado homogêneo, com volume de madeira inferior a 12m³ e com vigas de seção nominal 7,5cm x 10cm, foram escolhidas aleatoriamente 6 peças de cada tipo de madeira.

Os corpos-de-prova foram confeccionados isentos de defeitos e retirados de regiões afastadas das extremidades das peças de madeira, de pelo menos 5 vezes a menor dimensão da seção transversal da peça, mas nunca inferior a 30cm, conforme indica a Figura 01.

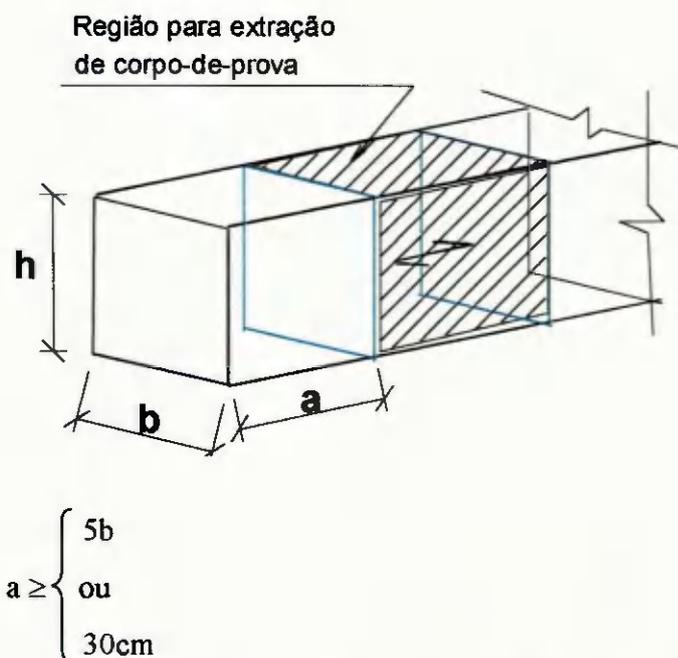


FIGURA 01 – Esquema para extração de corpo-de-prova

Nota: no trabalho foi adotado $a \geq 37,5\text{cm}$.

De cada peça de madeira, foram confeccionados quatro corpos-de-prova: dois de forma prismática com seção transversal quadrada, de 5,0cm de lado e 15cm de comprimento, como indica a Figura 02, para o ensaio de compressão paralela às fibras, e dois com seção transversal retangular de 2,0cm x 3,0cm e 5,0cm de comprimento, conforme mostra a Figura 03, para os ensaios de teor de umidade e densidade aparente.

3.3.2 Compressão Paralela às Fibras e Rigidez

O procedimento de ensaio está de acordo com o item B.8.4 da norma, ou seja:

- para cada espécie de madeira foi estimada a resistência ($f_{c0,est}$) através do ensaio destrutivo de um corpo-de-prova selecionado da mesma amostra;
- as medições dos lados do corpo-de-prova foram feitas com paquímetro e das deforma-

ções, em duas faces opostas, com relógios comparadores fixados por meio de duas cantoneiras metálicas pregadas no corpo-de-prova, com distância nominal de aproximadamente 10cm, conforme indica a Figura 04;

- c) conhecida a resistência estimada da amostra, o carregamento foi aplicado com dois ciclos de carga e descarga, mantendo a carga durante 30 segundos entre carregamento e descarregamento. A taxa de carregamento foi de 10MPa por minuto;
- d) os registros das cargas e das deformações foram feitos para nove pontos no carregamento e nove pontos no descarregamento de cada ciclo;
- e) na fase final de carregamento, os relógios comparadores são retirados quando a carga corresponde a 70% da carga estimada. Em seguida eleva-se o carregamento até a ruptura do corpo-de-prova, como mostra a Figura 05.

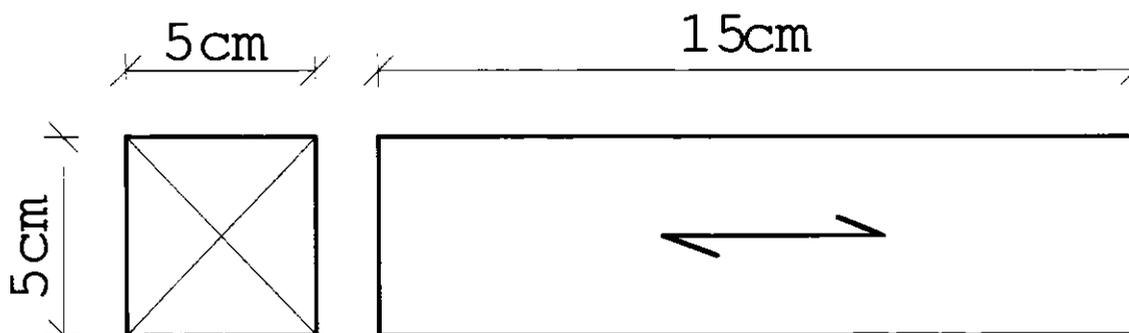


FIGURA 02 – Corpo-de-prova para ensaio de compressão paralela às fibras

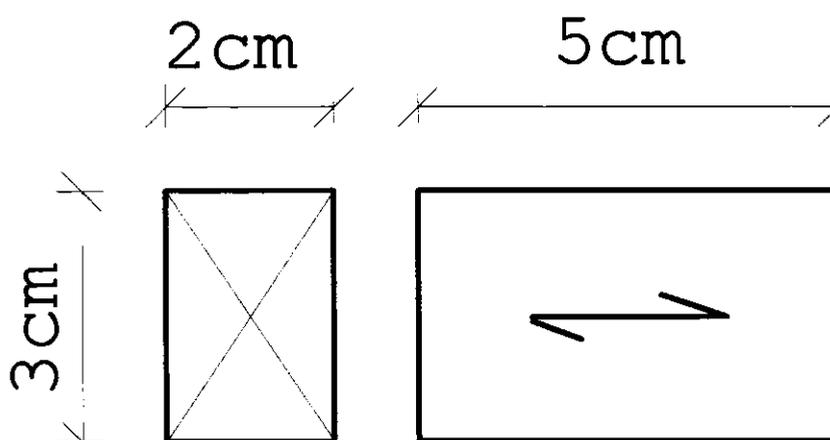


FIGURA 03 – Corpo-de-prova para ensaios de umidade e densidade aparente

A resistência à compressão paralela às fibras, para a umidade $U\%$ em que se encontram os corpos-de-prova, (f_{c0}), é calculada segundo item B.8.2. da NBR 7190/97

através da equação:

$$f_{c0} = \frac{F_{c0,max}}{A} \quad (2)$$

f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras;

$F_{c0,max}$ = esforço de compressão máximo aplicado ao corpo-de-prova;

A = área inicial da seção transversal do corpo-de-prova.

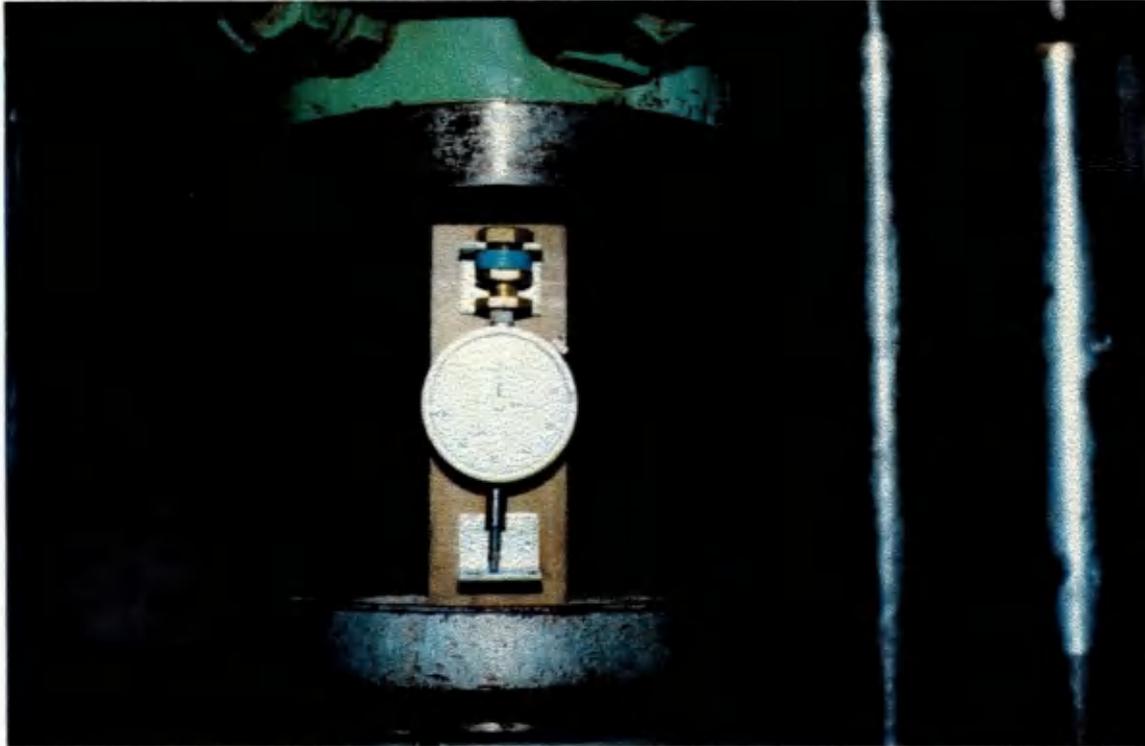


FIGURA 04 – Corpo-de-prova na fase inicial de carregamento

Os valores das resistências f_1, f_2, \dots, f_6 obtidos para cada espécie de madeira foram corrigidos para a umidade padrão de referência de 12%, de acordo com o item 6.2.1 da norma NBR 7190/1997, pela expressão:

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

f_{12} = resistência à compressão paralela às fibras a 12% de umidade;

$f_{U\%}$ = resistência à compressão paralela às fibras à U% de umidade;

U = umidade do corpo-de-prova.

Com a tabulação dos dados referentes a compressão paralela às fibras, a 12% de umidade, a análise estatística é realizada através do software ASSISTAT para delineamento inteiramente casualizado.

O valor característico da resistência $f_{c0,k}$ é estimado, conforme item 6.4.8 da NBR 7190/1997, por:

$$f_{c0k} = \left[2 \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{\frac{n}{2}-1}}{\frac{n}{2}-1} \right] * 1,1 \quad (4)$$

n = número de corpos-de-prova ensaiados (para caracterização simplificada, $n \geq 6$).

Os resultados obtidos são colocados em ordem crescente $f_1 \leq f_2 \leq \dots \leq f_n$, não se tomando para $f_{c0,k}$ valor inferior a f_1 e nem a 0,7 do valor médio.



FIGURA 05 – Corpo-de-prova na fase final de carregamento

A rigidez da madeira na direção paralela às fibras é determinada por seu módulo de elasticidade, obtido a partir da inclinação da reta secante à curva, tensão versus

deformação específica, definida pelos pontos ($\sigma_{10\%}$, $\epsilon_{10\%}$) e ($\sigma_{50\%}$, $\epsilon_{50\%}$), correspondentes respectivamente a 10% e 50% da resistência à compressão paralela às fibras medida no ensaio, sendo dado por:

$$E_{c0} = \frac{\sigma_{50\%} - \sigma_{10\%}}{\epsilon_{50\%} - \epsilon_{10\%}} \quad (5)$$

Os valores da rigidez E_1 , E_2, \dots, E_6 obtidos para cada espécie de madeira foram corrigidos para a umidade padrão, de acordo com item 6.2.1 da norma NBR 7190/1997, por:

$$E_{12} = E_{U\%} \left[1 + \frac{2(U\% - 12)}{100} \right] \quad (6)$$

E_{12} = módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras a 12% de umidade;

$E_{U\%}$ = módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras à U% de umidade.

O valor do módulo de elasticidade paralelo às fibras é representado pelo valor médio $E_{c0,m}$.

3.3.3 Teor de Umidade

Foi determinada a massa inicial (m_i) dos corpos-de-prova logo após a realização do ensaio de compressão paralela às fibras, e colocados em estufa a uma temperatura máxima de $103^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$. Durante a secagem dos corpos-de-prova foram determinadas a massa, a cada seis horas, até que ocorresse uma variação, entre duas medidas consecutivas, menor ou igual a 0,5% da última massa medida. Essa massa é considerada como a massa seca (m_s).

Com os valores m_i e m_s das massas dos corpos-de-prova, calcula-se o teor de umidade (U) através da fórmula:

$$U(\%) = \frac{m_i - m_s}{m_s} * 100 \quad (7)$$

3.3.4 Densidade Aparente

A densidade aparente pode ser determinada através da interpolação linear entre dois instantes do ensaio de umidade mais próxima de 12%.

A metodologia adotada nos ensaios foi a seguinte:

- a) a massa inicial (m_i) e as dimensões (comprimento, largura e espessura) de cada corpo-de-prova, foram determinados e o corpo-de-prova colocado em estufa a uma temperatura máxima de $103^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$;
- b) após duas horas de secagem, os corpos-de-prova foram retirados da estufa e colocados em dessecador por vinte minutos. Em seguida, foram feitas as medições dos lados, pesados e colocados novamente na estufa;
- c) as determinações subseqüentes ocorreram após 4, 5, 6 e 12 horas, de modo a haver estabilidade da massa dos corpos-de-prova (variação entre duas medidas consecutivas menor ou igual a 0,5% da última massa medida).

Para os valores obtidos, a densidade aparente é calculada por:

$$\rho_{ap(U\%)} = \frac{m_{(U\%)}}{V_{(U\%)}} \quad (8)$$

$\rho_{ap(U\%)}$ = densidade aparente à umidade U%;

$m_{(U\%)}$ = massa do corpo-de-prova à umidade U%;

$V_{(U\%)}$ = volume do corpo-de-prova à umidade U%.

E, por interpolação linear se obtém a densidade aparente a 12% (ρ_{ap}).

3.4 Local dos Ensaios

As propriedades físicas das madeiras: teor de umidade e densidade aparente foram determinadas a partir dos ensaios realizados no Laboratório de Construções Rurais e Ambiente, Departamento de Engenharia Agrícola, do Centro de Ciências e Tecnologia, da Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

Os ensaios de compressão paralela às fibras e rigidez dos corpos-de-prova foram realizados no Laboratório de Solos I, Departamento de Engenharia Civil, do Centro de Ciências e Tecnologia, da UFPB.

4 DIMENSIONAMENTO DAS COBERTURAS PARA AVIÁRIOS

4.1 Dispositivos de Ligação

As ligações parafusadas exigem seções transversais mais robustas para os elementos estruturais (para atender a normalização), constituindo o ponto crítico das estruturas de madeira, sob o aspecto de muitas vezes reduzir a competitividade da madeira como material estrutural.

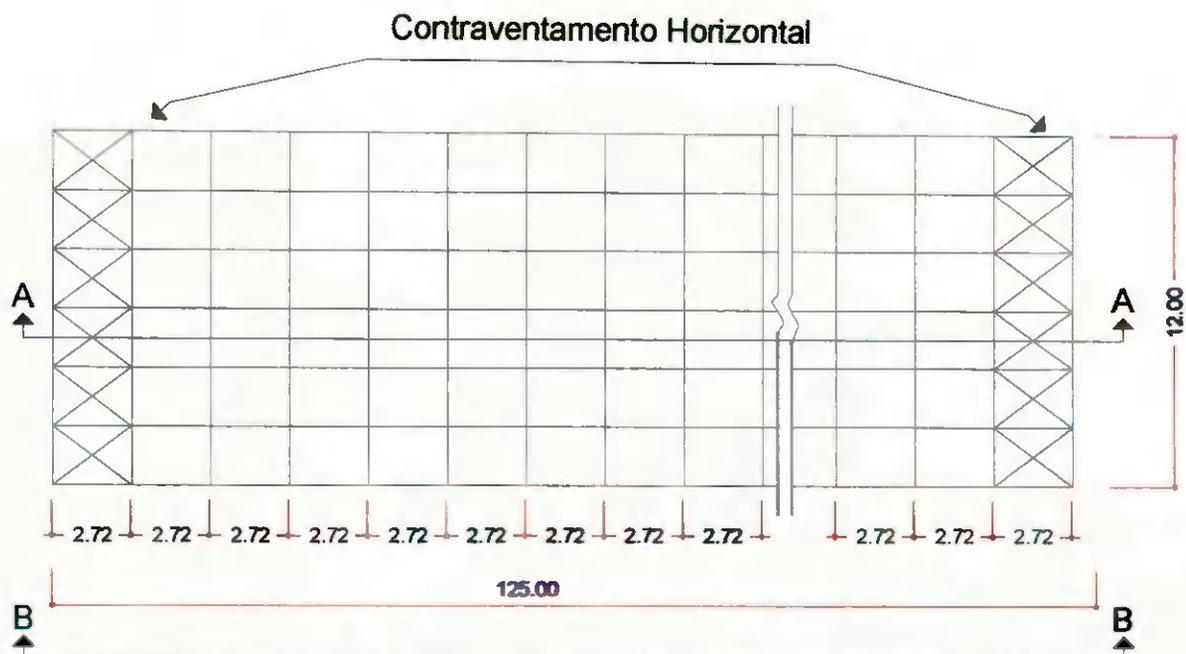
Neste trabalho, foram adotados parafusos de aço como elementos de ligação entre as barras da estrutura, considerando a disponibilidade no mercado local, além da prática do carpinteiro da região com esse tipo de ligação.

4.2 Estrutura de Contraventamento

As treliças e os elementos que as compõem estão sujeitos à perda da estabilidade global e local, respectivamente, tanto no plano da estrutura como fora dele.

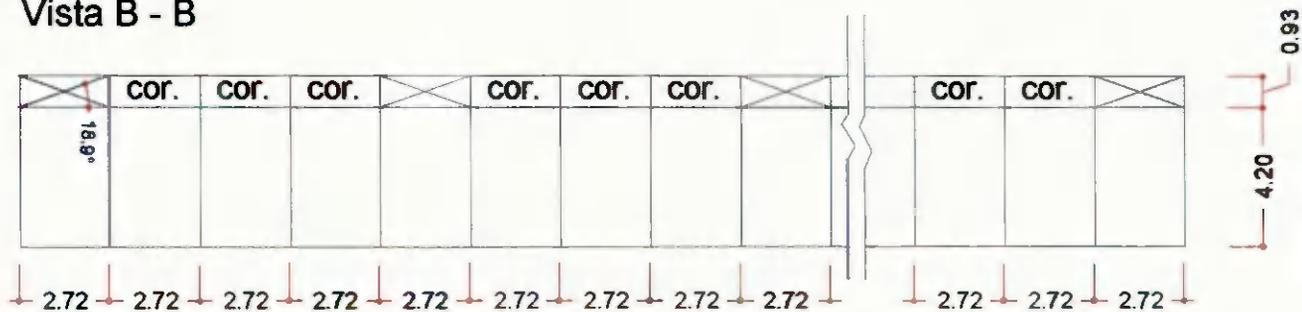
De acordo com o item 7.6.4 da NBR 7190/97, permite-se considerar a estrutura de contraventamento composta por um sistema de treliças verticais, dispostas perpendicularmente aos elementos do sistema principal, e por treliças, também dispostas perpendicularmente ao plano dos elementos do sistema principal, colocadas no plano horizontal e no plano da cobertura, colocadas nas extremidades da construção e em posições intermediárias com espaçamentos não superiores a 20 metros.

Para a elaboração dos vários projetos, de forma a atender as três situações de aviários estudadas, foi considerado contraventamento vertical a cada três vãos, em todas as situações, como indicam as Figuras 06 e 07. Os vãos sem treliças estão interligados aos contraventados por intermédio de correntes.



Contraventamento vertical dos montantes n° 3 e 19

Vista B - B



Contraventamento vertical do montante n° 11

Vista A - A

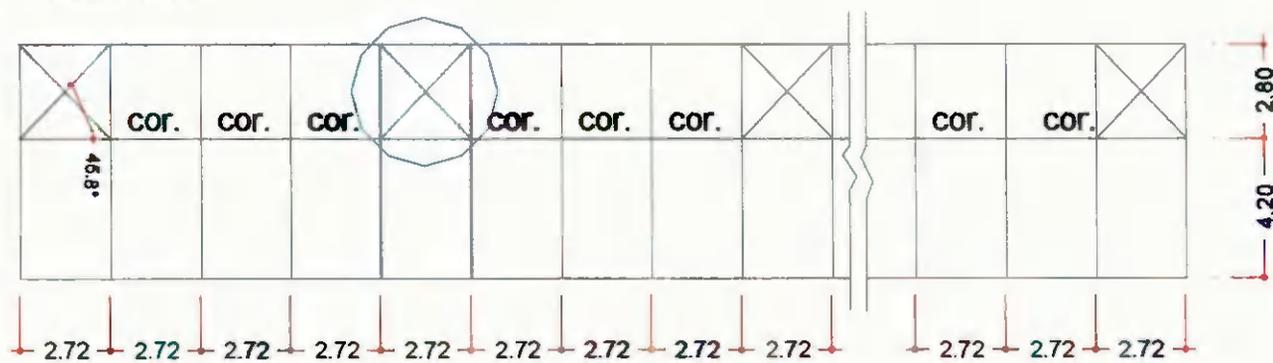


FIGURA 06 – Arranjos dos contraventamentos

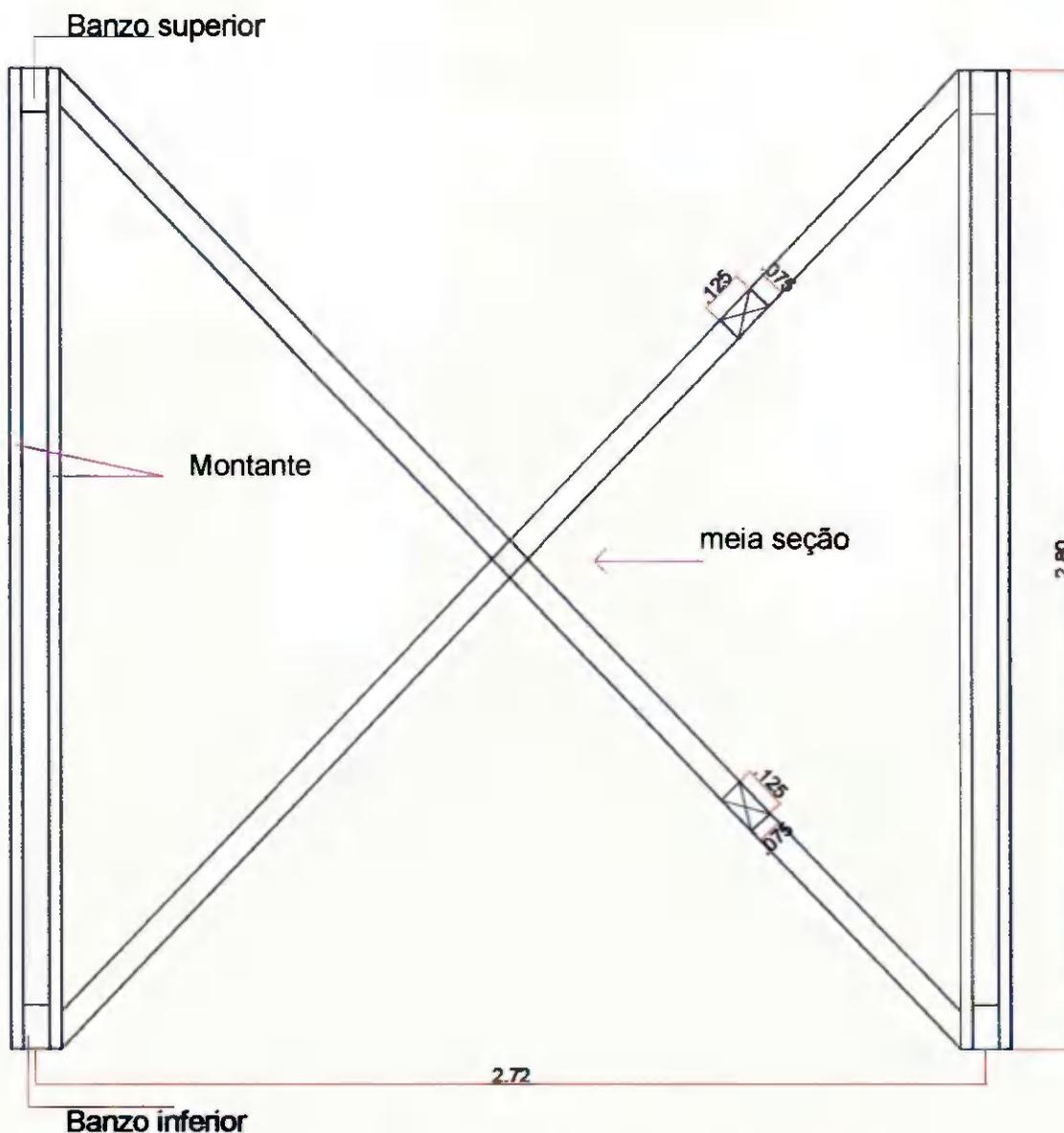


FIGURA 07 – Detalhe do contraventamento vertical

O contraventamento horizontal é colocado nas extremidades e na parte central do aviário (de modo que haja coincidência com o contraventamento vertical), para as situações com oitões em alvenaria. Com relação a situação de aviário com oitões abertos, as treliças horizontais são localizadas a cada três vãos, coincidentes com as treliças verticais.

4.3 Estrutura Principal: Treliça do tipo Howe

As estruturas de cobertura têm como função principal dar sustentação aos elementos integrantes do telhado, ou seja, às próprias telhas, às terças, aos caibros, às ripas, ao sistema de contraventamento, dentre outros.

As estruturas treliçadas são vigas dispostas de tal modo que, em função da geometria e da forma de carregamento (aplicado aos nós), é possível considerar que as barras sejam submetidas a esforços internos axiais de tração ou compressão paralela às fibras.

As hipóteses de cálculo para o dimensionamento dos elementos estruturais que compõem as treliças, são as seguintes:

- estrutura isostática internamente;
- os nós são considerados rótulas ideais;
- esquema estático externo: estrutura isostática, com um apoio rotulado fixo e um apoio rotulado móvel;
- os carregamentos externos são transferidos para a estrutura na forma de cargas concentradas aplicadas nos nós;
- material trabalhando na fase elástica linear, ou seja, na faixa de validade de Lei de Hooke;
- módulo de elasticidade longitudinal (E_{c0}) constante para toda a peça;
- consideração apenas de esforços axiais (tração e compressão);
- peso próprio de cada elemento estrutural concentrado em sua extremidade, não considerando efeito de flexão e cisalhamento ao longo da peça;
- seções nominais de vigas disponíveis no mercado: 7,5cmx7,5cm, 7,5cmx10cm, 7,5cmx12,5cm, 7,5cmx15cm e 7,5cmx20cm;
- seções nominais de caibros e ripas: 5cmx7cm (caibrão) e 1,5cmx4cm (ripa);
- ligações através de parafusos passantes;
- planta da edificação: 12m de largura por 125m de comprimento (Figura 08), com três situações a considerar:
 - 1ª) oitões em alvenaria e ventilação artificial lateral
 - 2ª) oitões em alvenaria e ventilação natural (lanternim)

3ª) oitões abertos (treliças nas extremidades) com túnel de vento no sentido longitudinal;

- paredes laterais em todas as situações são executadas em tela com malha de 1/2" (12,5 mm) e cortina de polietileno;
- telhado com duas águas, simétrico e inclinação de 25°;
- pé-direito do aviário igual a 4,20m;
- cobertura com telha de barro, do tipo canal;
- peso médio da telha, na região, é da ordem de 35 daN/m²;
- comprimento máximo das vigas de madeira é de 7,00m.

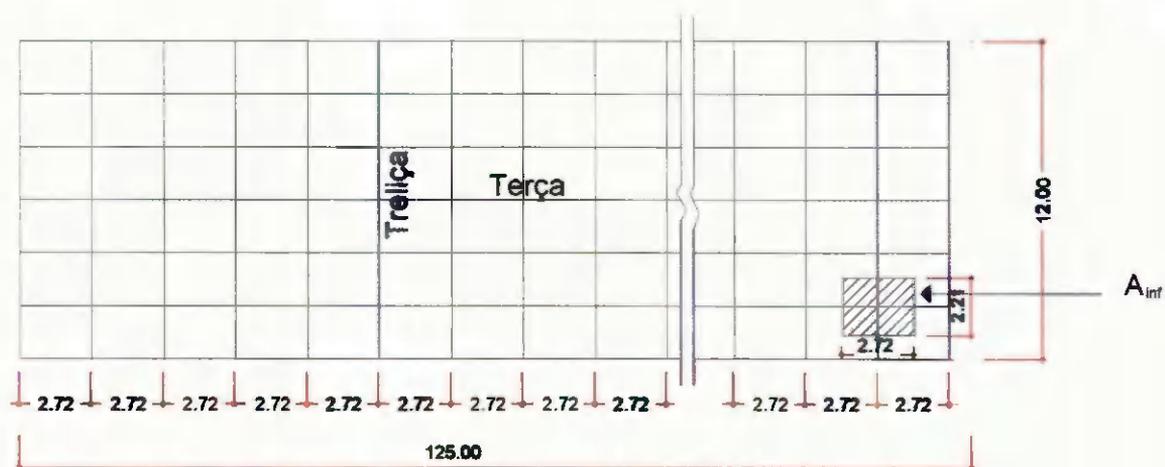


FIGURA 08 – Esquema das treliças e terças

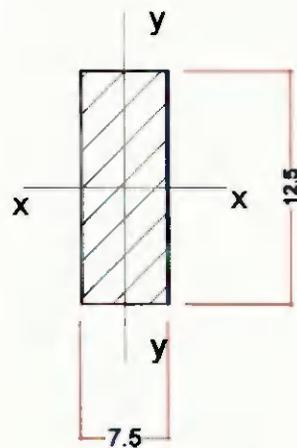
Para atender o objetivo inicialmente proposto, foram elaborados vários projetos considerando todas as hipóteses acima, para as duas espécies de madeira, com vão teórico de 12m, no intuito de se obter um projeto padrão, viável, do ponto de vista técnico e econômico, para a região.

Os procedimentos utilizados para a obtenção dos resultados é ilustrado através do exemplo de cálculo apresentado a seguir, para o qual é considerado a espécie roxinho, aviário com oitões em alvenaria e ventilação artificial lateral (primeira situação), espaçamento entre treliças 2,72m e vão teórico do aviário de 12m.

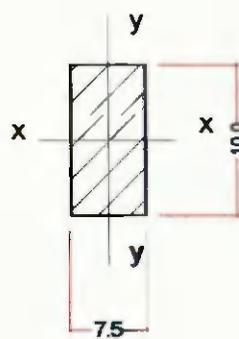
4.3.1 Geometria da Treliça

a) parâmetros geométricos

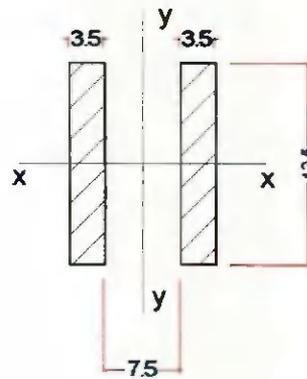
- seções transversais simples dos banzos (superior e inferior): 7,5cm x 12,5cm indicada na Figura 09;
- seções transversais simples das diagonais: 7,5cm x 10cm conforme mostra a Figura 09;
- seções transversais duplas dos montantes: duas peças de 3,5cm x 12,5cm como na Figura 09.



Banzos superior e inferior



Diagonais



Montantes

FIGURA 09 – Seção transversal das barras da treliça

b) disposição geométrica das barras

A disposição geométrica das barras da treliça está indicada na Figura 10.

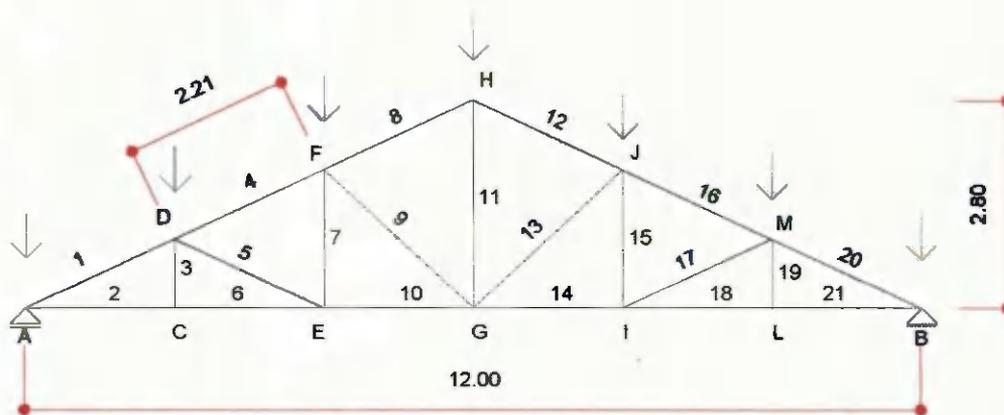


FIGURA 10 – Geometria das treliças (1ª e 3ª situações)

A geometria da treliça para o aviário com lanternim está mostrada na Figura 11. O detalhe do lanternim se apresenta em Anexo.

c) cálculo das grandezas geométricas

- momentos de inércia e área da seção transversal referentes aos banzos:

- $I_x = 1221\text{cm}^4$
- $I_y = 439\text{cm}^4$
- $A = 93,75\text{cm}^2$
- momentos de inércia e área da seção transversal referentes às diagonais:
- $I_x = 625\text{cm}^4$
- $I_y = 352\text{cm}^4$
- $A = 75,00\text{cm}^2$
- seção transversal referente aos montantes:
- $A = 87,50\text{cm}^2$

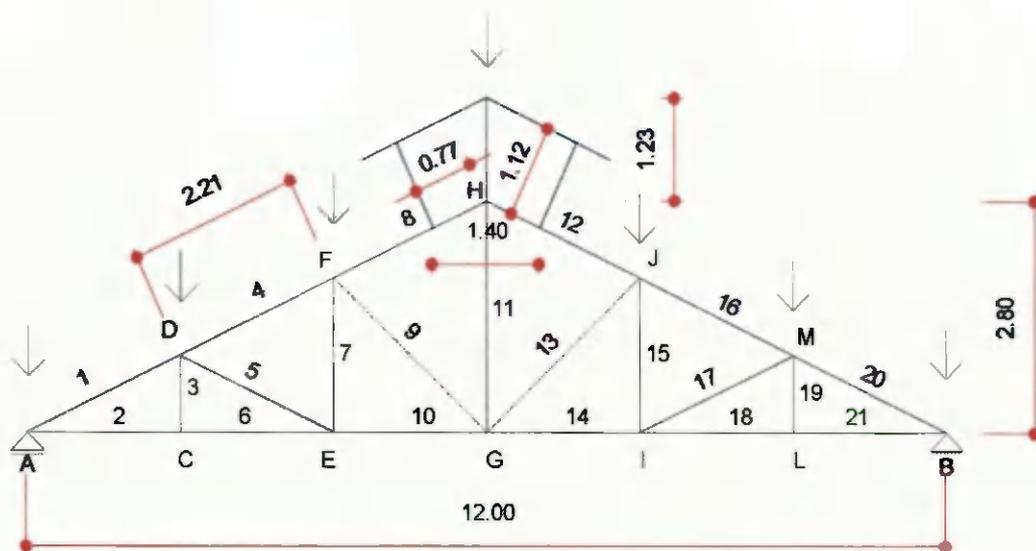


FIGURA 11 – Geometria das treliças (2ª situação)

4.3.2 Ações, Carregamentos e Esforços Internos

4.3.2.1 Ação Variável - Vento

A força devida ao vento atua perpendicularmente à superfície do telhado. A ação externa proveniente da ação do vento é transferida para a estrutura principal (treliça) por meio de cargas concentradas aplicadas pelas estruturas secundária (terças, caibros e ripas). De acordo com a NBR 6123/1988), item 4.2.2, calcula-se a força em cada nó da treli-

ça da seguinte forma:

$$F = (C_e - C_i) q A_{inf} \quad (9)$$

F = força do vento;

C_e = coeficiente de forma externo;

C_i = coeficiente de forma interno = coeficiente de pressão interna;

q = pressão dinâmica do vento;

A_{inf} = área de influência do nó da treliça, conforme indica a Figura 08.

De acordo com o item 4.2 da NBR 6123/1988, a pressão dinâmica do vento é dada, em N/m^2 , por:

$$q = 0.613 v_k^2 \quad (9.1)$$

v_k = velocidade característica do vento, em m/s

$$v_k = v_o S_1 S_2 S_3 \quad (9.2)$$

onde,

v_o = velocidade básica do vento;

S_1 = fator topográfico;

S_2 = fator que considera o efeito combinado da rugosidade do terreno, variação da velocidade do vento com a altura acima do terreno e as dimensões da edificação ou parte dela;

S_3 = fator estatístico.

Para os projetos foram considerados os seguintes valores:

$v_o = 30m/s$, de acordo com as isopletras da velocidade básica (Figura 1 da NBR 6123/1988);

$S_1 = 1,00$ (item 5.2.a da NBR 6123/1988);

$S_2 = 0,88$ (Tabela 2 da NBR 6123/1988, para $z \leq 5m$, categoria III e classe A);

$S_3 = 0,95$ (Tabela 3 da norma).

Através das eqs. (9.2) e (9.1) determina-se:

$v_k = 25,1m/s$;

$q = 386N/m^2$ ou $q = 38,6daN/m^2$.

Os coeficientes de forma para a situação de cálculo apresentada são os seguintes:

a) aviário fechado com vento a 0° (oitão impermeável)

- $C_e = -0,7$ (Tabela 5 da NBR 6123/88 para $h/b \leq 1/2$, $\theta = 25^\circ$ e $\alpha = 0^\circ$);
- $C_e = -0,2$ (item "d" das notas da Tabela 5 da NBR 6123/88 para $a/b \geq 2$);
- $C_i = -0,3$ (item 6.2.5.a da NBR 6123/88);

b) aviário fechado com vento a 90° (fachada permeável)

- $C_e = -0,2$ (Tabela 5 da NBR 6123/88 para $h/b \leq 1/2$, $\theta = 25^\circ$ e $\alpha = 90^\circ$);
- $C_e = -0,4$ (Tabela 5 da NBR 6123/88 para $h/b \leq 1/2$, $\theta = 25^\circ$ e $\alpha = 90^\circ$);
- $C_i = 0,2$ (item 6.2.5.a da NBR 6123/88);

c) aviário aberto com vento a 0°

Os coeficientes C_e e C_i têm os mesmos valores quando o aviário está fechado (alínea "a").

d) aviário aberto com vento a 90°

Segundo item 8.2.4 da norma NBR 6123/1988, quando a altura livre entre o piso e o nível da aresta horizontal mais baixa for menor que metade da largura da construção ou em situações em que haja obstruções sob ou junto à cobertura (cortina enrolada na parte superior), a cobertura deve resistir à ação do vento, na zona de obstrução, calculada para uma edificação fechada e de mesma cobertura, com:

- $C_i = 0,8$ para obstruções na borda de sotavento;
- $C_i = -0,3$ para obstruções na borda de balarvento;
- C_e tem os mesmos valores da alínea "b".

Portanto as combinações mais críticas são:

$C_e - C_i = 0,1$ e $C_e - C_i = -1,2$. Conseqüentemente, a força do vento será:

$$F = 0,1 \cdot 38,6 \cdot 2,72 \cdot 2,21 \therefore F = 23 \text{ daN (pressão);}$$

$$F = -1,2 \cdot 38,6 \cdot 2,72 \cdot 2,21 \therefore F = -278 \text{ daN (sucção).}$$

Componentes do vento na direção vertical:

- Nós A e B

$$F_y = 23 \cdot \cos 25^\circ / 2 \therefore F_y = 11 \text{ daN;}$$

$$F_y = -278 \cdot \cos 25^\circ / 2 \therefore F_y = -126 \text{ daN.}$$

- Demais nós

$$F_y = 23 \cdot \cos 25^\circ \therefore F_y = 21 \text{ daN;}$$

$$F_y = -278 \cdot \cos 25^\circ \therefore F_y = -252 \text{ daN.}$$

4.3.2.2 Ação Permanente

As ações permanentes decorrentes do peso próprio da madeira são obtidas de acordo com a norma brasileira NBR 7190/1997 - item 5.5.2. O peso das telhas foi adotado com base nos dados dos fabricantes locais.

De forma que para a espécie roxinho, treliças espaçadas de 2,72m e com as seções especificadas no item 4.3.1.a, tem-se:

- peso das telhas = 210 daN;
- peso próprio da treliça (nós A e B) = 17 daN;
- peso próprio da treliça (nós D e M) = 48 daN;
- peso próprio da treliça (nós F e J) = 63 daN;
- peso próprio da treliça (nó H) = 72 daN;
- peso próprio das terças = 26 daN;
- peso próprio dos caibros = 41 daN;
- peso próprio das ripas = 15 daN.

Portanto, uma primeira aproximação das cargas permanentes será:

$$\text{Nós A e B} \rightarrow F_{G,A,B} = 176 \text{ daN}$$

$$\text{Nós D e M} \rightarrow F_{G,D,M} = 340 \text{ daN}$$

$$\text{Nós F e J} \rightarrow F_{G,F,J} = 356 \text{ daN}$$

$$\text{Nó H} \rightarrow F_{G,H} = 364 \text{ daN.}$$

Considerando que a ação variável (vento de sucção) não é dominante, o carregamento crítico portanto é a combinação da ação permanente com a ação do vento de pressão e não há inversão de esforços.

4.3.2.3 Esforços Internos

Considerando que se tem apenas o carregamento oriundo da combinação da ação permanente e do vento de pressão, os banzos superiores e as diagonais estão sujeitos a esforços de compressão, enquanto que o banzo inferior e os montantes estão sujeitos a esforços de tração.

Para o dimensionamento são adotados os seguintes coeficientes:

- Estados Limites Últimos (NBR 7190/1997)
 - Coeficiente de ponderação das ações permanentes (efeito desfavorável) $\rightarrow \gamma_g = 1,3$;
 - Coeficiente de ponderação das ações variáveis (efeito favorável e desfavorável) $\rightarrow \gamma_q = 1,4$;
 - Coeficiente de ponderação da resistência para a tração paralela às fibras $\rightarrow \gamma_{wt} = 1,8$;
 - Coeficiente de ponderação da resistência para a compressão paralela às fibras $\rightarrow \gamma_{wc} = 1,4$;
 - Coeficiente de ponderação da resistência para o cisalhamento paralelo às fibras $\rightarrow \gamma_{wv} = 1,8$.
- Estados Limites de Utilização (NBR 7190/1997)
 - Coeficiente de ponderação $\rightarrow \gamma_f = 1,0$;
 - Fator de utilização $\rightarrow \Psi_2 = 0$, para o carregamento considerado;
 - Coeficiente de ponderação da resistência tem o valor básico $\rightarrow \gamma_w = 1,0$.
- Propriedades da Madeira

Para as propriedades físico-mecânicas, são adotados os valores característicos obtidos experimentalmente da resistência à compressão paralela às fibras,

da rigidez e da densidade aparente. Para as demais propriedades mecânicas foram usadas as resistências de cálculo conforme indica a Tabela 12 da NBR 7190/97.

- Coeficiente de modificação $\rightarrow k_{mod} = 0,56$ (de acordo com os itens 6.4.4, 5.2.1 e 6.1.5 - Tabela 7 da norma).

Considerando que a combinação das ações é de longa duração, onde o vento representa a ação variável principal, na verificação da segurança em relação a estados limites últimos, as solicitações nas peças de madeira devidas à ação do vento são multiplicadas por 0,75, de acordo com o item 5.5.8 da norma para estruturas de madeira.

Os valores dos esforços internos de cálculo estão apresentados no Quadro 04.

Quadro 04 - Esforço normal de cálculo N_d

El.Estrutural	Barras	N_d (daN)
B. Inferior	2 e 21	2565
	6 e 18	2565
	10 e 14	2067
B. Superior	1 e 20	-2830
	4 e 16	-2280
	8 e 12	-1701
Diagonais	5 e 17	-550
	9 e 13	-706
Montantes	3 e 19	0
	7 e 15	232
	11	943

4.3.3 Dimensionamento da Treliça nos Estados Limites

4.3.3.1 Estados Limites Últimos

Os valores de cálculo da resistência são obtidos de acordo com os itens 7.2.6 e 7.2.7 da norma, ou seja:

f_{cod} = valor de cálculo da resistência à compressão paralela às fibras ou

$$f_{cod} = 244,8 \text{ daN/cm}^2$$

f_{i0d} = valor de cálculo da resistência à compressão paralela às fibras ou

$$f_{i0d} = 244,8 \text{ daN/cm}^2.$$

Para as verificações das tensões normais nos elementos estruturais da treliça, considera-se os esforços internos do Quadro 04.

a) Tração paralela às fibras

Segundo o item 7.3.1 da norma, nas barras tracionadas axialmente, a condição de segurança é expressa por:

$$\sigma_{10d} \leq f_{10d} \quad (10)$$

σ_{10d} = valor de cálculo da tensão normal máxima na tração paralela às fibras.

- Verificação para o banzo inferior

Esforço máximo de tração $\rightarrow F_{10d} = 2565 \text{ daN}$ (barra nº 2)

Área útil $\rightarrow A_{\text{útil}} = 7,5 * [12,5 - \phi]$, para $\phi = 10 \text{ mm}$ (diâmetro do parafuso)

ou

$$A_{\text{útil}} = 86,25 \text{ cm}^2$$

Tensão máxima de tração $\rightarrow \sigma_{10d} = 29,7 \text{ daN/cm}^2$. Portanto, satisfeita a eq. (10), ou seja:

$$29,7 \text{ daN/cm}^2 < 244,8 \text{ daN/cm}^2.$$

- Verificação para o montante principal

Esforço de tração $\rightarrow F_{10d} = 943 \text{ daN}$ (barra nº 11)

Área útil $\rightarrow A_{\text{útil}} = 87,50 \text{ cm}^2$

Tensão de tração $\rightarrow \sigma_{10d} = 10,8 \text{ daN/cm}^2$. Portanto se verifica a eq. (10):

$$10,8 \text{ daN/cm}^2 < 244,8 \text{ daN/cm}^2.$$

- Verificação dos montantes secundários

Esforço de tração $\rightarrow F_{10d} = 232 \text{ daN}$ (barras nºs 7 e 15)

Área útil $\rightarrow A_{\text{útil}} = 87,50 \text{ cm}^2$

Tensão de tração $\rightarrow \sigma_{10d} = 2,6 \text{ daN/cm}^2$. Portanto se verifica a eq. (10):

$$2,6 \text{ daN/cm}^2 < 244,8 \text{ daN/cm}^2.$$

Obs.: Os montantes que constituem as barras de n^{os} 3 e 19 têm esforços nulos, portanto é desnecessária a verificação.

b) Compressão paralela às fibras e estabilidade local

- Verificação para o banzo superior

De acordo com o item 7.5.1 da norma, calcula-se o índice de esbeltez:

$$L_0 = 221 \text{ cm (barras n}^{\text{os}} \text{ 1 e 20)}$$

$$i_{\min} = 2,16 \text{ cm}$$

$$\lambda = 102$$

Então, $80 < \lambda < 140$ (peça esbelta).

Segundo o item 7.5.5 as condições de segurança relativas ao estado limite último de instabilidade são verificadas, se no ponto mais comprimido da seção transversal for respeitada a condição:

$$\frac{\sigma_{Nd}}{f_{cd}} + \frac{\sigma_{Md}}{f_{cd}} \leq 1 \quad (11)$$

σ_{Nd} = valor de cálculo da tensão de compressão devido ao esforço de compressão paralelo às fibras;

σ_{Md} = valor de cálculo da tensão de compressão devido ao momento fletor M_d .

O momento fletor oriundo das excentricidades é calculado por:

$$M_d = N_d * e_{1,ef} \left[\frac{F_E}{F_E - N_d} \right] \quad (12)$$

Para $N_d = 2830 \text{ daN}$, tem-se:

$$e_{1,ef} = e_i + e_a + e_c \quad (12.1)$$

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 a excentricidade suplementar de primeira ordem que representa a fluência da madeira.

$$e_c = e_a (e^c - 1) \quad (12.2)$$

sendo,

$$c = \frac{\phi [N_{gk} + (\psi_1 + \psi_2) * N_{qk}]}{F_E - [N_{gk} + (\psi_1 + \psi_2) * N_{qk}]} \text{ para } \Psi_1 + \Psi_2 \leq 1.$$

De acordo com o item 5.4.6 (Tabela 2 da norma NBR 7190/1997, $\Psi_1 = 0,2$ e $\Psi_2 = 0$).

$$F_E = \pi^2 E_{c0,ef} I / L_0^2 \quad (12.3)$$

Através da eq. (12.3) determina-se:

$F_E = 9994 \text{ daN}$, considerando que $E_{c0,ef} = 112\,543,2 \text{ daN/cm}^2$ (com base no valor de $E_{c0,m}$ experimental e de $K_{mod} = 0,56$).

Para $e_i = 0$ e $c_a = L_0/300$ ou $c_a = 221/300 = 0,74 \text{ cm}$, tem-se:

$e_c = 0,17 \text{ cm}$, de acordo com a eq. (12.2) e para $\phi = 0,8$ (Tabela 15 da norma).

Segundo as eqs. (12.1) e (12), determina-se respectivamente:

$e_{1,ef} = 0,91 \text{ cm}$ e $M_d = 3599 \text{ daN.cm}$.

As tensões normais atuantes têm os seguintes valores:

$\sigma_{Nd} = N_d / A$ ou $\sigma_{Nd} = 30,2 \text{ daN/cm}^2$ (originada do esforço normal de compressão)

$\sigma_{Md} = (M_d / I_{min}) * (b/2)$ ou $\sigma_{Md} = 30,7 \text{ daN/cm}^2$ (originada do momento fletor), de acordo com os conceitos da Resistência dos Materiais.

Consequentemente, verifica-se a eq. (11):

$0,25 < 1$.

- Verificação das diagonais

Considerando os esforços atuantes nas barras nºs 9 e 13 e procedendo de maneira análoga ao banzo superior, verifica-se a eq. (11):

$0,07 < 1$.

As diagonais que constituem as barras de nºs 5 e 17 estão sujeitas a esforços menores, e na geometria adotada têm mesma seção transversal e comprimentos inferiores as diagonais de nºs 9 e 13. Por isso, é desnecessária a verificação da estabilidade.

4.3.3.2 Estados Limites de Utilização

- Verificação do deslocamento no meio do vão

De acordo com o item 5.8.1 da norma, e considerando o deslocamento resultante da combinação das deformações nas barras (deformação axial) com a deformação das ligações dos nós, obtém-se o deslocamento vertical no meio do vão (u_g).

O deslocamento devido a deformação axial é calculado pela fórmula da energia de deformação:

$$u_g = \sum \frac{N \cdot \bar{N} \cdot L}{A \cdot E} \quad (13)$$

u_g = deslocamento devido à deformação axial das barras, no meio do vão;

N = esforço normal em cada barra da treliça devido a aplicação das cargas nos nós;

\bar{N} = esforço normal em cada barra da treliça devido a aplicação de uma carga unitária colocada no meio do vão e na direção vertical;

L = comprimento entre os nós de cada barra;

A = área da seção transversal de cada barra;

E = módulo de elasticidade de cada barra.

Os valores de N , \bar{N} , L e $N\bar{N}L/EA$ estão mostrados no Quadro 05.

QUADRO 05 - Valores para o cálculo da deformação axial

Barras	N (daN)	\bar{N}	L (m)	$N\bar{N}L/EA$ (m)
1-20	-2077	-1,2	2,21	0,0005*2
4-16	-1674	-1,2	2,21	0,0004*2
8-12	-1249	-1,2	2,21	0,0003*2
2-21	1882	1,1	2,00	0,0004*2
6-18	1882	1,1	2,00	0,0004*2
10-14	1517	1,1	2,00	0,0003*2
5-17	-403	0	2,21	0
9-13	-518	0	2,70	0
3-19	0	0	0,93	0
7-15	170	0	1,87	0
11	692	1,0	2,80	0,0002

O somatório da última coluna do Quadro 05 é igual a 0,0048m.

Portanto, $u_g = 0,0048\text{m} \therefore u_g = 0,48\text{cm}$.

O deslocamento decorrente das deformações dos nós pode ser calculado, com uma boa aproximação, da seguinte forma:

$$u_g = \sum \bar{N} \Delta s \quad (14)$$

Δs = variação do comprimento da barra causado pela deformação em cada nó final da barra devida ao esforço atuante N .

Os valores de \bar{N} e Δs estão mostrados no Quadro 06, considerando os dados da Tabela 13, conforme consta em CALIL JÚNIOR (1994) e que as ações permanentes representam mais de 60% do carregamento da estrutura.

QUADRO 06 - Valores de \bar{N} e Δs para o cálculo das deformações dos nós

Barras	\bar{N}	Δs (mm)
1-20	-1,2	-2,496
4-16	-1,2	-2,496
8-12	-1,2	-2,496
2-21	1,1	2,288
6-18	1,1	2,288
10-14	1,1	2,288
5-17	0	0
9-13	0	0
3-19	0	0
7-15	0	0
11	1,0	-0,520

$$\Sigma = 13,832$$

Portanto, $u_g = 13,832$ mm ou $u_g = 1,38$ cm. Assim, o deslocamento total no meio do vão será:

$$u_{ef} = 1,86\text{cm}.$$

Segundo o item 9.2.1 da NBR 7190/97, a flecha total não pode superar 1/200 dos vãos, ou seja:

$$u_{lim} = 6\text{cm}.$$

Desta forma, verifica-se que $u_{cr} < u_{lim}$.

4.3.4 Estabilidade Global

Diante das considerações feitas no item 3.4.2 deste trabalho e após as verificações feitas em 3.4.3.3, considera-se garantida a estabilidade global da estrutura principal do aviário (treliças).

4.3.5 Dimensionamento das Ligações

Segundo os critérios de dimensionamento e com o objetivo de reduzir ao máximo o consumo de material, foram adotados parafusos com diâmetros de 10 e 12,5 milímetros nos projetos. Para o exemplo apresentado, foi utilizado o diâmetro 10mm.

4.3.5.1 Resistência de Cálculo de um Pino

Considerando R_{vd1} a resistência de um pino, correspondente a uma única seção de corte, referente ao embutimento na madeira, tem-se:

$$R_{vd1} = 0,4 \frac{t^2}{\beta} f_{ead} \quad (15)$$

t = espessura convencional da madeira;

β = parâmetro igual a t/d , sendo “d” diâmetro do parafuso;

f_{ead} = valor de cálculo da resistência ao embutimento inclinado em relação às fibras da madeira.

a) Embutimento da madeira

Segundo a NBR 7190/97 - item 7.2.5, calcula-se a resistência ao embutimento paralelo e normal às fibras da madeira.

$$f_{c0d} = 244,8 \text{ daN/cm}^2 \text{ e}$$

$$f_{c90d} = 102,8 \text{ daN/cm}^2$$

Para o cálculo da resistência ao embutimento inclinado em relação às fibras da madeira (inclinação maior que 6°), adota-se a expressão de Hankinson (item 7.2.9 da norma citada acima):

$$f_{ead} = \frac{f_{e0d} f_{e90d}}{f_{e0d} \operatorname{sen}^2 \alpha + f_{e90d} \cos^2 \alpha} \quad (16)$$

α = inclinação das fibras da madeira.

b) flexão do pino

Considerando R_{vd1} a resistência de um pino, correspondente a uma única seção de corte, referente à flexão do pino, tem-se:

$$R_{vd1} = 0,625 \frac{d^2}{\beta_{lim}} f_{yd} \quad (17)$$

para $\beta = \beta_{lim}$ e $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$, sendo $\gamma_s = 1,1$.

$$\text{Obs.: } \beta_{lim} = 1,25 \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{e0d}}}$$

A resistência de um pino, correspondente a uma seção de corte qualquer, é determinada como sendo o menor valor entre o embutimento da madeira e a flexão no pino (item 8.3 da norma NBR 719/97).

4.3.5.2 Cálculo do Número de Parafusos

No dimensionamento dos parafusos utilizados nas ligações das barras da treliça, são usados os esforços internos mostrados no Quadro 07, considerando a totalidade dos esforços devidos à ação do vento, conforme item 5.5.8 da NBR 7190/97.

a) Cobrejuntas para os nós A e B (ligação entre banzos)

$$N_d = 2874 \text{ daN (esforço crítico de compressão - barras nºs 1 e 20)}$$

$$f_{ead} = 206,1 \text{ daN/cm}^2 \text{ (segundo a eq. 16) , para } \alpha = 25^\circ.$$

Portanto, de acordo com a eq. (15) tem-se:

$R_{vdl} = 289 \text{ daN}$, para uma seção de corte (embutimento da madeira).

Então, $N_p = N_d / 2 R_{vdl}$ ou $N_p = 5$ parafusos (diâmetro de 10mm).

Conseqüentemente, cada nó extremo tem 10 parafusos de 10mm nas ligações, conforme indica a Figura 12. Outra solução seria usar ligação com entalhe de 2,5cm (altura do dente) e dois parafusos construtivos com 10mm de diâmetro.

Quadro 07 - Esforços internos para o dimensionamento dos parafusos

El. Estrutural	Barras	N_d (daN)
B. Inferior	2 e 21	2605
	6 e 18	2605
	10 e 14	2098
B. Superior	1 e 20	-2874
	4 e 16	-2315
	8 e 12	-1727
Diagonais	5 e 17	-559
	9 e 13	-717
Montantes	3 e 19	0
	7 e 15	235
	11	957

b) Ligação das barras dos nós D e M

Para a ligação entre os montantes (barras n^{os} 3 e 19) e o banzo superior é desnecessário cálculo para o número de parafusos, considerando que o esforço é nulo. Portanto, podem ser colocados 2 (dois) parafusos de 10mm, conforme item 8.3 da NBR 7190/97.

A ligação entre as diagonais (barras n^{os} 5 e 17) e o banzo superior é feita com entalhe, onde a altura do dente no banzo (medido perpendicularmente ao banzo) é de 2cm, considerando a compressão inclinada no banzo, pelo esforço na barra da diagonal. Nesta ligação é colocado um parafuso construtivo, de diâmetro 10mm.

Em resumo, as ligações dos nós D e M têm 3 (três) parafusos (diâmetro de 10 mm), em cada nó, como se apresenta na Figura 13.

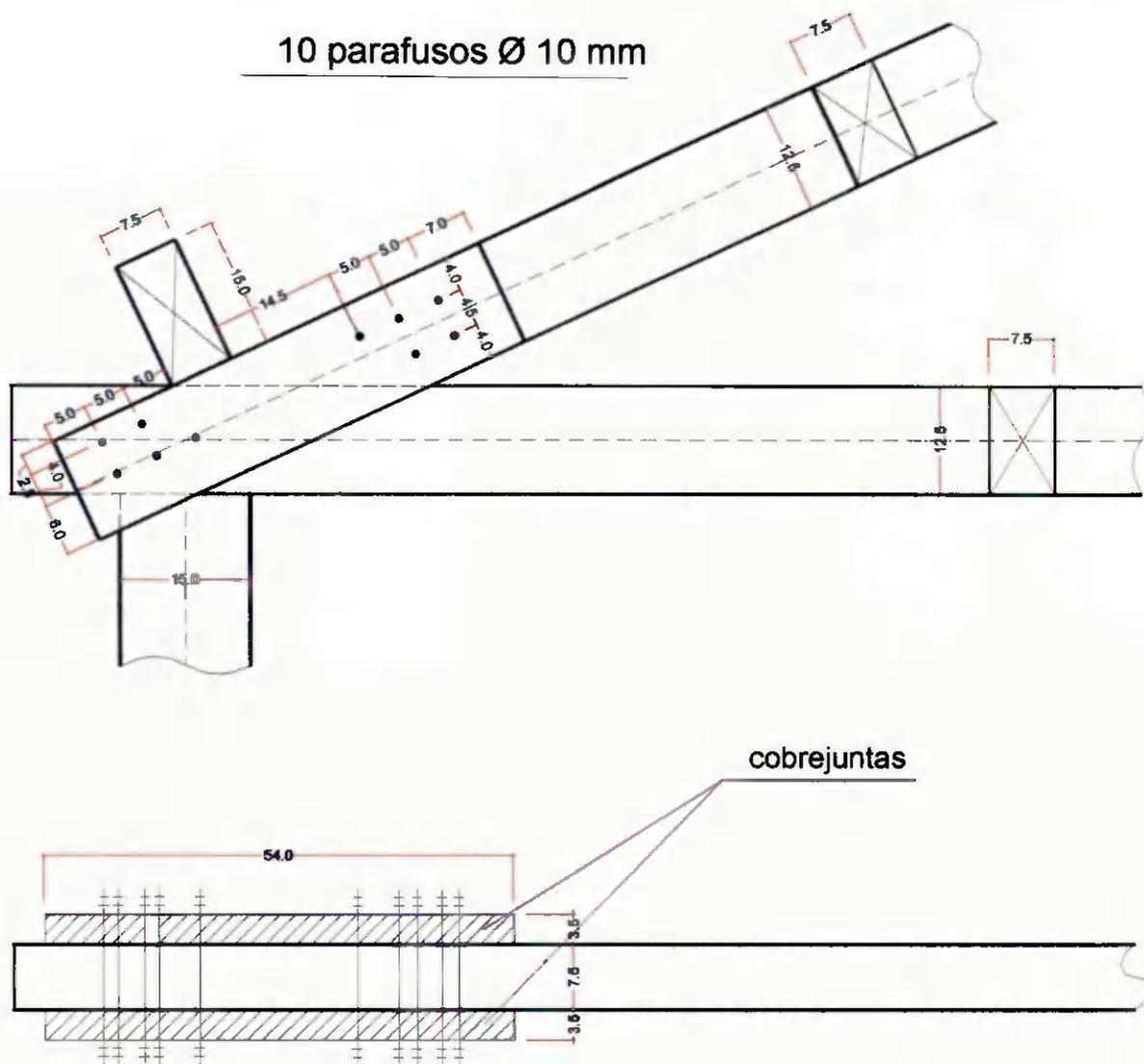


FIGURA 12 – Ligações dos banzos (nós A e B)

c) Ligação das barras dos nós C e L

É desnecessário cálculo do número de parafusos para estes nós, considerando que é nulo o esforço nos montantes (barras n^{os} 3 e 19). Portanto, podem ser usados dois parafusos, com 10mm de diâmetro, como indica a Figura 14.

d) Ligação das barras do nó G (nó central)

- entre montante principal e banzo inferior

$N_d = 957 \text{ daN}$ (esforço de tração - barra nº 11)

$f_{ec\alpha} = 119,3 \text{ daN/cm}^2$, para $\alpha = 90^\circ$ (eq. 16).

De acordo com a eq. (15), tem-se:

$R_{vd1} = 167,1 \text{ daN}$, para uma seção de corte (embutimento da madeira).

Então, $N_p = N_d / 2 R_{vd1}$ ou $N_p = 3$ parafusos (diâmetro de 10mm)

- ligação construtiva entre diagonais e montante principal

Considerando a geometria adotada no projeto, banzos e diagonais com seções transversais simples, e somente os montantes com seções duplas, a ligação (construtiva) será feita entre diagonais (barras nºs 9 e 13) e o montante principal (barra nº 11). De modo que será utilizado somente um parafuso, com 10mm de diâmetro, para cada diagonal.

Em resumo, as ligações do nó G têm 5(cinco) parafusos, com diâmetro de 10mm, conforme mostra a Figura 15.

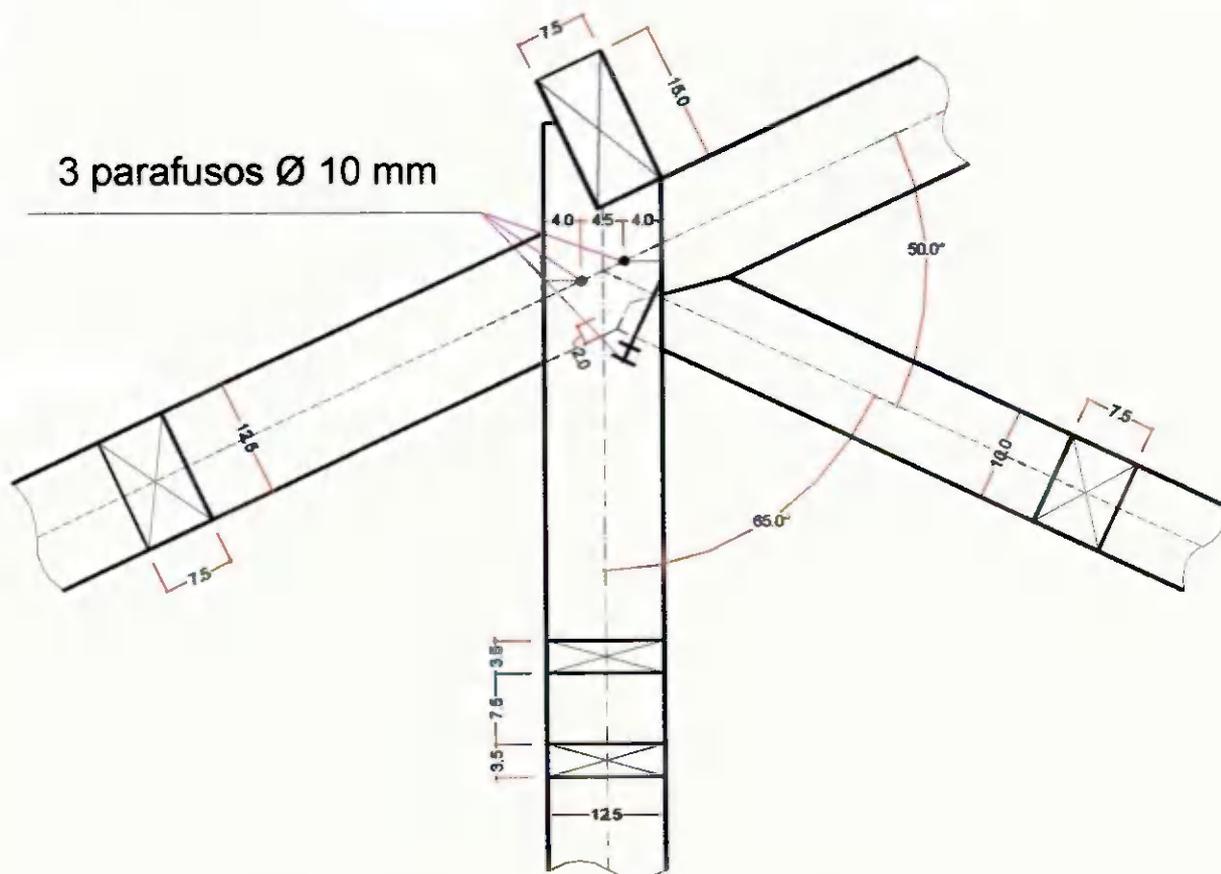


FIGURA 13 – Ligações das barras dos nós D e M

Sabendo-se que as diagonais estão de topo entre si, verifica-se então a tensão normal de compressão inclinada às fibras, devido ao esforço atuante de compressão. Para tanto, são tomados por base os itens 7.2.9 e 7.3.2 da norma, ou seja:

$$\sigma_{c0d} \leq f_{c0d} \quad (18)$$

σ_{c0d} = valor de cálculo da tensão normal de compressão inclinada às fibras ;
 f_{c0d} = valor de cálculo da resistência à compressão inclinada.

$N_d = 717 \text{ daN}$ (esforço de compressão – barras nºs 9 e 13)

$A_{\text{útil}} = bh / 2 \cos(\alpha_1)$, sendo α_1 = ângulo formado pela diagonal e a horizontal ou $\alpha_1 = 42^\circ \Rightarrow A_{\text{útil}} = 50,47 \text{ cm}^2$

$\sigma_{c0d} = N_d / A_{\text{útil}}$ ou $\sigma_{c0d} = 14,2 \text{ daN/cm}^2$.

Usando-se a eq. (16), com $f_{c0d} = 244,8 \text{ daN/cm}^2$, $f_{c90d} = 72,8 \text{ daN/cm}^2$ e $\alpha = 96^\circ$:

$f_{c0d} = 73,4 \text{ daN/cm}^2$.

Portanto, se verifica a eq. (18):

$14,2 \text{ daN/cm}^2 < 73,4 \text{ daN/cm}^2$.

A verificação do embutimento da madeira devido ao esforço de compressão da diagonal atuante sobre o banzo inferior é dada por:

$$\sigma_{ead} \leq f_{ead} \quad (19)$$

σ_{ead} = valor de cálculo da tensão de embutimento inclinado às fibras.

$N_d = 717 \text{ daN}$ (esforço de compressão - barras nºs 9 e 13)

$A = (12,5/2) * 7,5 \therefore A = 46,88 \text{ cm}^2$

$\sigma_{ead} = N_d / A$ ou $\sigma_{ead} = 15,3 \text{ daN/cm}^2$.

Usando-se a eq. (16), com $f_{c0d} = 244,8 \text{ daN/cm}^2$, $f_{e90d} = 119,3 \text{ daN/cm}^2$ e $\alpha = 42^\circ$:

$f_{ead} = 166,4 \text{ daN/cm}^2$.

Portanto, se verifica a eq. (19):

$15,3 \text{ daN/cm}^2 < 166,4 \text{ daN/cm}^2$.

e) Ligação das barras dos nós E e I

- entre montantes e banzo inferior

$$N_d = 235 \text{ daN (esforço de tração - barras nºs 7 e 15)}$$

$$f_{\text{exd}} = 119,3 \text{ daN/cm}^2, \text{ para } \alpha = 90^\circ$$

Segundo a eq. (15), tem-se:

$$R_{\text{vdl}} = 167,1 \text{ daN, para uma seção de corte (embutimento da madeira).}$$

Portanto, $N_p = N_d / 2 R_{\text{vdl}}$ ou $N_p = 1$ parafuso. A norma exige que toda ligação tenha pelo menos dois parafusos. Assim, podem ser usados dois parafusos (diâmetro de 10mm).

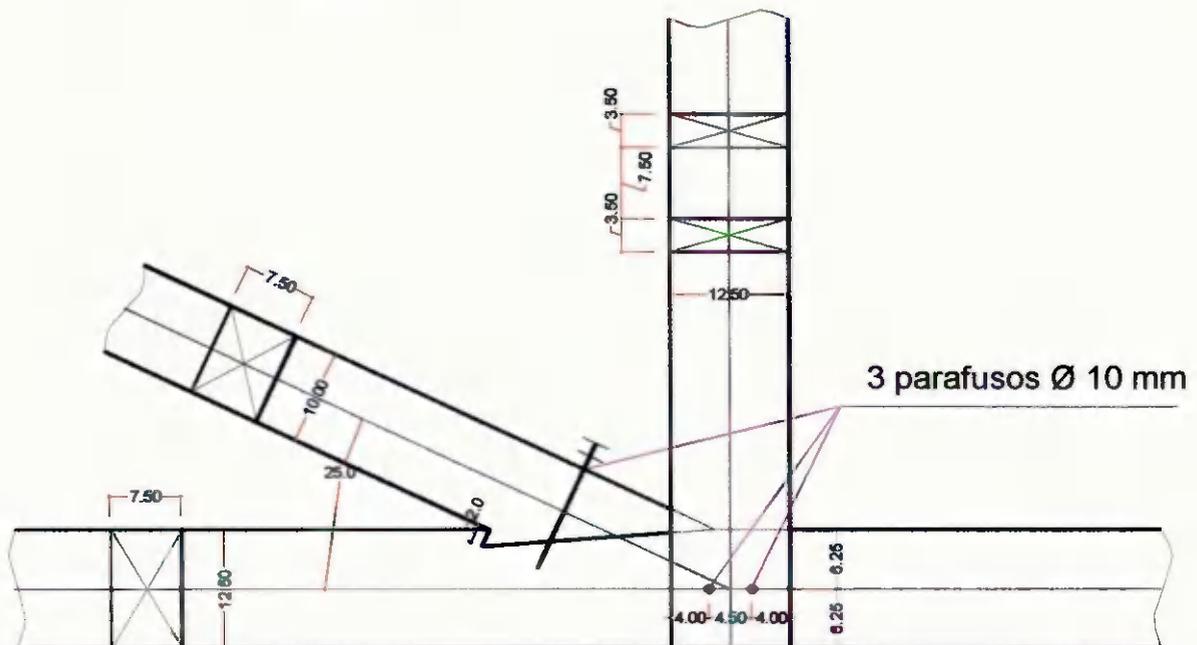


FIGURA 16 – Ligações das barras dos nós E e I

- entre as diagonais e o banzo inferior

$$N_d = 559 \text{ daN (esforço de compressão - barras nºs 5 e 17)}$$

$$f_{\text{exd}} = 206,2 \text{ daN/cm}^2, \text{ para } \alpha = 24,9^\circ$$

De acordo com a eq. (17), tem-se:

$$R_{\text{vdl}} = 335,4 \text{ daN, para uma seção de corte (flexão do pino).}$$

Portanto, $N_p = N_d / R_{vd1}$ ou $N_p = 2$ parafusos. Será adotada ligação com entalhe de 2cm de altura e um parafuso construtivo de 10mm (diâmetro).

Em resumo, as ligações dos nós E e I envolvem 3 (três) parafusos, com diâmetro de 10mm, de acordo com a Figura 16.

f) Ligações das barras dos nós F e J

- entre montantes e banzo superior

$$N_d = 235 \text{ daN (esforço de tração - barras nºs 7 e 15)}$$

$$f_{cud} = 109,4 \text{ daN/cm}^2, \text{ para } \alpha = 65^\circ$$

Segundo a eq. (15), tem-se:

$$R_{vd1} = 153,2 \text{ daN, para uma seção de corte (embutimento da madeira).}$$

Portanto, $N_p = N_d / 2 R_{vd1}$ ou $N_p = 1$ parafuso. Serão adotados dois parafusos, com 10mm de diâmetro.

- entre diagonais e banzo superior

A ligação entre as diagonais (barras nºs 9 e 13) e o banzo superior é feita com entalhe, onde a altura do dente no banzo (medido perpendicularmente ao banzo) é de 2cm, considerando a compressão inclinada no banzo, pelo esforço de compressão da diagonal. Nesta ligação é colocado um parafuso construtivo, de diâmetro 10mm.

Em resumo, as ligações dos nós F e J têm 3 (três) parafusos (diâmetro de 10mm), em cada nó, como indica a Figura 17.

g) Ligações das barras do nó H

Considerando que o montante funciona como cobrejunta para o banzo superior, tem-se:

$$N_d = 1727 \text{ daN (esforço de compressão - barra nº 8)}$$

De acordo com a eq. (15), tem-se:

$$R_{vd1} = 153,2 \text{ daN, para uma seção de corte (embutimento da madeira).}$$

Assim, $N_p = N_d / 2 R_{vd1}$ ou $N_p = 6$ parafusos, com diâmetro de 10mm, conforme mostra a Figura 18.

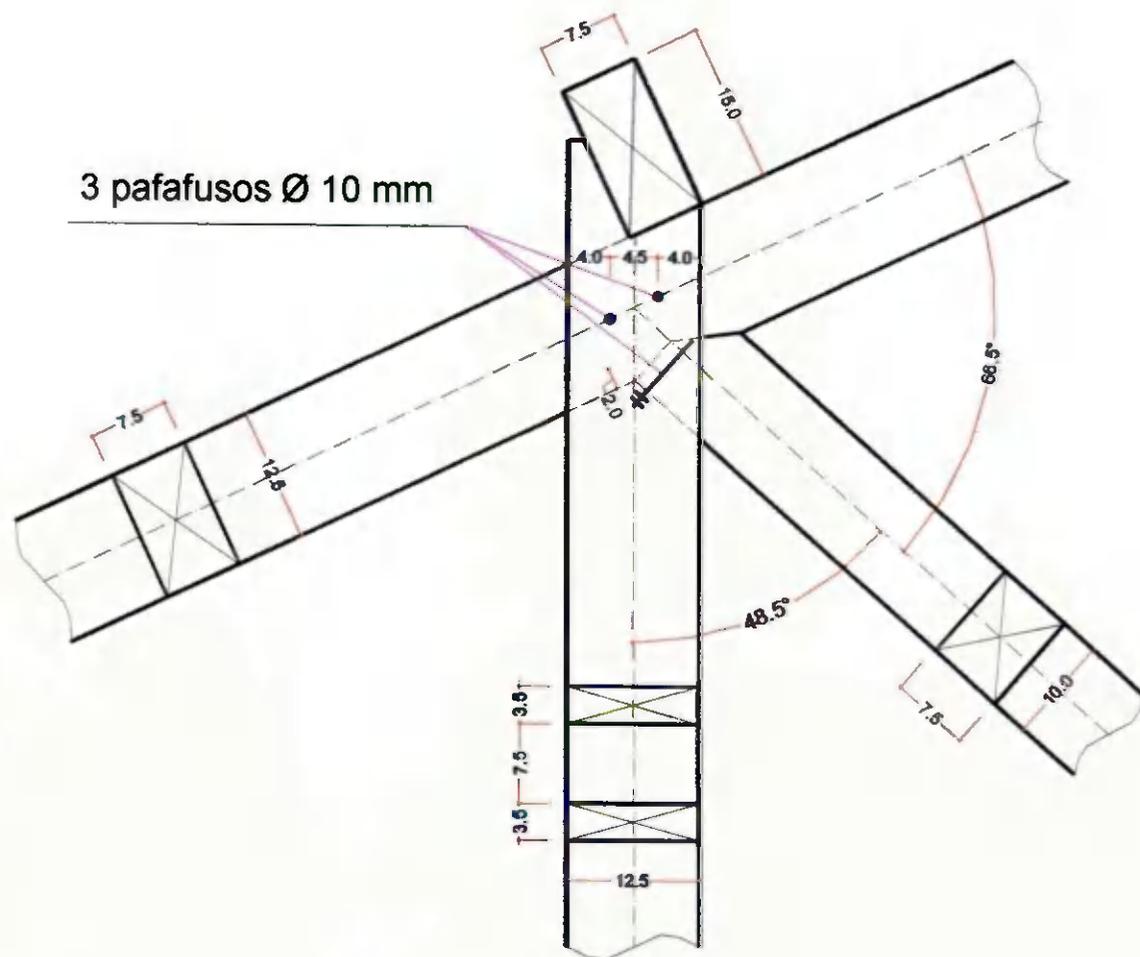


FIGURA 17 – Ligações das barras dos nós F e J

Considerando que as barras do banzo superior estão de topo entre si, verifica-se então a tensão normal de compressão inclinada às fibras, devida ao esforço atuante de compressão, tal como no caso do nó G, ou seja, faz-se a verificação da eq. (18).

$$N_d = 1727 \text{ daN (esforço de compressão - barras n}^{\text{os}} \text{ 8 e 12)}$$

$$A_{\text{útil}} = bh / 2 \cos(\alpha_1), \text{ sendo } \alpha_1 = \text{ângulo formado pelo banzo com a horizontal ou } \alpha_1 = 25^\circ \Rightarrow A_{\text{útil}} = 103,44 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{\text{c}\theta\text{d}} = N_d / A_{\text{útil}} \text{ ou } \sigma_{\text{c}\theta\text{d}} = 16,7 \text{ daN/cm}^2.$$

Usando-se a eq. (16), com $f_{\text{c}\theta\text{d}} = 244,8 \text{ daN/cm}^2$, $f_{\text{c}90\text{d}} = 62,4 \text{ daN/cm}^2$ e $\alpha = 130^\circ$:

$$f_{ced} = 90,2 \text{ daN/cm}^2.$$

Portanto, se verifica a eq. (18):

$$16,7 \text{ daN/cm}^2 < 90,2 \text{ daN/cm}^2.$$

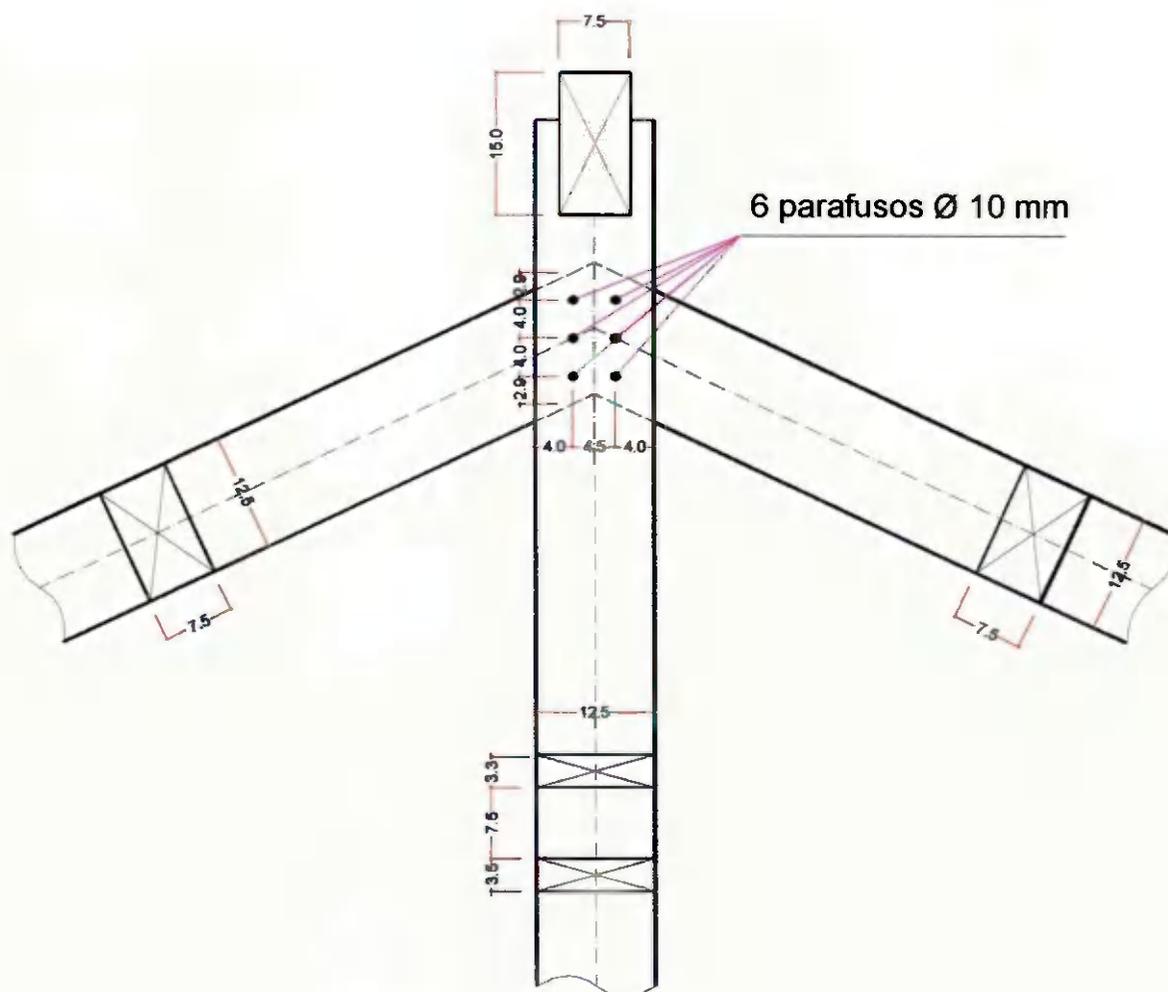


FIGURA 18 – Ligações das barras do nó H

h) Emendas

A escolha das barras para realização das emendas dos banzos se deu em função da ordem de grandeza dos esforços solicitantes e do comprimento disponível das peças no mercado (sete metros, no máximo). De modo que, para o projeto será considerado apenas uma emenda em cada banzo (superior e inferior).

- emenda do banzo superior

$N_d = 2315 \text{ daN}$ (esforço de compressão - barra nº 4)

$f_{\text{cxd}} = 244,8 \text{ daN/cm}^2$, para $\alpha = 0^\circ$

Segundo a eq. (15), tem-se:

$R_{\text{vd1}} = 342,7 \text{ daN}$, para uma seção de corte (embutimento da madeira).

Portanto, $N_p = N_d / 2 R_{\text{vd1}}$ ou $N_p = 3$ parafusos de 10mm, para cada barra do

banzo.

- emenda do banzo inferior

$N_d = 2098 \text{ daN}$ (esforço de tração - barra nº 14)

$f_{\text{cxd}} = 244,8 \text{ daN/cm}^2$, para $\alpha = 0^\circ$

De acordo com a eq. (15), tem-se:

$R_{\text{vd1}} = 342,7 \text{ daN}$, para uma seção de corte (embutimento da madeira).

De modo que, $N_p = N_d / 2 R_{\text{vd1}}$ ou $N_p = 3$ parafusos, com diâmetro de 10mm, para cada barra do banzo. A Figura 19 mostra o detalhe das emendas dos banzos superior e inferior.

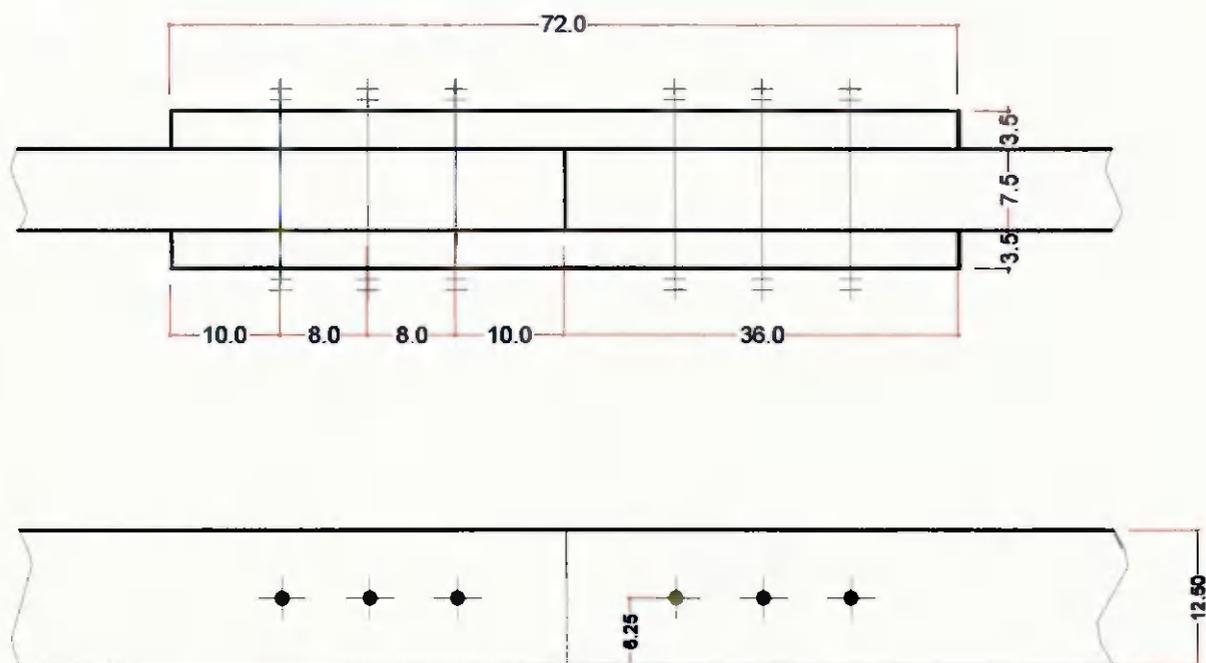


FIGURA 19 – Emendas dos banzos superior e inferior

Verificação da tensão normal de tração paralela às fibras, na barra emendada do banzo inferior (barra nº 14) e na barra nº 6 (em decorrência do entalhe), devido ao esforço de tração atuante nas respectivas barras. De forma que, a equação (10) deve ser satisfeita.

$$N_d = 2098 \text{ daN (esforço de tração - barra nº 14)}$$

$$A_{\text{útil}} = b \cdot (h - \phi) \text{ ou } A_{\text{útil}} = 86,25 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{\text{t0d}} = N_d / A_{\text{útil}} \text{ ou } \sigma_{\text{t0d}} = 24,3 \text{ daN/cm}^2$$

Considerando que $f_{\text{t0d}} = 244,8 \text{ daN/cm}^2$, portanto se verifica a eq. (10):

$$24,3 \text{ daN/cm}^2 < 244,8 \text{ daN/cm}^2, \text{ para a barra nº 14.}$$

$$N_d = 2605 \text{ daN (esforço de tração - barra nº 6)}$$

$$A_{\text{útil}} = b \cdot (h - e), \text{ onde } e = 2 \cdot \cos(25^\circ) \text{ ou } e = 1,8 \text{ cm. Assim, } A_{\text{útil}} = 80,25 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{\text{t0d}} = N_d / A_{\text{útil}} \text{ ou } \sigma_{\text{t0d}} = 32,5 \text{ daN/cm}^2. \text{ Portanto se verifica a eq. (10):}$$

$$32,5 \text{ daN/cm}^2 < 244,8 \text{ daN/cm}^2, \text{ para a barra nº 6.}$$

4.3.5.3 Espaçamento dos Parafusos

A distribuição dos parafusos em cada ligação é feita segundo o item 8.6.1 da NBR 7190/97 e está mostrada no detalhamento das ligações dos nós (Figuras 12 a 19).

Com base no dimensionamento das ligações, verifica-se um consumo de 65 parafusos, com 10mm de diâmetro e, aproximadamente, 18cm de comprimento.

4.4 Estrutura Secundária

Neste trabalho, a estrutura secundária é composta por terças, caibros e ripas. A seção escolhida para os caibros (5cm x 7cm), que recebe a denominação local de caibrão, tem por base a verificação desse elemento à flexão oblíqua.

As terças têm como função principal transferir para a treliça as ações provenientes do engradamento (caibros e ripas) e da cobertura. São solicitadas por flexo-compressão oblíqua em virtude do contraventamento. Entretanto, constata-se que o esforço normal é muito pequeno e, conseqüentemente, o valor da tensão normal proveniente da compressão é pequeno se comparado com o valor da tensão normal originada na flexão. Assim, o di-

menção é feito considerando-se a ocorrência de flexão oblíqua.

Hipóteses de cálculo:

- esquema estático considerado bi-apoiada;
- material trabalhando na fase elástica;
- módulo de elasticidade longitudinal constante para toda a peça;
- para a verificação dos deslocamentos nas direções principais, admite-se viga bi-apoiada;
- para o cálculo das tensões em relação aos eixos principais, admite-se viga isostática bi-apoiada.

Para as terças, serão feitas apenas as verificações de resistência e deslocamento para o caso mais crítico, ou seja, quando se tem a atuação das ações permanentes combinadas com a ação da carga acidental como é indicado na Figura 20.

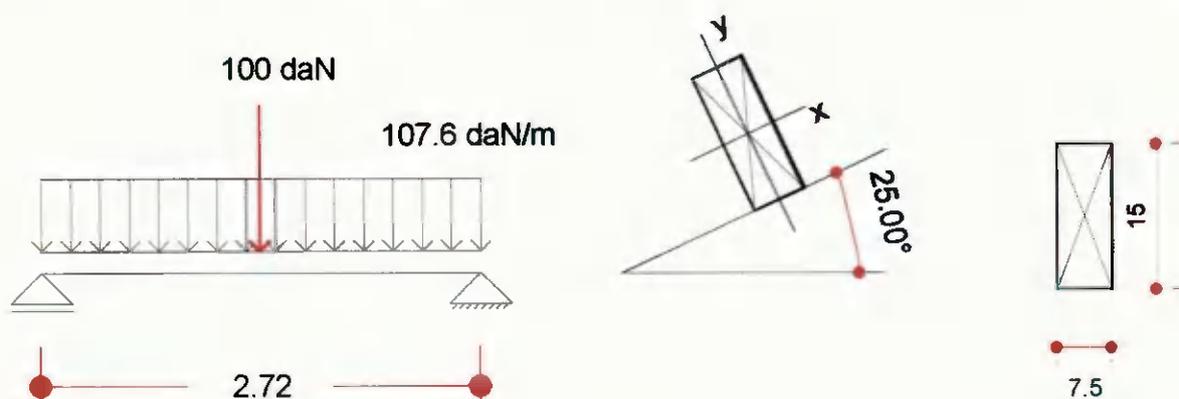


FIGURA 20 – Carregamento das terças
Unidade do vão teórico está em metros e da seção transversal em centímetros

4.4.1 Cálculo das Grandezas Geométricas

a) Momento de inércia e área da seção transversal das terças

$$A = 112,50\text{cm}^2$$

$$I_x = 2109\text{cm}^4$$

$$I_y = 527\text{cm}^4$$

b) Seção transversal dos caibros e ripas

$$A_c = 35\text{cm}^2$$

$$A_r = 6\text{cm}^2$$

c) Outros parâmetros

Espaçamento entre caibros: 37,5cm

Espaçamento entre ripas: 21cm

Vão teórico das terças: 2.72m.

4.4.2 Determinação das Ações

a) Ações permanentes

- peso próprio da terça = 9,6daN/m
 - peso próprio dos caibros = 15,2daN/m
 - peso próprio das ripas = 5,4daN/m
 - peso próprio das telhas = 77,4daN/m.
- Ação total permanente = 107,6daN/m.

b) Ações variáveis

De acordo com a NBR 6120 - item 2.2.1.4, deve-se considerar uma carga concentrada de 100daN aplicada na posição mais desfavorável da peça em estudo. De modo que a carga variável (acidental) a ser considerada na combinação das ações é de 100daN.

4.4.3 Componentes do Carregamento e Verificação dos Deslocamentos

a) Componentes do carregamento

Decompondo o carregamento nas direções X e Y, mostradas na Figura 20, tem-se:

- direção X

$$F_g = 107,6 * \text{sen } 25^\circ \text{ ou } F_g = 45 \text{ daN/m}$$

$$F_q = 100 * \text{sen } 25^\circ \text{ ou } F_q = 42 \text{ daN}$$

- direção Y

$$F_g = 107,6 * \text{cos } 25^\circ \text{ ou } F_g = 97 \text{ daN/m}$$

$$F_q = 100 * \text{cos } 25^\circ \text{ ou } F_q = 91 \text{ daN.}$$

Segundo os itens 5.4.5, 5.4.6 e 5.8.1 da norma 7190/97, as ações variáveis atuam com seus valores correspondentes à classe de carregamento de longa duração. Por isso definiu-se:

$$\psi_1 = 0 \text{ (zero)}$$

$$\psi_2 = 0,2 \text{ para os Estados Limites de Utilização.}$$

Os coeficientes de ponderação das ações e o coeficiente de modificação já foram definidos no item 4.3.2.3 deste trabalho.

b) Verificação dos deslocamentos (E. L. de Utilização)

O deslocamento é calculado segundo o item 5.8.1 da norma, como mostrado a seguir, para seção crítica considerada no meio do vão:

- deslocamento na direção X

$$u_x = \frac{5F_{gx}L^4}{384E_{c0,ef}I_x} + \frac{\Psi_2 F_{qx}L^3}{48E_{c0,ef}I_x} \quad (20)$$

- deslocamento na direção Y

$$u_y = \frac{5F_{gy}L^4}{384E_{c0,ef}I_y} + \frac{\Psi_2 F_{qy}L^3}{48E_{c0,ef}I_y} \quad (21)$$

De acordo com as eqs. (20) e (21) tem-se, respectivamente:

$$u_x = 0,15 \text{ cm}$$

$$u_y = 1,30 \text{ cm.}$$

De acordo com o item 9.2.1 da NBR 7190/97, a flecha total não deve ultrapassar $L/200$. Para a terça tem-se:

$$L/200 = 1,5 \text{ cm.}$$

$$\text{Assim, } u_x < u_{lim} \text{ e } u_y < u_{lim}.$$

4.4.4 Cálculo dos Esforços Internos

Os esforços internos mostrados a seguir são referentes às seções mais solicitadas e calculados segundo o item 5.7.1 da norma NBR 7190/97.

- a) Momento fletor máximo nas direções principais

$$M_{xd} = 182 \text{ daN.m}$$

$$M_{yd} = 85 \text{ daN.m}$$

- b) Esforço cortante máximo nas direções principais

$$V_{xd} = 102 \text{ daN}$$

$$V_{yd} = 220 \text{ daN.}$$

4.4.5 Cálculo das Tensões

- a) Tensão normal

As tensões normais atuantes máximas têm os seguintes valores:

$$\sigma_{Mxd} = 64,6 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{Myd} = 60,3 \text{ daN/cm}^2$$

As resistências de projeto já foram definidas no item 4.3.3 deste trabalho.

Segundo o item 7.3.4 da norma NBR 7190/97, a condição de segurança para tensão normal proveniente da flexão simples oblíqua é expressa pela mais rigorosa das duas equações abaixo, tanto em relação às tensões de tração quanto às de compressão.

$$\frac{\sigma_{Mxd}}{f_{wd}} + k_M \frac{\sigma_{Myd}}{f_{wd}} \leq 1 \quad (22)$$

$$k_M \frac{\sigma_{Mxd}}{f_{wd}} + \frac{\sigma_{Myd}}{f_{wd}} \leq 1 \quad (23)$$

A simetria da seção transversal torna as tensões atuantes máximas de compressão e tração paralela às fibras iguais.

- Verificação da borda comprimida (equação mais rigorosa é a 23)

A eq. (23) está satisfeita:

$$0,4 < 1.$$

- Verificação da borda tracionada (equação mais rigorosa é a 23)

A eq. (23) está satisfeita:

$$0,4 < 1.$$

b) Tensão tangencial

De acordo com a NBR 7190/97 - item 7.4.1, a condição de segurança em relação às tensões cisalhantes é:

$$\tau_d \leq f_{vd} \quad (24)$$

Em vigas de seção transversal retangular, de largura b e altura h, tem-se:

$$\tau_d = \frac{3 V_d}{2 bh} \quad (25)$$

A resistência de projeto f_{vd} é calculada de acordo com a Tabela 12 do item 7.2.7 da norma NBR 7190/97, ou seja:

$$f_{vd} = 24 \text{ daN/cm}^2$$

As tensões cisalhantes máximas atuantes têm os seguintes valores, de acordo com a eq. (25):

$$\tau_{xd} = 1,4 \text{ daN/cm}^2$$

$$\tau_{yd} = 2,9 \text{ daN/cm}^2$$

Portanto se verifica a eq. (24):

$$1,4\text{daN/cm}^2 < 24\text{daN/cm}^2 \text{ e}$$

$$2,9\text{daN/cm}^2 < 24\text{daN/cm}^2.$$

4.4.6 Verificação da Estabilidade Lateral

A verificação da estabilidade lateral é feita com base na contribuição do travamento proporcionado por caibros e ripas e no item 7.5.6. da NBR 7190/97. Se dispensa a verificação da segurança em relação ao estado limite último de instabilidade lateral, desde que sejam satisfeitas as exigências do item 7.3.3 da mesma norma e quando é satisfeita a equação abaixo:

$$\frac{L_1}{b} < \frac{E_{c0,ef}}{\beta_M f_{c0d}} \quad (26)$$

onde, $L_1 = 272\text{cm}$, $\beta_M = 8,8$ (Tabela 16 da norma). Para o caso em questão, tem-se:

$$36 < 52.$$

Portanto, está atendida a desigualdade da eq. (26), e para o vão teórico considerado (272cm), não haverá perda de estabilidade lateral e, conseqüentemente, é desnecessário travamento intermediário.

4.5 Dimensionamento do Contraventamento Vertical

Considerando a situação do contraventamento vertical do montante principal (barra nº 11), por apresentar maior índice de esbeltez e, levando-se em conta que a seção transversal deve ter a mesma altura "h" do montante devido as ligações, o contraventamento apresenta as características a seguir:

4.5.1 Características Geométricas da Seção Transversal

$$A = 7,5\text{cm} * 12,5\text{cm} \text{ ou } A = 93,75\text{cm}^2$$

$$I_x = 1221\text{cm}^4; I_y = 439\text{cm}^4$$

$$i_x = 3,61\text{cm} ; i_y = 2,17\text{cm}$$

4.5.2 Índice de Esbeltez da Peça

De acordo com a Figura 06 tem-se:

$$\lambda = \frac{L_0}{i} = \frac{\sqrt{272^2 + 280^2} / 2}{2,17} = 90. \text{ Portanto, se trata de peça esbelta.}$$

4.5.3 Inclinação da Diagonal do Contraventamento

$$\theta_c = \text{arctg} \frac{280}{272} \therefore \theta_c = 45,8^\circ$$

4.5.4 Esforço Normal

$$N_{cd} = \frac{N_d}{150} \times \frac{1}{\cos(\theta_c)} \therefore N_{cd} = 27,1 \text{ daN (por tramo), considerando que}$$

$N_d = 2830 \text{ daN}$ (esforço máximo de compressão no banzo superior).

4.5.5 Condição de Estabilidade da Peça

A condição de estabilidade se verifica através da eq. (11).

$$\sigma_{Nd} = \frac{N_{cd} \times 3 \text{ tramos}}{A} \therefore \sigma_{Nd} = 0,87 \text{ daN/cm}^2$$

$$e_a = \frac{L_0}{300} \therefore e_a = 0,65 \text{ cm}$$

$$F_E = \frac{\pi^2 E_{c0.cf} I}{L_0^2} \therefore F_E = 12813 \text{ daN, segundo a eq. (12.3)}$$

$c = 0,000876 \text{ cm}$; $e_c = 0,00057 \text{ cm}$; $e_{1,cf} = 0,65 \text{ cm}$, de acordo com as eqs.

(12.2 e 12.1)

$M_d = 53,2 \text{ daN.cm}$, conforme eq. (12).

$\sigma_{Md} = 0,45 \text{ daN/cm}^2$. De forma que a equação (11) é satisfeita, ou seja:

$$\frac{0,87}{244,8} + \frac{0,45}{244,8} = 0,005 \ll 1.$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Compressão Paralela às Fibras e Rigidez

Os valores da compressão paralela às fibras, rigidez e umidade da madeira, obtidos nos ensaios realizados, encontram-se em Anexo.

Os resultados corrigidos da compressão paralela às fibras (em ordem crescente dos valores) e da rigidez, para a umidade padrão de 12%, estão na Tabela 01. Estão incluídos os valores para a espécie ipê, que em virtude do preço elevado, foi descartada dos projetos.

TABELA 01 - Compressão paralela às fibras (f_{co}) e rigidez (E_{co}) a 12% de umidade

ROXINHO		MAÇARANDUBA		IPÊ	
f_{co} (MPa)	E_{co} (MPa)	f_{co} (MPa)	E_{co} (MPa)	f_{co} (MPa)	E_{co} (MPa)
61,1	19.437	58,3	19.091	93,6	20.254
61,4	13.767	58,8	20.077	95,5	25.438
66,9	23.833	64,0	18.876	96,6	18.614
72,9	20.138	64,1	21.254	101,7	22.578
80,3	21.285	67,1	18.573	102,3	24.218
91,9	22.122	67,4	26.869	104,2	24.160

Com base nos resultados da Tabela 01, foi realizada a análise estatística para delineamento inteiramente casualizado da compressão paralela às fibras, a 12% de umidade, das diferentes espécies de madeira, como se apresenta na Tabela 02.

Através da análise de variância, verifica-se que os parâmetros analisados apresentam diferenças estatísticas significativas ao nível de 1% de probabilidade, conforme

mostra a Tabela 03.

TABELA 02 - Compressão paralela às fibras, a 12% de umidade - f_{c0} (MPa)

TRATAMENTOS	REPETIÇÕES					
	1	2	3	4	5	6
Roxinho	61,1	61,4	66,9	72,9	80,3	91,9
Maçaranduba	58,3	58,8	64,0	64,1	67,1	67,4
Ipê	93,6	95,5	96,6	101,7	102,3	104,2

TABELA 03 - Teste para comparação de variâncias (teste "F")

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	2	4127,4194	2063,7097	34,71**
Resíduo	15	891,8696	59,4580	
Total	17	5019,2891		

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade

Para a comparação das médias, foi aplicado o teste de Tukey a 5% de probabilidade. A Tabela 04 contém os dados médios da compressão paralela às fibras, a 12% de umidade. Comparando os valores médios obtidos, observa-se que não houve diferença significativa entre as espécies roxinho e maçaranduba. Entretanto, há diferença entre as médias de ambas e a média do ipê.

TABELA 04 - Valores médios da compressão paralela às fibras em MPa

Tratamento	Médias	Medidas estatísticas
Roxinho	72,4167 b	MG = 78,2278
Maçaranduba	63,2833 b	CV% = 9,8570
Ipê	98,9833 a	DMS = 11,5530

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si

O valor médio da compressão paralela às fibras do roxinho é 72,4MPa, para

coeficiente de variação do lote $CV\% = 16,6$ e o da maçaranduba é $63,3\text{MPa}$, com $CV\% = 6,2$. De acordo com SOUZA *et al.*, (1997), a resistência média à compressão paralela às fibras, determinada pelas normas da Comissão Pan-americana de Normas Técnicas (COPANT), da maçaranduba é $64,8\text{MPa}$ e do roxinho $92,3\text{MPa}$. Portanto, se verifica uma proximidade dos valores da maçaranduba e uma divergência entre os resultados do roxinho.

Os valores médios determinados para o módulo de elasticidade paralelo às fibras do roxinho é 20.097MPa , para coeficiente de variação $CV\% = 17,2$ e da maçaranduba 20.790MPa , com $CV\% = 15,1$. Segundo o mesmo autor, o módulo de elasticidade à flexão do roxinho é 18.100MPa e da maçaranduba 13.800MPa , o que corresponde ao módulo de elasticidade, na compressão paralela às fibras, da ordem de 20.111MPa e 15.333MPa , respectivamente, de acordo com o item 6.3.4 da NBR 7190/1997. De modo que, há uma proximidade dos valores do roxinho e uma divergência entre os resultados da maçaranduba.

O valor característico da resistência à compressão paralela às fibras é $61,2\text{MPa}$ para roxinho e $58,4\text{MPa}$ para maçaranduba. De forma que ambas as madeiras podem ser consideradas da classe C60.

5.2 Propriedades Físicas da Madeira

O teor de umidade dos corpos-de-prova está apresentado nas tabelas em Anexo.

Seguindo a metodologia de LOGSDON (1992), os valores encontrados para a densidade aparente média foram 852Kg/m^3 , com coeficiente de variação $CV\% = 6,2$ para roxinho, e 1008Kg/m^3 para maçaranduba, com coeficiente de variação $CV\% = 5,2$. Para ambas as madeiras, SOUZA (1997) apresenta o valor médio de 1000Kg/m^3 .

5.3 Dimensões Finais da Estrutura Principal

De acordo com as hipóteses de cálculo feitas para o dimensionamento no item 4.3, da seção Dimensionamento das Coberturas para Aviários, e após o desenvolvimento de todos os projetos, nos estados limites, foram obtidas várias composições de se-

ções transversais para as treliças nas três situações de aviários estudadas.

Vale ressaltar que os projetos foram elaborados com os valores experimentais encontrados, para a resistência característica f_{c0k} , módulo de elasticidade médio E_{c0m} e densidade aparente ρ_{ap} , de ambas as espécies de madeira.

Os resultados estão apresentados nos Quadros 08, 09 e 10.

5.4 Dimensões Finais da Estrutura Secundária (Terças)

Os valores obtidos no cálculo das terças também se apresentam nos Quadros 08, 09 e 10.

O dimensionamento das terças no estado limite de utilização, restringiu o espaçamento entre treliças, ou seja, 3,00m no máximo, conforme pode ser visto.

QUADRO 08 - Tipos de composições das seções para as treliças e terças

1ª Situação de Aviário	Elemento Estrutural / Opção	Seção (cm x cm)	Terças (m)	Nº de Terças	Espécie de madeira
Oitões em alvenaria s/ lanternim	Banzos Diagonais Montantes Terças (1)	7,5x20 7,5x15 2x3,5x20 7,5x20	2,98	7	Roxinho e Maçaranduba
	Banzos Diagonais Montantes Terças (2)	7,5x15 7,5x12,5 2x3,5x15 7,5x20	2,98	7	Roxinho
	Banzos Diagonais Montantes Terças (2)	7,5x15 7,5x12,5 2x3,5x15 7,5x15	2,72	7	Maçaranduba
	Banzos Diagonais Montantes Terças (3)	7,5x12,5 7,5x10 2x3,5x12,5 7,5x15	2,72	7	Roxinho e Maçaranduba

A opção está indicada no parêntese

QUADRO 09 - Tipos de composições das seções para as treliças e terças

2ª Situação de Aviário	Elemento Estrutural / Opção	Seção (cm x cm)	Nº de Terças	Vão teórico das Terças (m)	Espécie de madeira
Oitões em alvenaria c/ lanternim	Banzos	7,5x20	9	2,98	Roxinho e Maçaranduba
	Diagonais	7,5x15			
	Montantes	2x3,5x20	2		
	Terças principais	7,5x20			
Terças extremas	7,5x15				
Peças laterais (1)	7,5x15				
Oitões em alvenaria c/ lanternim	Banzos	7,5x15	9	2,98	Roxinho
	Diagonais	7,5x12,5			
	Montantes	2x3,5x15	2		
	Terças principais	7,5x20			
Terças extremas	7,5x15				
Peças laterais (2)	7,5x15				
Oitões em alvenaria c/ lanternim	Banzos	7,5x15	9	2,72	Maçaranduba
	Diagonais	7,5x12,5			
	Montantes	2x3,5x15	2		
	Terças principais	7,5x15			
Terças extremas	7,5x12,5				
Peças laterais (2)	7,5x15				
Oitões em alvenaria c/ lanternim	Banzos	7,5x12,5	9	2,72	Roxinho e Maçaranduba
	Diagonais	7,5x10			
	Montantes	2x3,5x12,5	2		
	Terças principais	7,5x15			
Terças extremas	7,5x12,5				
Peças laterais (3)	7,5x15				

A opção está indicada no parêntese

QUADRO 10 - Tipos de composições das seções para as treliças e terças

3ª Situação de Aviário	Elemento Estrutural	Seção (cm x cm)	Terças (m)	Nº de Terças	Espécie de madeira
Oitões abertos	Banzos Diagonais Montantes Terças (1)	7,5x20 7,5x15 2x3,5x20 7,5x20	2,98	7	Roxinho e Maçaranduba
	Banzos Diagonais Montantes Terças (2)	7,5x15 7,5x12,5 2x3,5x15 7,5x15	2,72	7	Roxinho e Maçaranduba
	Banzos Diagonais Montantes Terças (3)	7,5x12,5 7,5x10 2x3,5x12,5 7,5x15	2,72	7	Roxinho e Maçaranduba

A opção está indicada no parêntese

5.5 Dimensões Finais das Estruturas de Contraventamento

O contraventamento vertical tem diagonais com seções transversais e comprimento, conforme indica o Quadro 11.

QUADRO 11 - Contraventamento vertical

Situação do Aviário	Opção	Montante Principal		Montantes nºs 3 e 19	
		Diagonal (m)	Seção (cm x cm)	Diagonal (m)	Seção (cm x cm)
1, 2 e 3	1	4,10	7,5 x 20	3,12	7,5 x 20
1 e 2	2	4,10	7,5 x 15	3,12	7,5 x 15
1,2 e 3	2	3,90	7,5 x 15	2,87	7,5 x 15
1, 2 e 3	3	3,90	7,5 x 12,5	2,87	7,5 x 12,5

O Quadro 12 mostra os resultados do contraventamento horizontal, sendo que para a terceira situação de aviário (oitões abertos com treliças nas extremidades) o

contraventamento é intercalado a cada 3 trechos e, nos demais casos, colocado nas extremidades e no meio do aviário.

QUADRO 12 - Contraventamento horizontal

Situação do Aviário	Opção	Diagonais (m)	Seção (cm x cm)
1, 2 e 3	1	3,59	7,5 x 20
1 e 2	2	3,59	7,5 x 15
1,2 e 3	2	3,38	7,5 x 15
1, 2 e 3	3	3,38	7,5 x 12,5

5.6 Consumo de Material

O consumo de madeira por unidade de área coberta, para todas as situações estudadas, está mostrado no Quadro 13, e nas Figuras 21 (roxinho) e 22 (maçaranduba).

QUADRO 13 - Consumo de madeira por unidade de área coberta

Situação do Aviário	Opção	Volume da Trelça (m ³)	Volume da Terça (m ³)	Volume de Caibros/Ripas (m ³)	Consumo do Contraventamento (m ³ /m ²)	Consumo de Madeira (m ³ /m ²)
Oitões alven. s/ lantern.	1	0,608	0,315	0,444	0,004	1,503
	2	0,465	0,315	0,444	0,003	1,345
	2	0,465	0,217	0,387	0,003	1,074
	3	0,384	0,217	0,387	0,003	0,993
Oitões alven. c/ lantern.	1	0,648	0,473	0,444	0,004	1,720
	2	0,502	0,473	0,444	0,003	1,559
	2	0,502	0,331	0,387	0,003	1,225
	3	0,419	0,331	0,387	0,003	1,142
Oitões abertos	1	0,608	0,315	0,444	0,009	1,508
	2	0,465	0,217	0,387	0,006	1,077
	3	0,384	0,217	0,387	0,005	0,995

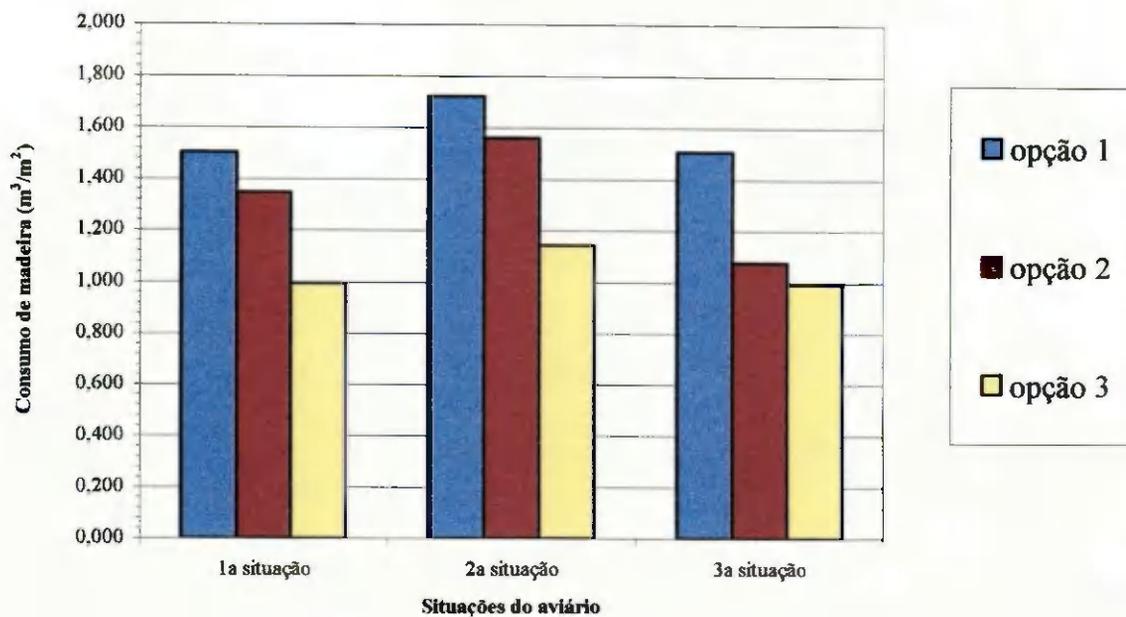


FIGURA 21 – Consumo de madeira por unidade de área coberta para roxinho

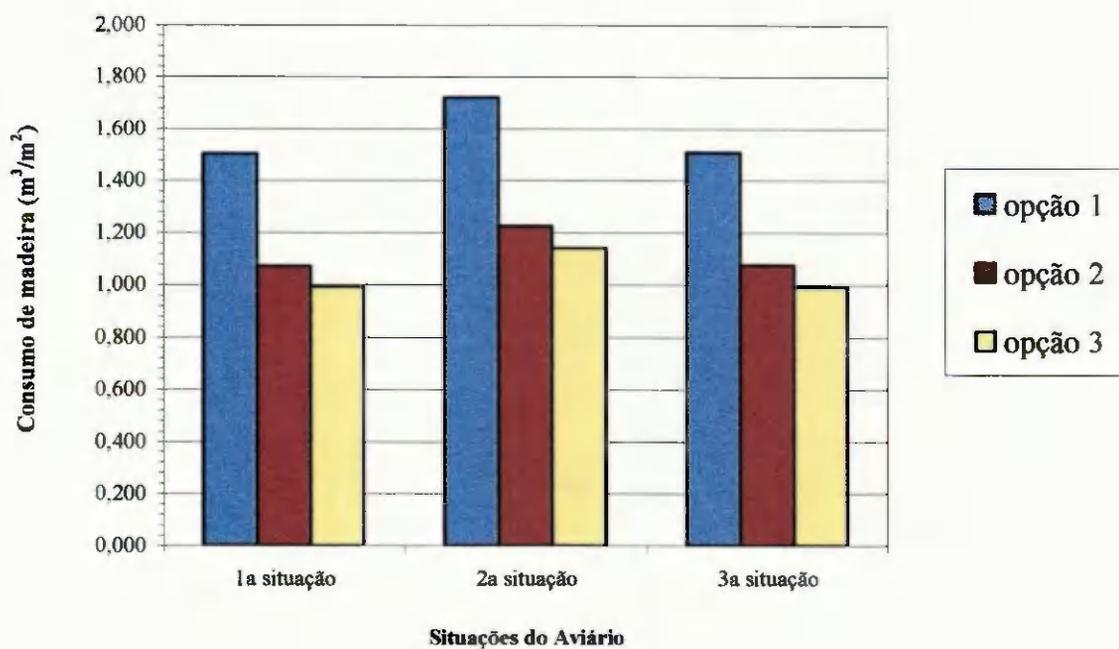


FIGURA 22 – Consumo de madeira por unidade de área para maçaranduba

A opção 1 leva a maior consumo de madeira em todas as situações de aviário estudadas. A opção 3 apresenta o menor consumo de madeira por metro quadrado de área coberta, nas três situações de aviário, conforme pode ser visto nas Figuras 21 e 22.

Comparando os resultados da terceira situação de galpão com os da primeira percebe-se que são praticamente iguais, para as opções que tiveram composições das seções transversais idênticas e mesmo espaçamento entre treliças (opções 1 e 3). A diferença decorre do contraventamento horizontal, que na terceira situação tem espaçamento menor. Vale ressaltar, que na execução da cobertura deste caso, o consumo será ligeiramente maior que o apresentado, em razão das duas treliças das extremidades.

Os resultados obtidos para a segunda situação de aviário quando confrontados com os da primeira representam um acréscimo, no consumo de madeira, de 14,4% para a opção 1 e 15,0% para a opção 3, quando se utiliza as duas madeiras. Com relação a opção 2 o acréscimo é de 15,9% para a madeira roxinho e 14,1% para maçaranduba.

Os valores apresentados nos Quadros 14 e 15 registram o consumo de parafusos em relação ao volume de madeira empregado nas estruturas principais (treliças) e secundárias (terças, caibros e ripas).

QUADRO 14 - Consumo de parafusos para estruturas feitas com roxinho

Situação do Aviário	Opção	Número de Parafusos	Diâmetro (mm)	Consumo de Parafusos (Unid/m ³)
Oitões Alven. s/ lantern.	1	65	12,5	48
	2	65	12,5	51
	3	65	10,0	66
Oitões Alven. c/ lantern.	1	77	12,5	49
	2	75	12,5	53
	3	79	10,0	69
Oitões Abertos	1	67	12,5	49
	2	65	12,5	61
	3	67	10,0	68

Comparando os resultados da última coluna, dos Quadros 14 e 15, verifica-se que praticamente todas as opções com maçaranduba implicam em consumo mais elevado de parafusos. Isto ocorre em razão dos esforços internos serem maiores para estrutura

construída com essa madeira (em decorrência do peso próprio).

QUADRO 15 - Consumo de parafusos para estruturas feitas com maçaranduba

Situação do Aviário	Opção	Número de Parafusos	Diâmetro (mm)	Consumo de Parafusos (Unid/m ³)
Oitões Alven. s/ lantern.	1	74	12,5	54
	2	65	12,5	61
	3	67	10,0	68
Oitões Alven. c/ lantern.	1	86	12,5	55
	2	75	12,5	61
	3	85	10,0	75
Oitões Abertos	1	74	12,5	54
	2	65	12,5	61
	3	51	10,0	52

Analisando o custo, para o preço de mercado praticado na primeira quinzena de março próximo passado, a opção 3 apresenta menor custo /m², ou seja, R\$14,41/m² e R\$14,45/m² com relação a primeira situação; R\$16,27/m² e R\$16,36/m² para a segunda situação c, R\$15,26/m² e R\$15,00/m² para a terceira situação respectivamente para roxinho e maçaranduba. Vale ressaltar que não está incluído na avaliação do custo a mão-de-obra.

5.7 Relação entre Peso dos Parafusos e Peso da Estrutura

Os valores dos Quadros 16 e 17 se referem ao percentual do peso próprio dos parafusos (F_{gp}) em relação ao peso da estrutura (F_{ge}), composta de treliça, terças, caibros e ripas.

Considerando que no cálculo da ação permanente (item 4.3.2.b) não foi feita estimativa do peso das ligações, portanto o percentual do peso dos parafusos em relação ao peso da estrutura representa a diferença entre peso próprio real e peso próprio inicial da estrutura, haja visto não se ter feito modificações nas seções transversais das peças e/ou na geometria da estrutura. Diante dos resultados obtidos nos quadros a seguir, verifica-se que o peso próprio real da estrutura, avaliado depois do dimensionamento final da estrutura, não difere de mais de 10% do peso próprio inicialmente admitido no cálculo, o que está de acordo com item 5.5.2 da NBR 7190/1997.

QUADRO 16 - Percentual de F_{gp} em relação a F_{ge} para roxinho

Situação do Aviário	Opção	Volume de Madeira (m ³)	F_{ge} (daN)	Número de Parafusos (Unid.)	F_{gp} (daN)	$(F_{gp} / F_{ge}) * 100$ (%)
Oitões Alven. s/ lantern.	1	1,367	1164,7	65	12,4	1,1
	2	1,224	1042,8	65	12,4	1,2
	3	0,988	841,8	65	7,0	0,8
Oitões Alven. c/ lantern.	1	1,565	1333,4	77	14,7	1,1
	2	1,419	1209,0	75	14,4	1,2
	3	1,137	968,7	79	8,6	0,9
Oitões Abertos	1	1,367	1164,7	67	12,8	1,1
	2	1,069	910,8	65	12,4	1,4
	3	0,988	841,8	67	7,3	0,9

QUADRO 17 - Percentual de F_{gp} em relação a F_{ge} para maçaranduba

Situação do Aviário	Opção	Volume de Madeira (m ³)	F_{ge} (daN)	Número de Parafusos (Unid.)	F_{gp} (daN)	$(F_{gp} / F_{ge}) * 100$ (%)
Oitões alven. s/ lantern.	1	1,367	1377,9	74	14,2	1,0
	2	1,069	1077,6	65	12,4	1,2
	3	0,988	995,9	67	7,3	0,7
Oitões alven. c/ lantern.	1	1,565	1577,5	86	16,5	1,0
	2	1,220	1229,8	75	14,4	1,2
	3	1,137	1146,1	85	9,2	0,8
Oitões abertos	1	1,367	1377,9	74	14,2	1,0
	2	1,069	1077,6	65	12,4	1,2
	3	0,988	995,9	51	7,5	0,6

6 CONCLUSÃO

Nas condições do presente trabalho, conclui-se:

- a) O projeto de estrutura treliçada do tipo "Howe" para cobertura de aviário no padrão atualmente adotado pode ser executado com as duas espécies de madeira;
- b) As madeiras roxinho e maçaranduba, de acordo com os resultados obtidos para a resistência característica nos ensaios de compressão paralela às fibras, se enquadram na classe C60;
- c) A estrutura composta por treliças, espaçadas de 2,75m, com banzos de seções transversais 7,5cm x 12,5cm, diagonais 7,5cm x 10cm, montantes com seções duplas 3,5cm x 12,5cm, terças 7,5cm x 15cm e contraventamentos 7,5cm x 12,5cm, apresenta menor consumo de madeira/m² de área coberta e pode ser construída em cobertura de aviário nas primeiras e terceiras situações estudadas;
- d) A estrutura anterior, acrescida de peças laterais com seções transversais 7,5cm x 15cm e terças nas extremidades, que compõem o lanternim, pode ser construída em aviário com esse tipo de cobertura;
- e) As estruturas citadas (opção 3 dos Quadros 08, 09 e 10) constituem a opção mais econômica para o tipo de terça utilizado;
- f) As terças, com seções transversais simples, e as ligações, restringem o espaçamento entre treliças.

Com base no exposto, sugere-se:

- a) Estudar a viabilidade técnica e econômica de projeto para cobertura com outro tipo de composição da estrutura principal;
- b) Adotar terças com seções compostas e/ou contínuas em projetos de cobertura.

Outras sugestões:

- a) Dimensionar estrutura para beirais, considerando os fatores ambientais da região;
- b) Elaborar projetos que visem reflorestamento das áreas desmatadas e degradadas, em parceria com IBAMA e governo do Estado da Paraíba.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190 – *Projeto de estruturas de madeira*. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. 107p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6123 – *Forças devidas ao vento em edificações*. Rio de Janeiro: ABNT, 1988. 110p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120 – *Cargas para o cálculo de estruturas de edificações*. Rio de Janeiro: ABNT, 1982.

BENEVENTE, V. A. **Durabilidade em construções de madeira**; uma questão de projeto. São Carlos, 1995. 231p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

CALIL JÚNIOR, C. **Estruturas de madeira**. Notas de aula. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1998. 102p.

CALIL JÚNIOR, C. **Treliças de madeira para coberturas**. Notas de aula. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1994. 79p.

CENSO Agropecuário. **Anuário 99 da Avicultura Industrial**, Ano 89, n.1062, p. 76, jan. 1999.

DEÓN, G. **Manual de preservação das madeiras em clima tropical**. Organização Internacional das madeiras Tropicais – ITTO, 1989. Cap. III: Proteção das peças antes da Aplicação, p.27-47 (Série Técnica, 3).

DUARTE, E. N.; NEVES, D. A. B.; SANTOS, B. L. O. **Manual técnico para realização de trabalhos monográficos**. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 1994. 68p.

FURIAT, M. Classificação estrutural de peças de madeira. In : ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 1, São Carlos, 1983. **Anais**. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo, 1983. 6v., v.1.

FURTADO, D. A. **Construções e instalações rurais**. Notas de aula. Campina Grande: Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal da Paraíba, 1997.

FUSCO, P. B. Os caminhos da evolução da engenharia das madeiras. In : ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 3, São Carlos, 1989. **Anais**. São Carlos, LAMEM-EEESC-USP, 1989. v. 6, p.7-18.

FUSCO, P. B.; CALIL JÚNIOR, C.; ALMEIDA, P. A. A nova norma de projeto de estruturas de madeira. In: JORNADAS SUL-AMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, 28, São Carlos, 1997. **Anais**. São Carlos, Helena M. C. Carmo Antunes, 1997. 6v., v.1, p.11-20.

GIROLDO, T. R. K. Ensaio de retratibilidade; uma nova proposta. In : ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 4, São Carlos, 1992. **Anais**. São Carlos, LAMEM-EEESC-USP, 1992. 5v., v. 2, p. 245-258.

GLOS, P. **Solid timber – Strength classes. Timber Engineering. STEP 1. A7, 1995.**

HELLMEISTER, J. C. & SOUZA, A. F. Determinação de propriedades físicas, de resistência e de elasticidade de dez espécies de madeira do Estado de Roraima. In : ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 4, São Carlos, 1992. **Anais**. São Carlos, LAMEM-EEESC-USP, 1992. 5v., v. 4, p. 157-181.

- LEPAGE, E. S. *et al.* **Manual de preservação de madeiras.** São Paulo, IPT, 1986.
- LIMA, C. R.; PAES, J. B.; SILVA, F. A. C. Estimativas de umidade de equilíbrio de madeiras para algumas localidades/regiões do Estado da Paraíba. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 5, São Carlos, 1995. **Anais.** Belo Horizonte, 1995. 2v., v. 2.
- LIMA, C. R. & ROCHA, H. M. Estado da arte das estruturas de madeira em Patos - PB. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 5, São Carlos, 1995. **Anais.** Belo Horizonte, 1995. 2v., v. 1.
- LOGSDON, N. B. Estudo comparativo sobre a maneira de obter a densidade aparente a 12% de umidade. In : ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 4, São Carlos, 1992. **Anais.** São Carlos, LAMEM-EESC-USP, 1992. 5v., v. 4, p.31-42.
- MOLITERNO, A. **Caderno de projetos de telhados em estruturas de madeira.** 2.ed. São Paulo, Edgard Blücher, 1992. 461p.
- MOREIRA, E. R. F. **Mesorregiões e microrregiões da Paraíba;** delimitação e caracterização. João Pessoa: GAPLAN, 1988. 74p.
- MOURA, D. J.; GHELFI FILHO, H.; SILVA, I. J. O. Avaliação dos diferentes materiais de cobertura através dos índices de conforto térmico durante as estações do ano. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 21 & SIMPÓSIO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA DO CONE SUL, 1, Santa Maria, 1992. **Anais.** Santa Maria, UFSM, 1992. 4v., v. 1, p.30-39.
- PARAIBA/SEPLAN/ATECEL. **Características físico-climáticas das bacias hidrográficas do Estado da Paraíba.** In: Plano Estadual e Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos, 1. Campina Grande. ATECEL. 1994a. p.22-25.

- PARAIBA/SEPLAN/ATECEL. **Dados hidrometeorológicos.** In: Plano Estadual e Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos, 1. Campina Grande. ATECEL. 1994b. 105p.
- PINHEIRO, R. V. **Emprego da madeira do gênero Pinus na construção de estruturas de cobertura.** São Carlos, 1996. 163p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- PROJETO PNUD/FAO/IBAMA/GOV. PB. **Diagnóstico do setor florestal do Estado da Paraíba.** João Pessoa, 1994. 84p.
- PUCCINI, C. T. & TANAAMI, R. G. Estudo da otimização de estruturas de cobertura em madeira levando-se em conta as características necessárias ao conforto térmico. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26, Campina Grande, 1997. **Anais** (CD ROM).
- ROCCO LAHR, F. A. Aspectos históricos do emprego das estruturas de madeira para coberturas. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 1, São Carlos, 1983. **Anais.** São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo, 1983. 6v., v.4.
- SANDRO, F. C. & CALIL JUNIOR, C. As estruturas Hauff de madeira. In : ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 4, São Carlos, 1992. **Anais.** São Carlos, LAMEM-EESC-USP, 1992. 5v., v.1, p.193-206.
- SILVA, F. de A. S. e. The ASSISTAT software; statistical assistance. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 6, Cancun, 1996. **Anais.** Cancun, American Society of Agricultural Engineers, 1996. P.294-298.

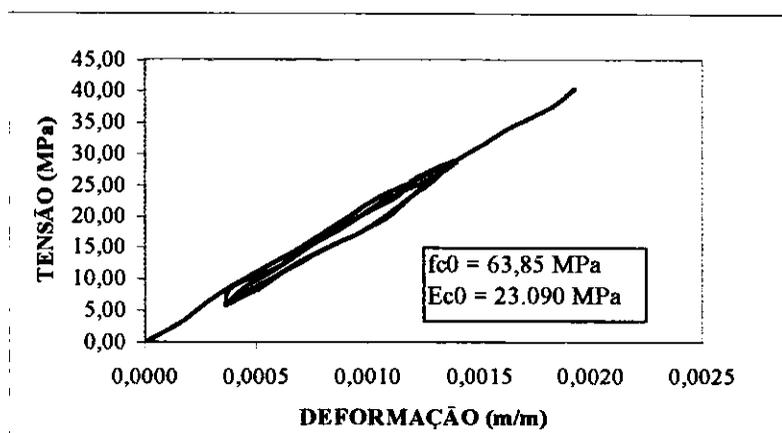
- SILVA, J. A. **Avaliação do estoque lenhoso, inventário florestal do Estado da Paraíba.** João Pessoa: PNUD/FAO/IBAMA/GOVERNO DA PARAÍBA, 1994. 27p.
- SOUZA, M. H.; MAGLIANO, M. M.; CAMARGOS, J. A. A.; SOUZA, M. R., col. **Madeiras tropicais brasileiras.** Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Laboratório de Produtos Florestais, 1997. 152p: il.
- STEER, P. J. **Timber in construction. Timber Engineering. STEP 1. A5,** 1995.
- TINÔCO, I. F. F. **Produção avícola em clima tropical.** Notas de aula. Viçosa: Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal da Viçosa, 1997. 37p.
- TINÔCO, I. F. F. **Efeito de diferentes sistemas de condicionamento de ambiente e níveis de energia metabolizável na dieta sobre o desempenho de matrizes de frangos de corte, em condições de verão e outono.** Belo Horizonte, 1996. 173p. Tese (Doutorado) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais.
- UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Escola de Engenharia de São Carlos. **Diretrizes para elaboração de dissertações e teses.** 2. ed. São Carlos, 1996.
- ZENID, G. J. **Identificação das madeiras.** São Paulo. Relatório técnico. Laboratório de Anatomia e Identificação de Madeiras – IPT, 1998.

8 ANEXO

Os valores obtidos nos ensaios de compressão paralela às fibras da madeira, encontram-se nas Tabelas e Figuras a seguir.

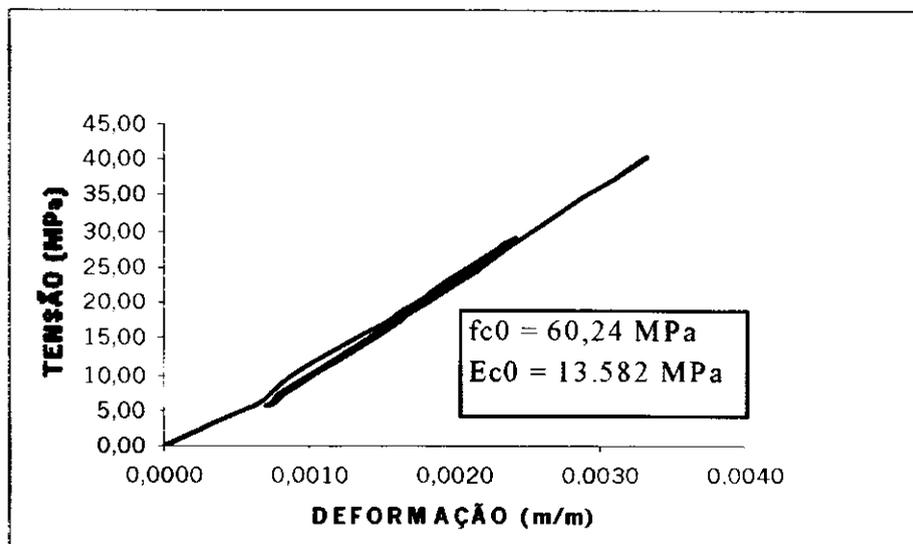
Compressão paralela às fibras e rigidez do corpo-de-prova R₁, com $f_{c0} = 63,85$ MPa;
 $E_{c0} = 23.090$ MPa, à unidade de 13,61%

TENSÃO (MPa)	DEFORMAÇÃO - 1º ciclo		DEFORMAÇÃO - 2º ciclo		DEF. F. FINAL Carregamento (m/m)
	Carregam. (m/m)	Descarregam. (m/m)	Carregam. (m/m)	Descarreg. (m/m)	
0,00	0,0000	-	-	-	-
2,89	0,0002	-	-	-	-
5,77	0,0003	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
8,66	0,0004	0,0005	0,0004	0,0005	0,0005
11,54	0,0005	0,0006	0,0006	0,0007	0,0006
14,43	0,0007	0,0008	0,0007	0,0008	0,0007
17,32	0,0008	0,0010	0,0008	0,0010	0,0009
20,20	0,0009	0,0011	0,0010	0,0011	0,0010
23,09	0,0011	0,0012	0,0011	0,0012	0,0011
25,97	0,0012	0,0013	0,0012	0,0013	0,0013
28,86	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014
31,75	-	-	-	-	0,0015
34,63	-	-	-	-	0,0017
37,52	-	-	-	-	0,0018
40,40	-	-	-	-	0,0019

Tensão X deformação do corpo-de-prova R₁

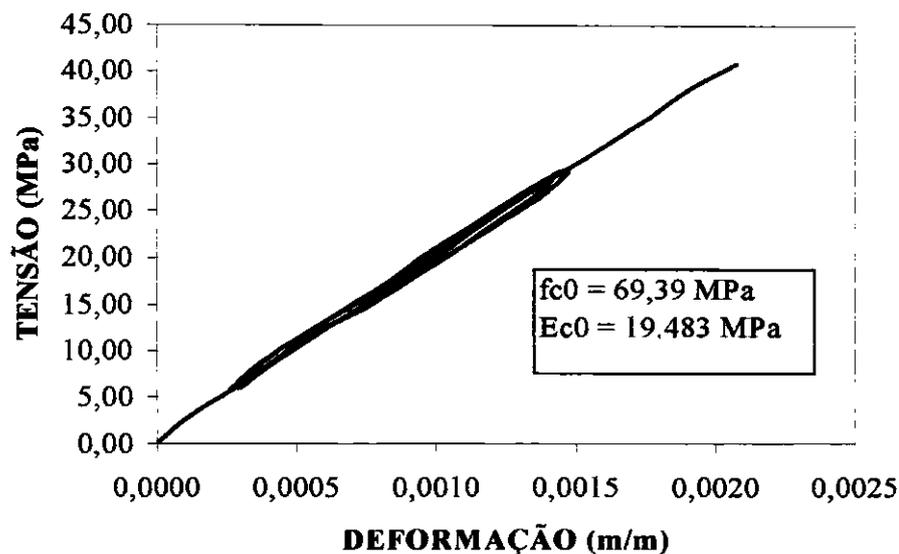
Compressão paralela às fibras e rigidez do corpo-de-prova R₂, com $f_{c0} = 60,24$ MPa;
 $E_{c0} = 13.582$ MPa, à umidade de 12,68%

TENSÃO (MPa)	DEFORMAÇÃO - 1º ciclo		DEFORMAÇÃO - 2º ciclo		DEF. F. FINAL Carregam. (m/m)
	Carregam. (m/m)	Descarregam. (m/m)	Carregam. (m/m)	Descarregam. (m/m)	
0,00	0,0000	-	-	-	-
2,89	0,0003	-	-	-	-
5,77	0,0006	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007
8,66	0,0008	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009
11,54	0,0010	0,0011	0,0011	0,0012	0,0012
14,43	0,0013	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014
17,32	0,0015	0,0016	0,0016	0,0016	0,0016
20,20	0,0017	0,0018	0,0018	0,0018	0,0018
23,09	0,0020	0,0019	0,0020	0,0020	0,0020
25,97	0,0022	0,0022	0,0022	0,0023	0,0022
28,86	0,0024	0,0024	0,0024	0,0024	0,0024
31,75	-	-	-	-	0,0027
34,63	-	-	-	-	0,0029
37,52	-	-	-	-	0,0031
40,40	-	-	-	-	0,0033

Tensão X deformação do corpo-de-prova R₂

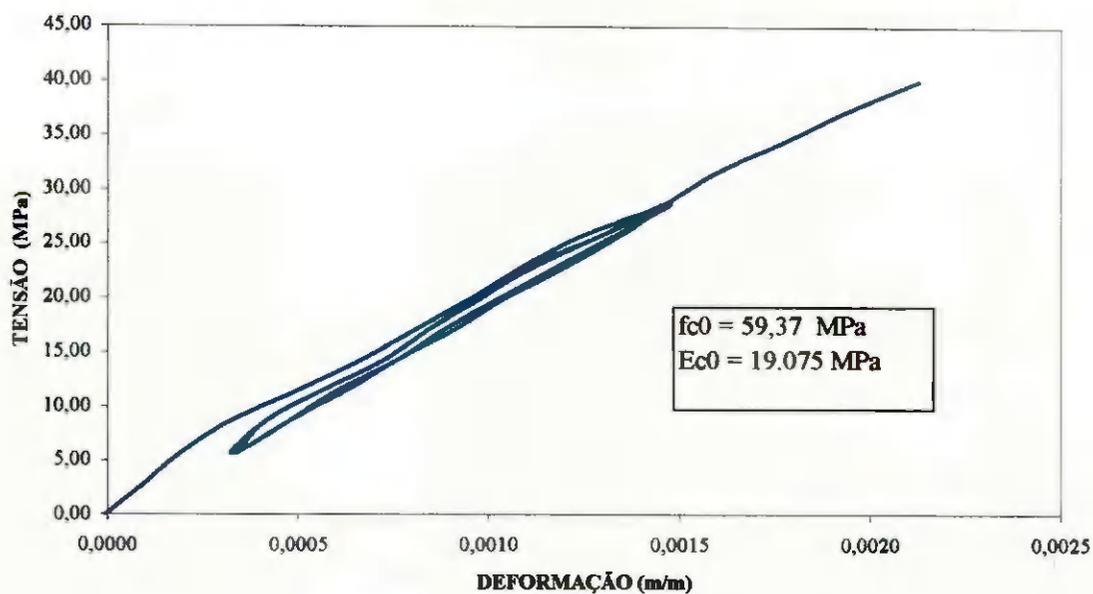
Compressão paralela às fibras e rigidez do corpo-de-prova R₃, com $f_{c0} = 69,39$ MPa;
 $E_{c0} = 19.483$ MPa, à umidade de 13,68%

TENSÃO (MPa)	DEFORMAÇÃO - 1º ciclo		DEFORMAÇÃO - 2º ciclo		DEF. F. FINAL Carregam. (m/m)
	Carregam. (m/m)	Descarregam. (m/m)	Carregam. (m/m)	Descarregam. (m/m)	
0,00	0,0000	-	-	-	-
2,92	0,0001	-	-	-	-
5,84	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
8,77	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
11,69	0,0006	0,0005	0,0005	0,0006	0,0005
14,61	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007
17,53	0,0009	0,0009	0,0008	0,0009	0,0008
20,45	0,0010	0,0011	0,0010	0,0011	0,0010
23,37	0,0012	0,0012	0,0011	0,0012	0,0012
26,30	0,0013	0,0014	0,0013	0,0013	0,0013
29,22	0,0015	0,0015	0,0014	0,0014	0,0015
32,14	-	-	-	-	0,0016
35,06	-	-	-	-	0,0018
37,98	-	-	-	-	0,0019
40,91	-	-	-	-	0,0021

Tensão X deformação do corpo-de-prova R₃

Compressão paralela às fibras e rigidez do corpo-de-prova R₄, com $f_{c0} = 59,37$ MPa; $E_{c0} = 19.075$ MPa, à unidade de 12,95%

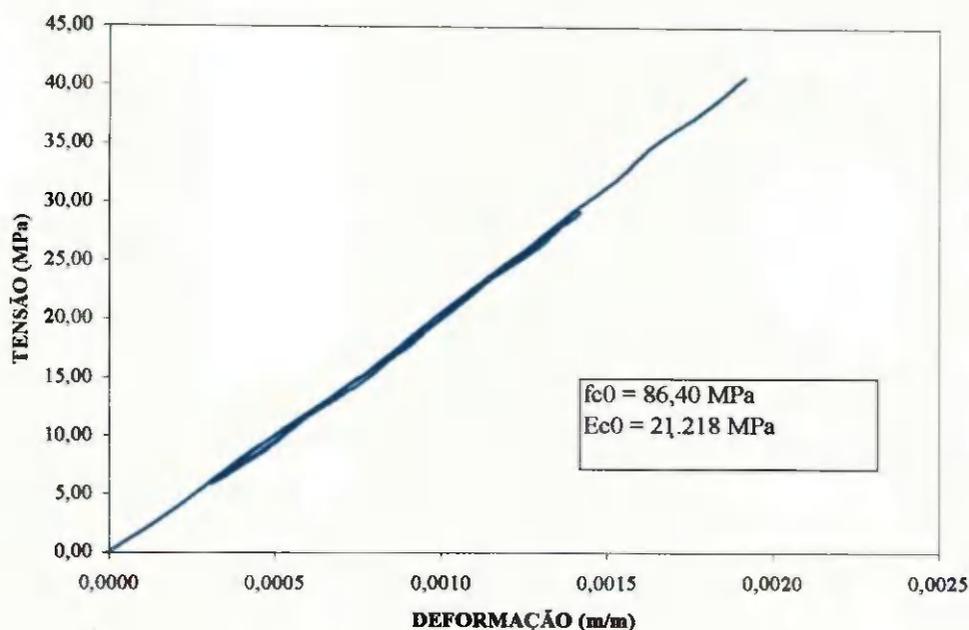
TENSÃO (MPa)	DEFORMAÇÃO - 1º ciclo		DEFORMAÇÃO - 2º ciclo		DEF. F. FINAL Carregam. (m/m)
	Carregam. (m/m)	Descarregam. (m/m)	Carregam. (m/m)	Descarregam. (m/m)	
0,00	0	-	-	-	-
2,86	0,0001	-	-	-	-
5,72	0,0002	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
8,58	0,0003	0,0005	0,0004	0,0005	0,0004
11,44	0,0005	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
14,31	0,0007	0,0008	0,0007	0,0008	0,0007
17,17	0,0008	0,0009	0,0008	0,0009	0,0008
20,03	0,0010	0,0010	0,0010	0,0011	0,0010
22,89	0,0011	0,0012	0,0011	0,0012	0,0011
25,75	0,0012	0,0013	0,0013	0,0013	0,0013
28,61	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015
31,47	-	-	-	-	0,0016
34,33	-	-	-	-	0,0018
37,20	-	-	-	-	0,0019
40,06	-	-	-	-	0,0021



Tensão X deformação do corpo-de-prova R₄

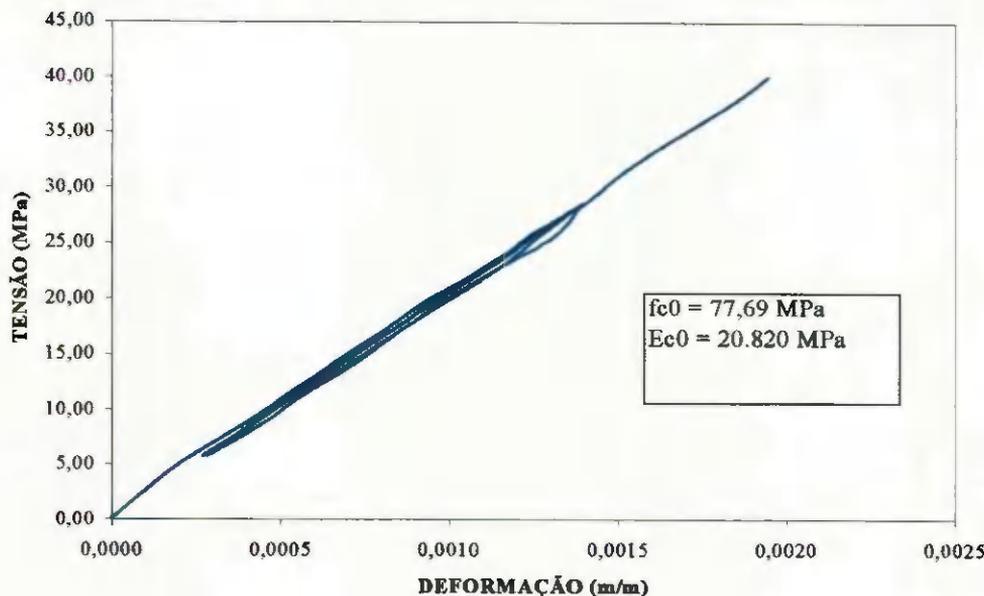
Compressão paralela às fibras e rigidez do corpo-de-prova R₅, com $f_{c0} = 86,40 \text{ MPa}$; $E_{c0} = 21.218 \text{ MPa}$, à umidade de 14,13%

TENSÃO (MPa)	DEFORMAÇÃO - 1º ciclo		DEFORMAÇÃO - 2º ciclo		DEF. F. FINAL Carregam. (m/m)
	Carregam. (m/m)	Descarregam. (m/m)	Carregam. (m/m)	Descarregam. (m/m)	
0,00	0	-	-	-	-
2,86	0,0001	-	-	-	-
5,72	0,0002	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
8,58	0,0003	0,0005	0,0004	0,0005	0,0004
11,44	0,0005	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
14,31	0,0007	0,0008	0,0007	0,0008	0,0007
17,17	0,0008	0,0009	0,0008	0,0009	0,0008
20,03	0,0010	0,0010	0,0010	0,0011	0,0010
22,89	0,0011	0,0012	0,0011	0,0012	0,0011
25,75	0,0012	0,0013	0,0013	0,0013	0,0013
28,61	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015
31,47	-	-	-	-	0,0016
34,33	-	-	-	-	0,0018
37,20	-	-	-	-	0,0019
40,06	-	-	-	-	0,0021

Tensão X deformação do corpo-de-prova R₅

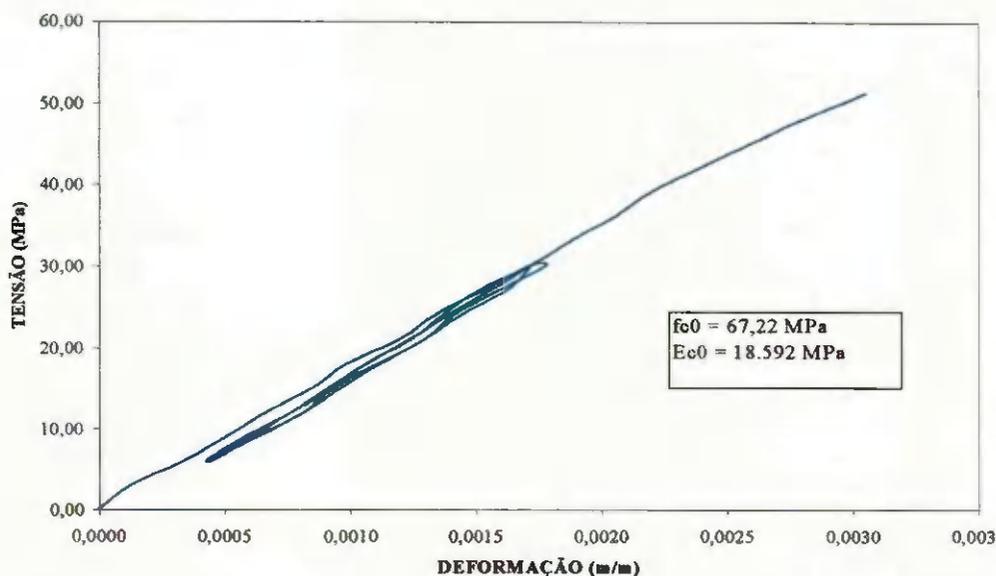
Compressão paralela às fibras e rigidez do corpo-de-prova R₆, com $f_{c0} = 77,69$ MPa; $E_{c0} = 20.827$ MPa, à umidade de 13,10%

TENSÃO (MPa)	DEFORMAÇÃO - 1º ciclo		DEFORMAÇÃO - 2º ciclo		DEF. F. FINAL
	Carregam. (m/m)	Descarregam. (m/m)	Carregam. (m/m)	Descarregam. (m/m)	Carregam. (m/m)
0,00	0,0000	-	-	-	-
2,86	0,0001	-	-	-	-
5,73	0,0002	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
8,59	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
11,46	0,0005	0,0006	0,0005	0,0006	0,0006
14,32	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007
17,19	0,0008	0,0009	0,0008	0,0009	0,0008
20,05	0,0009	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010
22,91	0,0011	0,0012	0,0011	0,0012	0,0011
25,78	0,0013	0,0013	0,0013	0,0013	0,0012
28,64	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014
31,51	-	-	-	-	0,0015
34,37	-	-	-	-	0,0017
37,24	-	-	-	-	0,0018
40,10	-	-	-	-	0,0019

Tensão X deformação do corpo-de-prova R₆

Compressão paralela às fibras e rigidez do corpo-de-prova M₁, com $f_{c0} = 67,22$ MPa;
 $E_{c0} = 18.592$ MPa, à umidade de 11,95%

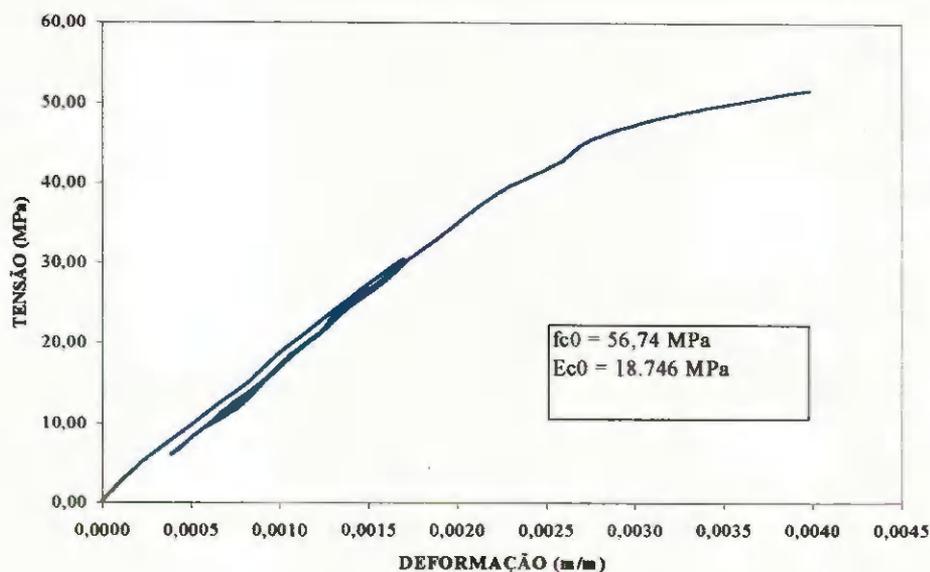
TENSÃO (MPa)	DEFORMAÇÃO - 1º ciclo		DEFORMAÇÃO - 2º ciclo		DEF. F.FINAL (m/m)
	Carregam. (m/m)	Descarregam. (m/m)	Carregam (m/m)	Descarregam. (m/m)	
0,00	0,0000	-	-	-	-
3,02	0,0001	-	-	-	-
6,04	0,0003	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004
9,06	0,0005	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
12,08	0,0007	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008
15,11	0,0009	0,0009	0,0009	0,0010	0,0009
18,13	0,0010	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011
21,15	0,0012	0,0013	0,0012	0,0013	0,0012
24,17	0,0013	0,0014	0,0014	0,0015	0,0014
27,19	0,0015	0,0016	0,0016	0,0016	0,0015
30,21	0,0017	0,0018	0,0017	0,0017	0,0017
33,23	-	-	-	-	0,0019
36,25	-	-	-	-	0,0021
39,27	-	-	-	-	0,0022
42,30	-	-	-	-	0,0024
45,32	-	-	-	-	0,0026
48,34	-	-	-	-	0,0028
51,36	-	-	-	-	0,0031



Tensão X deformação do corpo-de-prova M₁

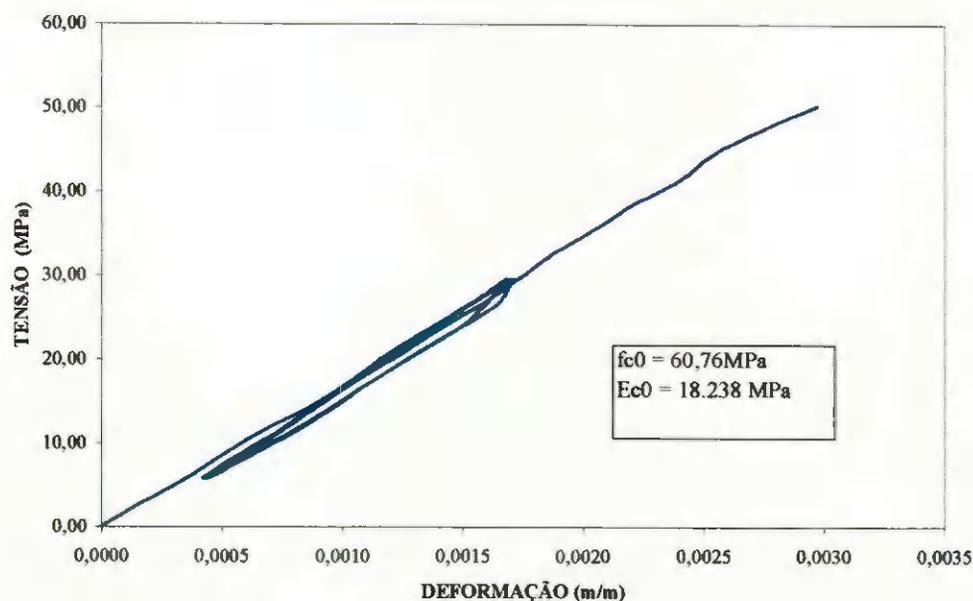
Compressão paralela às fibras e rigidez do corpo-de-prova M₂, com $f_{c0} = 56,74 \text{ MPa}$; $E_{c0} = 18.746 \text{ MPa}$, à umidade de 12,92%

TENSÃO (MPa)	DEFORMAÇÃO - 1º ciclo		DEFORMAÇÃO - 2º ciclo		DEF. F. FINAL Carregam. (m/m)
	Carregam. (m/m)	Descarregam. (m/m)	Carregam. (m/m)	Descarregam. (m/m)	
0,00	0,0000	-	-	-	-
3,05	0,0001	-	-	-	-
6,09	0,0003	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
9,14	0,0005	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
12,19	0,0006	0,0007	0,0007	0,0007	0,0008
15,23	0,0008	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009
18,28	0,0010	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011
21,33	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012
24,37	0,0013	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014
27,42	0,0015	0,0016	0,0016	0,0016	0,0016
30,46	0,0017	0,0017	0,0017	0,0017	0,0017
33,51	-	-	-	-	0,0019
36,56	-	-	-	-	0,0021
39,60	-	-	-	-	0,0023
42,65	-	-	-	-	0,0026
45,70	-	-	-	-	0,0028
48,74	-	-	-	-	0,0032
51,79	-	-	-	-	0,0040

Tensão X deformação do corpo-de-prova M₂

Compressão paralela às fibras e rigidez do corpo-de-prova M₃, com $f_{c0} = 60,76$ MPa; $E_{c0} = 18.238$ MPa, à umidade de 13,75%

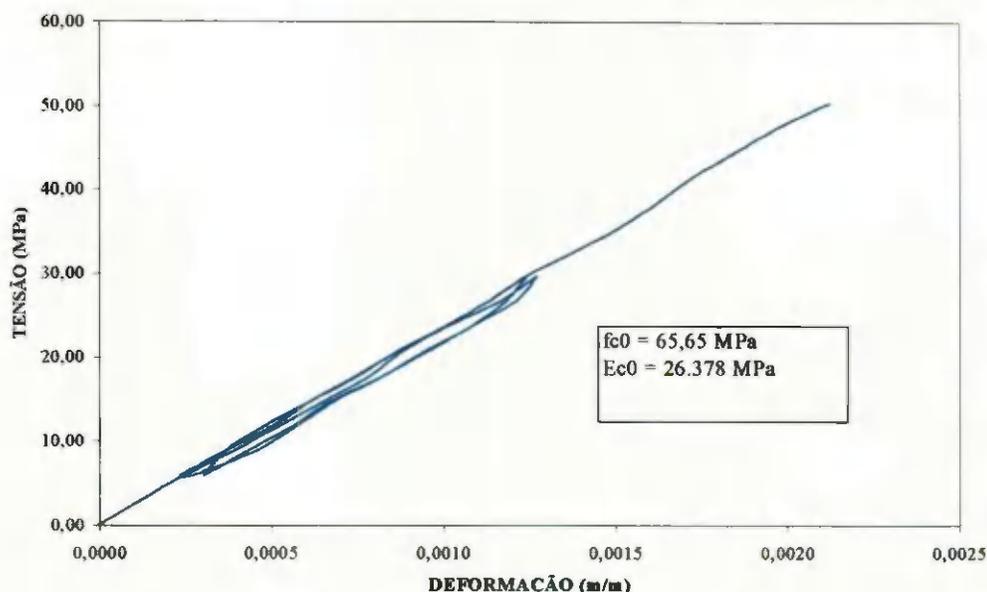
TENSÃO (MPa)	DEFORMAÇÃO - 1º ciclo		DEFORMAÇÃO - 2º ciclo		DEF.F.FINAL
	Carregam. (m/m)	Descarregam. (m/m)	Carregam. (m/m)	Descarregam. (m/m)	Carregam. (m/m)
0,00	0,0000	-	-	-	-
2,96	0,0002	-	-	-	-
5,93	0,0004	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004
8,89	0,0005	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
11,86	0,0007	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008
14,82	0,0009	0,0010	0,0009	0,0010	0,0009
17,78	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011
20,75	0,0012	0,0013	0,0012	0,0013	0,0013
23,71	0,0014	0,0015	0,0014	0,0015	0,0014
26,68	0,0015	0,0016	0,0015	0,0017	0,0016
29,64	0,0017	0,0017	0,0017	0,0017	0,0017
32,60	-	-	-	-	0,0019
35,57	-	-	-	-	0,0020
38,53	-	-	-	-	0,0022
41,5	-	-	-	-	0,0024
44,46	-	-	-	-	0,0025
47,42	-	-	-	-	0,0027
50,39	-	-	-	-	0,0030



Tensão X deformação do corpo-de-prova M₃

Compressão paralela às fibras e rigidez do corpo-de-prova M₄, com $f_{c0} = 65,65$ MPa;
 $E_{c0} = 26.378$ MPa, à umidade de 12,93%

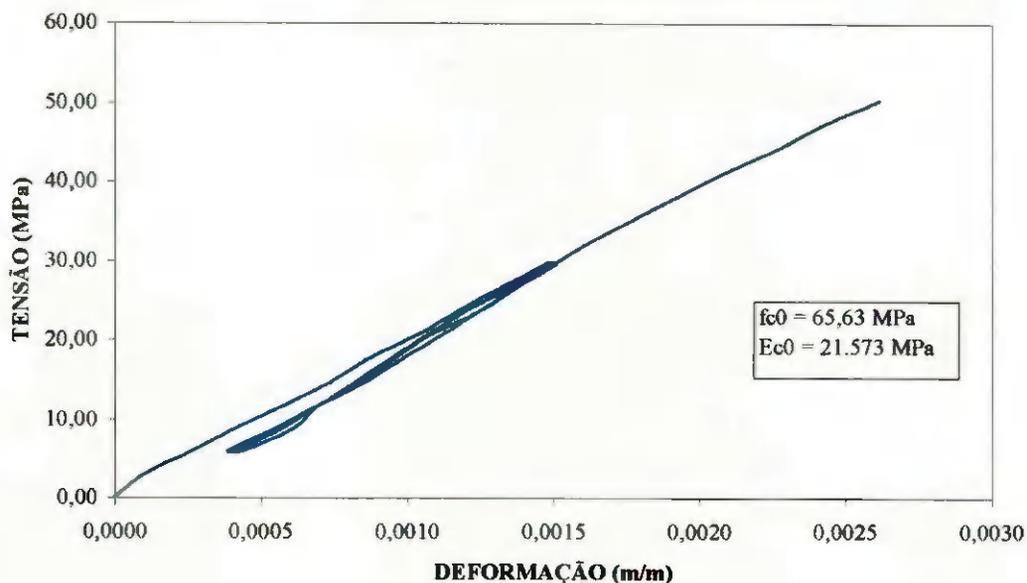
TENSÃO (MPa)	DEFORMAÇÃO - 1º ciclo		DEFORMAÇÃO - 2º ciclo		DEF. F. FINAL (m/m)
	Carregam. (m/m)	Descarregam. (m/m)	Carregam. (m/m)	Descarregam. (m/m)	
0,00	0,0000	-	-	-	-
2,97	0,0001	-	-	-	-
5,93	0,0002	0,0003	0,0002	0,0003	0,0003
8,9	0,0004	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004
11,87	0,0005	0,0006	0,0005	0,0006	0,0005
14,84	0,0007	0,0007	0,0006	0,0007	0,0006
17,80	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008
20,77	0,0009	0,0010	0,0009	0,0010	0,0009
23,74	0,0010	0,0011	0,0010	0,0011	0,0010
26,71	0,0012	0,0012	0,0011	0,0012	0,0011
29,67	0,0013	0,0013	0,0012	0,0012	0,0012
32,64	-	-	-	-	0,0014
35,61	-	-	-	-	0,0015
38,58	-	-	-	-	0,0016
41,54	-	-	-	-	0,0017
44,51	-	-	-	-	0,0019
47,48	-	-	-	-	0,0020
50,45	-	-	-	-	0,0021



Tensão X deformação do corpo-de-prova M₄

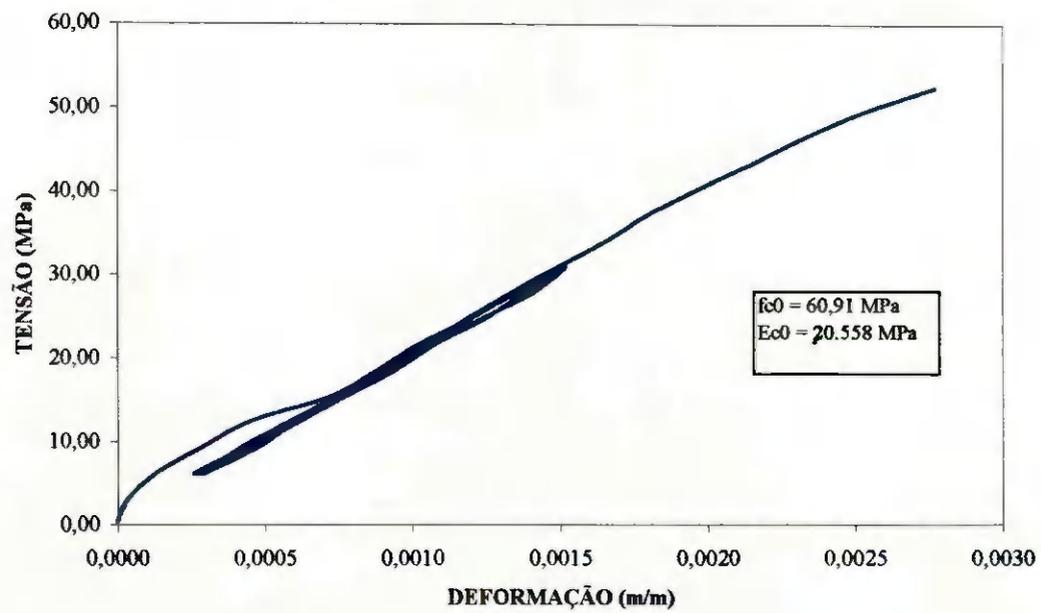
Compressão paralela às fibras e rigidez do corpo-de-prova M₅, com $f_{c0} = 65,63$ MPa; $E_{c0} = 21.573$ MPa, à umidade de 11,26%

TENSÃO (MPa)	DEFORMAÇÃO - 1º ciclo		DEFORMAÇÃO - 2º ciclo		DEF. F. FINAL Carregam. (m/m)
	Carregam. (m/m)	Descarregam. (m/m)	Carregam. (m/m)	Descarregam. (m/m)	
0,00	0,0000	-	-	-	-
2,97	0,0001	-	-	-	-
5,93	0,0003	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
8,90	0,0004	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
11,87	0,0006	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007
14,83	0,0007	0,0009	0,0009	0,0009	0,0008
17,80	0,0009	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010
20,76	0,0010	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011
23,73	0,0012	0,0013	0,0012	0,0013	0,0012
26,70	0,0013	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014
29,66	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015
32,63	-	-	-	-	0,0016
35,60	-	-	-	-	0,0018
38,56	-	-	-	-	0,0019
41,53	-	-	-	-	0,0021
44,49	-	-	-	-	0,0023
47,46	-	-	-	-	0,0024
50,43	-	-	-	-	0,0026

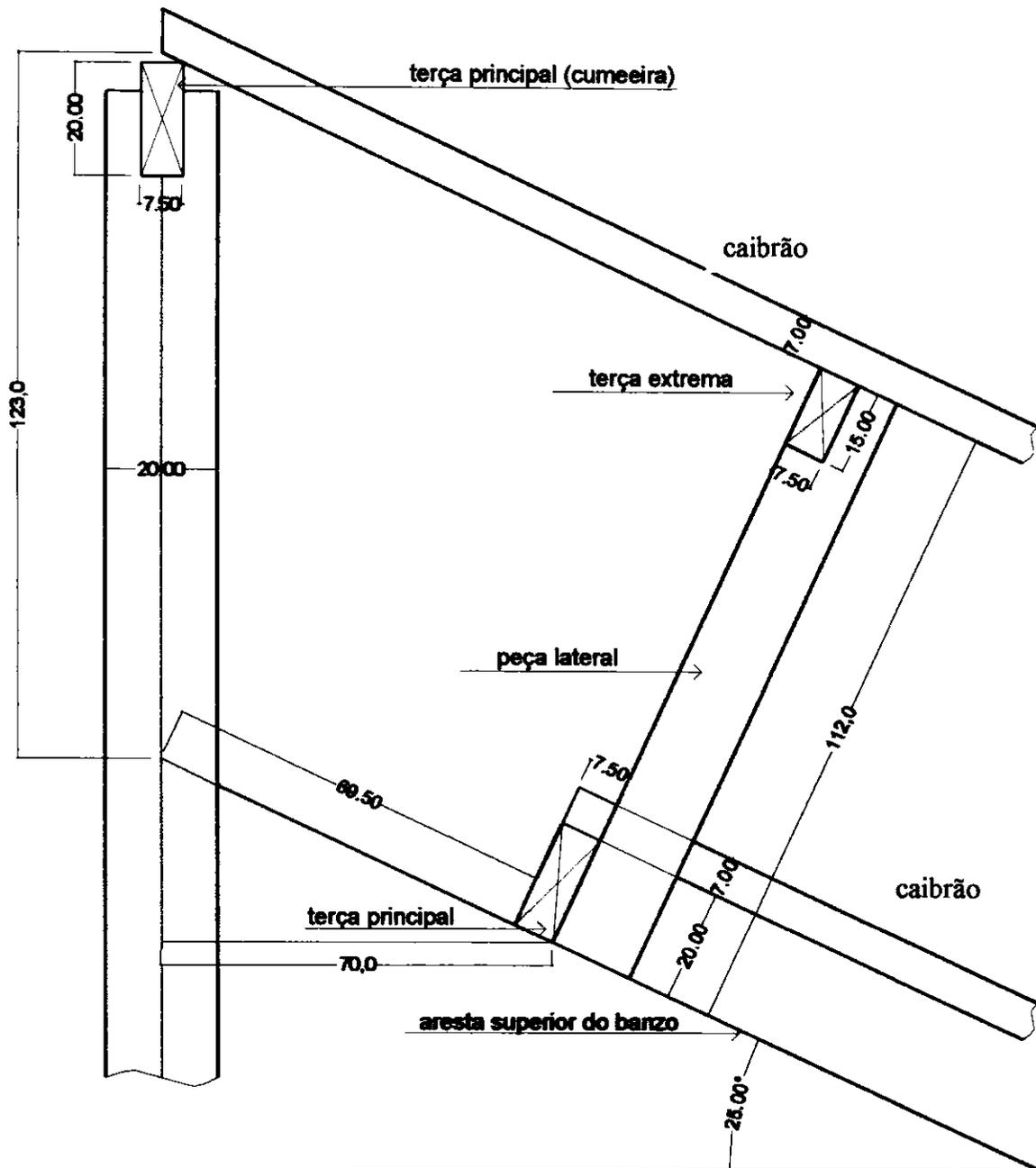
Tensão X deformação do corpo-de-prova M₅

Compressão paralela às fibras e rigidez do corpo-de-prova M₆, com $f_{c0} = 60,91$ MPa;
 $E_{c0} = 20.558$ MPa, à umidade de 10,83%

TENSÃO (MPa)	DEFORMAÇÃO - 1º ciclo		DEFORMAÇÃO - 2º ciclo		DEF. F. FINAL (m/m)
	Carregam. (m/m)	Descarregam. (m/m)	Carregam. (m/m)	Descarregam. (m/m)	
0,00	0,0000	-	-	-	-
3,08	0,0000	-	-	-	-
6,17	0,0001	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
9,25	0,0003	0,0005	0,0004	0,0005	0,0004
12,34	0,0004	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
15,42	0,0007	0,0008	0,0007	0,0008	0,0007
18,50	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009
21,59	0,0010	0,0011	0,0010	0,0011	0,0010
24,67	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012
27,76	0,0013	0,0014	0,0014	0,0014	0,0013
30,84	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015
33,92	-	-	-	-	0,0017
37,01	-	-	-	-	0,0018
40,09	-	-	-	-	0,0020
43,18	-	-	-	-	0,0021
46,26	-	-	-	-	0,0023
49,34	-	-	-	-	0,0025
52,43	-	-	-	-	0,0028



Tensão X deformação do corpo-de-prova M₆



DETALHE DO LANTERNIM

Nota: O detalhe apresentado corresponde a opção 1 da segunda situação (Quadro 09), cuja geometria está na Figura 11. Vale ressaltar que o comprimento das peças laterais do lanternim variam em função da altura das terças principal e extrema.