

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
MESTRADO

CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DA
ALGAROBIEIRA (*Prosopis juliflora* (Sw.) DC):
CONTRIBUIÇÃO PARA SEU USO RACIONAL

DISSERTAÇÃO

JUARES JOSÉ GOMES

Campina Grande – Paraíba
Agosto - 1999

JUÀRES JOSÉ GOMES

**CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DA ALGAROBEIRA - *Prosopis juliflora*
(Sw) DC.: CONTRIBUIÇÃO PARA SEU USO RACIONAL**

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

Área de Concentração: Construções Rurais

Orientador: Prof. Dr. Romildo Dias Tolêdo Filho

Campina Grande – PB

1999



G633c Gomes, Juarez Jose
Características tecnológicas da algarobeira - Prosopis juliflora (Sw) DC. : contribuição para seu uso racional / Juarez Jose Gomes. - Campina Grande, 1999.
118 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia.

1. Algarobeira 2. Algarobeira - Características Tecnológicas 3. Algarobeira - Ensaio Físicos 4. Algarobeira - Ensaio Mecânicos 5. Dissertação I. Toledo Filho, Romildo Dias II. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB) III. Título

CDU 582.737(043)



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

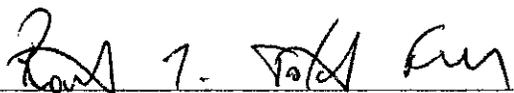
PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DO MESTRANDO

JUARES JOSÉ GOMES

Título: "Características Tecnológicas da Algarobeira (*Prosopis juliflora* (Sw.) DC:
Contribuição para seu uso Racional".

COMISSÃO EXAMINADORA

PARECER



Dr. Romildo Dias Toledo Filho-Orientador

APROVADO



Dr. Normando Perazzo Barbosa-Examinador

APROVADO



Dra. José Wallace B. do Nascimento- Examinador

APROVADO

Campina Grande, 26 de agosto de 1999

DEDICATÓRIA

A todos aqueles que lutam para tornar a ciência um importante instrumento na busca de soluções para os problemas dos povos.

A grande companheira Valdilene, pela
compreensão, paciência, incentivo e
carinho.

Ao Professor Paulo José Chaves Araújo e Silva, in memoriam, nossas saudades, por ter nos incentivado, no início desses estudos, mas que, infelizmente, não foi possível assistir a sua conclusão.

AGRADECIMENTOS

Aos que fazem da ciência um instrumento da paz;

Ao Professor Dr. Romildo Dias Toledo Filho, pela orientação, pelos ensinamentos, pela concessão do material bibliográfico, pela paciência, dedicação e amizade;

Ao Professor Dr. José Wallace Barbosa do Nascimento pelas sugestões e críticas incentivadoras;

Ao Professor Dr. Anísio Brasileiro de Freitas Dourado, chefe do Departamento de Engenharia Civil da UFPE, pela concessão de sala de estudo, das máquinas e equipamentos para a realização dos ensaios físicos e mecânicos;

Aos colegas João Farias e José Altair dos Santos Padilha, pela imensa colaboração;

A colega e Professora Marluce Araújo de Azevedo, por ter muito me auxiliado, com sua experiência acadêmica, para a superação das dificuldades encontradas;

Aos colegas do Mestrado de Engenharia Agrícola, pelo que juntos conseguimos fazer para enfrentarmos os difíceis dias de estudo;

Ao Professor Dr. Hamilton Medeiros de Azevedo, por ter intermediado junto ao Dr. Fernando Holanda, o pedido para concessão das algarobeiras estudadas;

Ao Dr. Fernando Holanda, proprietário da Fazenda Lagoa de Cima, IRRICAMP, por ter cedido as algarobeiras, tornando possível a realização da presente dissertação;

Ao Taxonomista A. Laurênio, pela identificação botânica das algarobeiras selecionadas para o presente estudo;

A Secretária do Mestrado de Engenharia Agrícola, Rivanilda Diniz Sobreira de Almeida, por ter nos apoiado nas tarefas do dia à dia;

Aos laboratoristas Ezequiel Muniz de Siqueira, exímio símbolo de trabalho, João Maria Cazuza da Rocha e Rinaldo Catunda de Oliveira, do Laboratório de Estruturas do Departamento de Engenharia Civil, do Centro de Tecnologia e Geociências da UFPE, pela operacionalização dos ensaios;

Aos Professores Tibério Wanderley, Joelma Magalhães Braga, Paulo Régis pelo incentivo e apoio;

As funcionárias do Departamento de Engenharia Civil da UFPE, Carolina Maria de Oliveira, Maria Gomes Carneiro, Maria Izabel Carneiro, Rosiclé de Siqueira Holanda e Vera Maciel, pelo apôio e auxílio.

Aos funcionários da serraria do Laboratório de Estrutura do Departamento de Engenharia Civil da UFPE, Rinaldo Holanda de Souza, Eduardo Soares de Siqueira, Wilson Muniz de Siqueira, Edvaldo Pedro da Silva, pela contribuição no processo de confeccionamento do corpo de Provas.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	iii
LISTA DE QUADROS	vi
LISTA DE SIMBOLOS	vii
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
1 INTRODUÇÃO	01
2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA	05
2.1 Generalidades	05
2.2 Aspectos Botânicos	06
2.2.1 Sistemática	06
2.2.2 Morfologia	06
2.3 Origem e Introdução da Algarobeira no Brasil	07
2.4 Distribuição Geográfica	08
2.5 A Algarobeira no Nordeste do Brasil	09
2.6 Formas de Utilização da Algarobeira	11
2.7 Controvérsias (quanto ao caráter invasor e de toxidez para os animais).....	14
2.8 Aspectos Fitossanitários (Pragas e Doenças)	16
2.9 A Madeira em Geral	17
2.9.1 Estrutura da Madeira	18
2.9.2 Micro-Estrutura da Madeira	21
2.9.3 Propriedades Física e Mecânicas da Madeira	22
2.9.4 Características Tecnológicas de Várias Essências Madeireiras Existentes no Brasil	26
3 MATERIAIS E MÉTODOS	28
3.1 Escolha da Área e Seleção das Árvores	28
3.2 Identificação das Espécies	28
3.3 Determinação da Idade das Árvores	29
3.4 Cubagem das Toras – Determinação do Volume Total da Madeira Bruta (não	

trabalhada)	29
3.5 Determinação dos Percentuais de Cerne, Alburno e Casca da Algarobeira	30
3.6 Determinação do Volume Total da Madeira Trabalhada (serrada) da Algarobeira	30
3.7 Caracterização Completa da Algarobeira - <i>Prosopis juliflora</i> (Sw) DC.....	31
3.7.1 Ensaio Físicos e Mecânicos	32
3.7.1.1 Amostragem	32
3.7.1.2 Valor Característico da Resistência	32
3.7.1.3 Condição Padrão de Referência	33
3.7.2 Teor de Umidade do Lote de Algarobeira	33
3.7.2.1 Descrição da Amostra	34
3.7.2.2 Forma e Dimensões dos Corpos-de-Prova	34
3.7.2.3 Procedimentos	35
3.7.3 Compressão Paralela às Fibras	35
3.7.3.1 Descrição da Amostra	37
3.7.3.2 Forma e Dimensões dos Corpos-de-Prova	37
3.7.3.3 Procedimentos	37
3.7.3.4 Valores da Resistência e Rigidez no Ensaio de Compressão Paralela às Fibras	39
3.7.3.5 Ajuste dos Valores da Resistência e Rigidez no Ensaio de Compressão Paralela às Fibras, para 12% de Umidade	40
3.7.3.6 Estimativa do Valor Característico	40
3.7.3.7 Valor da Rigidez na Compressão Paralela às Fibras	40
3.7.4 Tração Paralela às Fibras	40
3.7.4.1 Descrição da Amostra	42
3.7.4.2 Formas e Dimensões dos Corpos-de-Prova	42
3.7.4.3 Procedimentos	42
3.7.4.4 Valores da Resistência e Rigidez no Ensaio de Tração Paralela às Fibras	44
3.7.4.5 Ajuste dos Valores da Resistência e Rigidez no Ensaio de Tração Paralela às Fibras para 12% de Umidade	45
3.7.4.6 Estimativa do Valor Característico	45
3.7.4.7 Valor da Rigidez no Ensaio de Tração Paralela às Fibras	45
3.7.5 Compressão Normal às Fibras	45

3.7.5.1 Descrição da Amostra	46
3.7.5.2 Forma e Dimensões dos Corpos-de-Prova	47
3.7.5.3 Procedimentos	47
3.7.5.4 Valores da Resistência e Rigidez no Ensaio de Compressão Normal às Fibras	49
3.7.5.5 Ajuste dos Valores da Resistência e Rigidez no Ensaio de Compressão Normal às Fibras, para 12% de Umidade	50
3.7.5.6 Estimativa do Valor Característico da Resistência à Compressão Normal às fibras	50
3.7.5.7 Valor da Rigidez na Compressão Normal às Fibras	50
3.7.6 Tração Normal às Fibras	51
3.7.6.1 Descrição da Amostra	51
3.7.6.2 Forma e Dimensões dos Corpos-de-Prova	52
3.7.6.3 Procedimento	52
3.7.6.4 Valor da Resistência	53
3.7.6.5 Ajuste dos Valores da Resistência no Ensaio de Tração Normal às Fibras	53
3.7.6.6 Estimativa do Valor Característico	54
3.7.7 Cisalhamento Paralelo às Fibras	54
3.7.7.1 Descrição da Amostra	55
3.7.7.2 Forma e Dimensões dos Corpos-de-Prova	55
3.7.7.3 Procedimentos	56
3.7.7.4 Valor da Resistência	56
3.7.7.5 Ajuste dos Valores da Resistência ao Cisalhamento Paralelo às Fibras, para 12% de Umidade	57
3.7.7.6 Estimativa do Valor Característico da Resistência ao Cisalhamento Paralelo às Fibras	57
3.7.8 Embutimento Paralelo e Normal às Fibras	57
3.7.8.1 Descrição da Amostra	58
3.7.8.2 Forma e Dimensões dos Corpos-de-Prova	58
3.7.8.3 Procedimentos	59
3.7.8.4 Valores da Resistência de Embutimento Paralelo e Normal às Fibras.....	61
3.7.8.5 Ajuste Dos Valores da Resistência de Embutimento Paralelo e Normal às Fibras, para 12% de Umidade	61
3.7.8.6 Estimativa do Valores Característicos das Resistências de Embutimento	

Paralelo e Normal às Fibras	61
3.7.9 “Densidade Básica” e “Densidade Aparente”	61
3.7.9.1 Descrição da Amostra	62
3.7.9.2 Forma e Dimensões dos Corpos-de-Prova	63
3.7.9.3 Procedimentos	63
3.7.9.4 Valores Determinados da “Densidade Básica” e “Densidade Aparente” do Lote de Algarobeiras	64
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	67
4.1 Identificação Botânica das Espécies	67
4.2 Determinação da Idade das Árvores	67
4.3 Cubagem das Toras - Determinação do Volume Total da Madeira Bruta (não trabalhada)	68
4.4 Determinação dos Percentuais de Cerne, Alburno e Casca da Algarobeira	69
4.5 Determinação do Volume Total da Madeira Trabalhada	71
4.6 Caracterização Física e Mecânica da Algarobeira - <i>Prosopis juliflora</i> (Sw) DC....	76
4.6.1 Teor de Umidade do Lote de Algarobeiras.....	76
4.6.2 Compressão Paralela às Fibras	78
4.6.2.1 Ajuste dos Valores da Resistência e da Rigidez à Compressão Paralela às Fibras à Condição de 12% de Umidade	84
4.6.2.2 Estimativa do valor Característico da Resistência e da Rigidez à Compressão Paralela às Fibras	86
4.6.3 Compressão Normal às Fibras	86
4.6.3.1 Ajuste dos Valores da Resistência e Rigidez à Compressão Normal às Fibras à Condição de 12% de Umidade	88
4.6.3.2 Estimativa do Valor Característico da Resistência e da Rigidez à Compressão Normal às Fibras	91
4.6.4 Tração Paralela às Fibras	91
4.6.4.1 Valores Determinados da Resistência e Rigidez na Tração Paralela às Fibras.	92
4.6.4.2 Ajuste dos Valores da Resistência e Rigidez à Compressão Normal às Fibras à Condição de 12% de Umidade	93
4.6.4.3 Estimativa do Valor Característico da Resistência e Rigidez à Tração Paralela às Fibras	97
4.6.5 Tração Normal às Fibras	97

4.6.5.1 Ajuste dos Valores da Resistência à Tração Normal às Fibras, a condição de 12% de umidade	98
4.6.5.2 Estimativa do Valor Característico da Resistência à Tração Normal às Fibras	101
4.6.6 Cisalhamento Paralelo às Fibras	101
4.6.6.1 Ajuste dos Valores da Resistência ao Cisalhamento Paralelo às Fibras, à 12% de Umidade	102
4.6.6.2 Estimativa do Valor Característico da Resistência ao Cisalhamento Paralelo às Fibras	105
4.6.7 Embutimento Paralelo e Normal às Fibras	105
4.6.7.1 Ajuste dos Valores da Resistência de Embutimento Paralelo e Normal às Fibras, à Condição de 12% de Umidade	106
4.6.7.2 Estimativa do Valor Característico da Resistência ao Embutimento Normal e Paralelo às Fibras	108
4.6.8 Densidade Básica e Densidade Aparente	109
4.6.9 Resumo Final dos Valores Encontrados para as Características Tecnológicas da Algarobeira – <i>Prosopis juliflora</i> (Sw) DC.....	112
5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES	113
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	116

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1	Algarobeiras - Arborização na UFPB, Campus II, Campina Grande-PB	13
FIGURA 2.2	Descrição simplificada da anatomia da tora	19
FIGURA 2.3	Eixos de anisotropia da estrutura da madeira	21
FIGURA 2.4	Modelo simplificado da micro-estrutura da madeira (a) e da estrutura da parede das fibro-células (b).....	22
FIGURA 3.1	Detalhes do ensaio de compressão paralela às fibras mostrando os relógios comparadores. (a) vista lateral (b) vista frontal	39
FIGURA 3.2	Detalhe da instrumentação usada no ensaio de resistência à tração paralela às fibras	44
FIGURA 3.3	Detalhe da instrumentação usada no ensaio de resistência à compressão normal. Parte (a) vista anterior ao ensaio. Parte (b) execução do ensaio	49
FIGURA 3.4	Arranjo do ensaio de resistência à tração normal às fibras.....	53
FIGURA 3.5	Geometria do corpo-de-prova do ensaio de cisalhamento	55
FIGURA 3.6	Vistas lateral e central do ensaio de embutimento	60
FIGURA 4.1	Seção transversal de uma tora de algarobeira - <i>Prosopis juliflora</i> (Sw) DC. onde pode ser observado as frações de cerne ou duramen, albarno ou branco e casca	71
FIGURA 4.2	Povoamento com alta densidade sem espaçamento definido (Fazenda da Irricamp, Coxixola-PB). Note o encurvamento da algarobeira mostrando a concorrência por espaço e luz	73
FIGURA 4.3	Povoamento mostrando perda de linearidade da algarobeira em busca de espaço e luz e a desrama natural.....	74
FIGURA 4.4	Povoamento de alta densidade indicando desenvolvimento em diâmetro de baixo a médio. A parte sombreada do solo evidencia elevada concorrência. O encurvamento do caule se deve a busca por luz	75
FIGURA 4.5	Clareira no meio do povoamento, indicando menor concorrência por espaço no solo acarretando maior desenvolvimento em	

	diâmetro	76
FIGURA 4.6	Modo de ruptura dos corpos-de-prova 4, 6 e 11 indicando o desenvolvimento de tensões cisalhantes na interface prato da prensa-face do corpo-de-prova	81
FIGURA 4.7	Corpos-de-prova com anéis de crescimento anuais arranjados sem que um dos lados da seção ficasse paralelo à direção radial	81
FIGURA 4.8	Curva tensão x deformação à compressão paralela às fibras típica obtida para a algarobeira - <i>Prosopis juliflora</i> (Sw) DC.....	82
FIGURA 4.9	Modo de ruptura típico observado nos ensaios de resistência à compressão paralela às fibras. (a) plano longitudinal-tangencial. (b) plano longitudinal-radial	83
FIGURA 4.10	Formação de “kinks” nas paredes das fibro-células da madeira durante carregamento de compressão paralelo às fibras	84
FIGURA 4.11	Curva tensão-deformação à compressão normal às fibras típica obtida para a algarobeira - <i>Prosopis juliflora</i> (Sw) DC.....	90
FIGURA 4.12	Modo de ruptura típico nos ensaios de resistência à compressão normal às fibras	90
FIGURA 4.13	Curva tensão-deformação à tração paralela às fibras típica obtida para a algarobeira - <i>Prosopis juliflora</i> (Sw) DC.....	95
FIGURA 4.14	Modo de ruptura observado nos ensaios de resistência à tração paralelas às fibras para a algarobeira - <i>Prosopis juliflora</i> (Sw) DC.....	95
FIGURA 4.15	Curvas tensão-deformação típicas para a algarobeira - <i>Prosopis juliflora</i> (Sw) DC., carregadas em tração e compressão paralelas às fibras	97
FIGURA 4.16	Modo de ruptura observado nos ensaios de resistência à tração normal às fibras	101
FIGURA 4.17	Modo de ruptura observado nos ensaios de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras	104
FIGURA 4.18	Curvas típica tensão x deformação específica de embutimento	107
FIGURA 4.19	Modo de ruptura observado nos ensaios de embutimento. (a) normal às fibras. (b) paralelo às fibras	108

LISTA DE TABELAS

TABELA 4.1	Estimativa da idade das árvores	68
TABELA 4.2	Valores dos comprimentos circunferenciais (C_{base} , C_{meio} e C_{topo}), diâmetro médio ($D_{médio}$) das toras e volume de madeira bruta das árvores estudadas	68
TABELA 4.3	Valores dos percentuais de cerne, alburno e casca das toras das árvores estudada	70
TABELA 4.4	Volume total da madeira trabalhada (serrada)	72
TABELA 4.5	Teor de umidade do lote de algarobeiras – <i>Prosopis juliflora</i> (Sw) DC.....	77
TABELA 4.6	Teor de umidade da algarobeira – <i>Prosopis juliflora</i> (Sw) DC, para ajuste das propriedades de resistência e de rigidez na compressão paralela às fibras	79
TABELA 4.7	Carga de ruptura, resistência à compressão e módulo de elasticidade da algarobeira – <i>Prosopis juliflora</i> (Sw) DC. obtidos nos ensaios de compressão paralela às fibras	80
TABELA 4.8	Resistência e rigidez à compressão paralela às fibras da algarobeira – <i>Prosopis juliflora</i> (Sw) DC., ajustados* para 12% de umidade	85
TABELA 4.9	Teor de umidade da algarobeira – <i>Prosopis juliflora</i> (Sw) DC, para ajuste das propriedades de resistência e de rigidez na compressão normal às fibras	87
TABELA 4.10	Resistência e módulo de elasticidade à compressão normal às fibras da algarobeira – <i>Prosopis juliflora</i> (Sw) DC.....	88
TABELA 4.11	Resumo dos valores da resistência e módulo de elasticidade à compressão normal às fibras ajustados* para 12% de umidade	89
TABELA 4.12	Teor de umidade da algarobeira - <i>Prosopis juliflora</i> (Sw) DC para ajuste das propriedades de resistência e de rigidez na compressão normal às fibras	92
TABELA 4.13	Resistência e módulo de elasticidade à tração paralela às fibras da algarobeira – <i>Prosopis juliflora</i> (Sw) DC.....	93

TABELA 4.14	Resumo dos valores da resistência e módulo de elasticidade à tração paralela às fibras ajustados* para 12% de umidade.....	94
TABELA 4.15	Valores da resistência à tração paralela às fibras da algarobeira <i>Prosopis juliflora</i> (Sw) DC. e de outras madeiras estudadas no LaMEM (Calil Junior, 1997).	94
TABELA 4.16	Teor de umidade da algarobeira – <i>Prosopis juliflora</i> (Sw) DC para ajuste das propriedades de resistência e de rigidez na compressão normal às fibras	98
TABELA 4.17	Valores da carga de ruptura, da área inicial da seção transversal tracionada e da resistência à tração normal às fibras da algarobeira – <i>Prosopis juliflora</i> (Sw) DC. na umidade de 23,32% e ajustada* para umidade de 12%	99
TABELA 4.18	Valores da resistência à tração normal às fibras da algarobeira <i>Prosopis juliflora</i> (Sw) DC. e de outras madeiras, estudadas no LaMEM (Calil Junior, 1997).	100
TABELA 4.19	Teor de umidade da algarobeira – <i>Prosopis juliflora</i> (Sw) DC., para ajuste das propriedades de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras	102
TABELA 4.20	Valores da carga de cisalhamento máxima, da área inicial da seção crítica e da resistência cisalhamento paralelo às fibras da algarobeira – <i>Prosopis juliflora</i> (Sw) DC., na umidade de 19,56% e ajustada* para umidade de 12%	103
TABELA 4.21	Valores da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras da algarobeira - <i>Prosopis juliflora</i> (Sw) DC. e de outras madeiras estudadas no LaMEM (Calil Junior, 1997).....	104
TABELA 4.22	Teor de umidade da algarobeira – <i>Prosopis juliflora</i> (Sw) DC. para ajuste das propriedades de resistência ao embutimento paralelo e normal às fibras	105
TABELA 4.23	Valores da resistência de embutimento paralelo e normal às fibras da algarobeira – <i>Prosopis juliflora</i> (Sw) DC. na umidade de 20,03% e ajustada* para umidade de 12%	106
TABELA 4.24	Valores da densidade básica da algarobeira – <i>Prosopis juliflora</i> (Sw) DC.....	109

TABELA 4.25	Valores da densidade aparente da algarobeira - <i>Prosopis juliflora</i> (Sw) DC.....	110
TABELA 4.26	Densidade aparente da algarobeira e de algumas espécies de madeira (dicotiledôneas) estudadas pelo LaMEM da EESC da Universidade de São Paulo (Calil, 1997)	111
TABELA 4.27	Propriedades específicas da algarobeira - <i>Prosopis juliflora</i> (Sw) DC e de outras madeiras estudadas no LaMEM (Calil Junior, 1997)	112
TABELA 4.28	Resumo final dos valores encontrados para as características tecnológicas da algarobeira – <i>Prosopis juliflora</i> (Sw) DC.....	112

LISTA DE QUADROS

QUADRO 2.1	Espécies utilizadas nos reflorestamentos aprovados por incentivos fiscais e suas áreas no Estado da Paraíba	10
QUADRO 2.2	Área e microrregião, efetivamente reflorestada, no Estado da Paraíba, com algarobeira - <i>Prosopis juliflora</i> (Sw) DC.....	10
QUADRO 2.3	Classes de umidade	23
QUADRO 2.4	Classes de resistência das coníferas	23
QUADRO 2.5	Classe de resistência das dicotiledôneas	24

LISTA DE SIMBOLOS

- A - área inicial da seção transversal do corpo-de-prova
- A_e - área de embutimento
- $A_{v,0}$ - área inicial da seção crítica cisalhante do corpo-de-prova
- C - comprimento da circunferência
- CV - coeficiente de variação
- d - diâmetro do pino
- D_{12} - densidade a 12% de umidade
- D_n - densidade a n% de umidade
- E_{12} - módulo de elasticidade a 12% de umidade
- $E_{c,0}$ - módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras
- $E_{c,90}$ - módulo de elasticidade à compressão normal às fibras
- $E_{c0,m}$ - valor médio do módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras
- $E_{c90,m}$ - valor médio do módulo de elasticidade à compressão normal às fibras
- $E_{t,0}$ - módulo de elasticidade à tração paralela às fibras
- $E_{U\%}$ - módulo de elasticidade a U% de umidade
- $f_{c0,est}$ - resistência estimada à compressão paralela às fibras
- $f_{c90,est}$ - resistência estimada à compressão normal às fibras
- $f_{c0,k}$ - valor característico da resistência à compressão paralela às fibras
- $f_{c90,k}$ - valor característico da resistência à compressão normal às fibras
- $f_{t0,est}$ - resistência estimada à tração paralela às fibras
- $f_{t90,est}$ - resistência estimada à tração normal às fibras
- $f_{t0,k}$ - valor característico da resistência à tração paralela às fibras
- $f_{t90,est}$ - valor característico da resistência à tração normal às fibras
- $f_{v0,est}$ - resistência estimada ao cisalhamento paralelo às fibras
- $f_{v0,k}$ - valor característico da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras
- $f_{e0,est}$ - resistência estimada de embutimento paralelo às fibras
- $f_{e90,est}$ - resistência estimada de embutimento normal às fibras
- $f_{e0,k}$ - valor característico da resistência de embutimento paralelo às fibras

$f_{e90,k}$ - valor característico da resistência de embutimento normal às fibras

$F_{c0,máx}$ - carga máxima de compressão paralela às fibras

$F_{e,0}$ - força máxima de embutimento paralelo às fibras

$F_{e,90}$ - força máxima de embutimento normal às fibras

$F_{t0,máx}$ - máxima força de tração paralela às fibras

$F_{t90,máx}$ - máxima força de tração normal às fibras

$f_{U\%}$ - resistência a U% de umidade

f_{12} - resistência a 12% de umidade

$F_{v0, máx.}$ - máxima força cisalhante

$f_{wc,0}$ ou $f_{c,0}$ - resistência à compressão paralela às fibras

$f_{wc,90}$ ou $f_{c,90}$ - resistência à compressão normal às fibras

$f_{we,0}$ ou $f_{e,0}$ - resistência ao embutimento paralelo às fibras

$f_{we,90}$ ou $f_{e,90}$ - resistência ao embutimento normal às fibras

$f_{wt,0}$ ou $f_{t,0}$ - resistência à tração paralela às fibras

$f_{wt,90}$ ou $f_{t,90}$ - resistência à tração normal às fibras

$f_{vv,0}$ ou $f_{v,0}$ - resistência ao cisalhamento paralelo às fibras

l - comprimento inicial do corpo-de prova

l_{au} - lado do corpo-de-prova na direção axial úmido

l_{ru} - lado do corpo-de-prova na direção radial úmido

l_{tu} - lado do corpo-de-prova na direção tangencial úmido

m_{12} - massa da madeira a 12% de umidade

m_i - massa inicial da madeira

m_s - massa seca final da madeira

n - número de corpos-de-prova

P - carga aplicada

S_1 - camada 1 da parede da fibro-célula

S_2 - camada 2 da parede da fibro-célula

S_3 - camada 3 da parede da fibro-célula

t - espessura do corpo-de-prova

u - umidade do corpo-de-prova

$U\%$ - teor de umidade da madeira

U_{amb} - umidade ambiente

U_{eq} - umidade de equilíbrio

V_{12} - é o volume da madeira a 12% de umidade

V_o - volume do corpo-de-prova seco na estufa

V_{sat} - volume da madeira saturada

V_u - volume do corpo-de-prova úmido

x - valor da resistência do corpo-de-prova

x_{wk} - valor característico da resistência da madeira

ε - deformação

$\varepsilon_{50\%}$ - deformação específica correspondente a tensão de 50% da resistência

$\varepsilon_{10\%}$ - deformação específica correspondente a tensão de 10% da resistência

σ - tensão

$\sigma_{50\%}$ - tensão correspondente a 50% da resistência

$\sigma_{10\%}$ - tensão correspondente a 10% da resistência

ρ_{ap} - densidade aparente

ρ_{bas} - densidade básica

Δl - encurtamento do corpo de prova

δ_v - coeficiente de retratibilidade volumétrica

Δ_{vu} - retração volumétrica

RESUMO

GOMES, Juâres J. **Características Tecnológicas da Algarobeira - *Prosopis juliflora* (Sw) DC: Contribuição para o uso racional.** Campina Grande, 1999. 118 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba.

Objetivando contribuir para um maior conhecimento sobre as essências arbóreas existentes no nordeste brasileiro, e mais especificamente no Estado da Paraíba, buscou-se, através deste trabalho, oferecer dados sobre as características tecnológicas da algarobeira e subsídios indicadores sobre a viabilidade de sua utilização como fonte de peças estruturais para uso nas construções rurais.

A abordagem se deu pela identificação da espécie de 5 árvores selecionadas, da coleta de 10 toras, da estimativa da idade das árvores, da determinação do volume total da madeira bruta (não trabalhada), do evidenciamento dos percentuais de cerne, alburno ou branco e casca das toras, e da caracterização completa da espécie por intermédio dos seguintes ensaios físicos e mecânicos: teor de umidade, densidade básica e aparente, compressão paralela às fibras, tração paralela às fibras, compressão normal às fibras, tração normal às fibras, cisalhamento paralelo às fibras, embutimento paralelo às fibras e embutimento normal às fibras. A análise dos resultados foi feita comparando-se os valores obtidos neste trabalho, para os diferentes ensaios, com os valores obtidos, para outras espécies madeireiras, estudadas por outros pesquisadores e Instituições de Pesquisa. De acordo com os resultados obtidos, conclui-se que a algarobeira equiparase, em termos de resistência e rigidez, às madeiras tradicionalmente utilizadas nas construções no nosso país.

ABSTRACT

GOMES, Juãres J. **Technological Characteristics of Mesquita Tree - *Prosopis juliflora* (Sw) DC.: Contribution for a Rational Use.** Campina Grande, 1999. 118p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba.

The main objective of this work is to determine the technological properties of the Mesquita Tree available in the semi-arid area of Northeast and in special of the Paraíba state. The knowledge of the properties of this specie is important because it is intended to use the timber from this tree as structural elements in rural engineering constructions. Five trees were selected, botanically examined, the age determined and the total volume of timber calculated. The volume of bark, cambium, sapwood and heartwood was determined through the cross-section area. Physical properties such as density, humidity air content and mechanical properties such as tensile, compressive and shear strength were also determined. The obtained results were compared with those from timbers normally used in civil construction. The results indicated that the mesquita tree has strength and elastic modulus comparable with those of the timbers normally used for construction in Brazil.

CAPITULO 1

1 INTRODUÇÃO

A madeira é um material de construção utilizada pelo homem desde épocas pré-históricas. Até o século passado a pedra e a madeira, combinando-se frequentemente esses dois materiais, eram utilizadas para a construção das mais importantes e majestosas obras de engenharia. Mesmo assim, somente a partir da primeira metade do século XX é que foram estabelecidas teorias científicas aplicadas às estruturas de madeira.

A primeira iniciativa que se tem notícia da caracterização tecnológica de madeiras no Brasil ocorreu em 1904 e coube ao Grêmio Politécnico do Estado de São Paulo. Foram realizados estudos sobre a resistência à compressão, flexão e determinação do peso específico de diversas espécies nacionais.

Por volta de 1930, já estruturado como Instituto de Pesquisa Tecnológica (IPT), essa Instituição publicou seus Métodos para Ensaio de Madeira, nos quais se fundamentou o desenvolvimento da pesquisa objetivando a caracterização de espécies madeireiras existentes no país. Naquele momento, esses métodos foram agrupados em dois blocos. O primeiro englobava os Ensaio Físicos (umidade, peso específico aparente, retratibilidade linear e volumétrico). O segundo bloco englobava os Ensaio Mecânicos (compressão paralela às fibras, flexão estática, flexão dinâmica ou resistência ao choque, tração normal às fibras, fendilhamento, dureza e cisalhamento).

A MB-26, Método Brasileiro para Ensaio Físicos e Mecânicos, surge em 1940, depois da instalação da Associação Brasileira de Normas Técnicas que adotou os Métodos para Ensaio de Madeira do IPT.

A mais recente contribuições para a caracterização da madeira foi feita pelo Laboratório de Madeira e de Estrutura de Madeira (LaMEM) da Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo. Deve-se, no entanto, ressaltar trabalhos anteriores e dentre eles é importante fazer referência ao trabalho desenvolvido pelo Laboratório de Estrutura e Tecnologia dos Materiais, LAETEMA (hoje, Laboratório de Estruturas) do Centro de Tecnologia (hoje Centro de Tecnologia e Geociências) da Universidade Federal de Pernambuco que, com base na MB-26, publicou os resultados dos ensaios físicos e mecânicos de 35 espécies de madeiras existentes no Nordeste do Brasil.

Embora madeiras locais tenham sido estudadas no Laboratório de Estruturas da UFPE, a grande quantidade de madeira consumida em nossa região é oriunda da Amazônia e, portanto, de custo elevado, devido ao transporte, o que, em alguns casos, inviabiliza o seu uso frente a outros materiais como o aço e o concreto. A escassez cada vez mais acentuada de madeira, determinada pelas criminosas devastações e uso irracional do solo, também a coloca em desvantagem na concorrência com outros materiais de construção.

A Algarobeira, evidenciada no presente estudo como uma essência arbórea com alto percentual de cerne ou duramen em seu tronco e grande resistência e rigidez, não foi introduzida no Brasil, e em particular na região nordestina, com a finalidade de servir de planta fornecedora de madeira para as construções, mas sim para o uso como planta forrageira. Essa essência xerófila, altamente resistente a seca, mostrou uma excelente capacidade de adaptação edafoclimáticas e, dependendo das condições de como poderá vir a ser manejada, terá condições de suprir parte das necessidades madeireiras da região barateando o consumo, uma vez que a proximidade da região de plantio com a de uso final diminuirá, consideravelmente, a parcela de transporte no custo final da madeira.

No momento, existem sérias controvérsias sobre as vantagens e desvantagens de se haver implantado a algarobeira como alternativa de alimentação animal no semi-árido nordestino. Os defensores do cultivo da planta dizem que a facilidade com que a algarobeira sobrevive em ambientes secos e os inúmeros usos que se pode fazer da mesma fazem dela uma grande alternativa para essa região. Os acusadores, por outro lado, dizem que essa espécie arbórea é invasora, concorre de forma desigual com outras espécies colocando-as em risco e além disso podem trazer doenças aos animais. As consequências dessas controvérsias tem conduzido a simples erradicação da algarobeira ou, quando muito, ao seu uso na produção de lenha, carvão ou estacas.

Quando iniciaram-se os trabalhos da presente dissertação o objetivo não era apenas o de se cumprir uma atividade acadêmica, mas sim o de buscar o conhecimento das características de resistência e rigidez dessa madeira, usando-se um método de ensaio adequado (NBR 7190/97), visando permitir a aplicação racional dessa madeira como elemento estrutural possibilitando o melhoramento da infra-estrutura física das propriedades rurais nordestinas.

Embora a Algarobeira possua um caule retorsido e não seja bastante linheira, o que poderá impossibilitar o seu uso em grandes estruturas, é possível a obtenção de uma melhor linearidade no desenvolvimento do seu tronco a partir de um conjunto de métodos de manejo como o tutoramento, espaçamento, desbaste, poda, raleio, etc. Até agora essa espécie tem sido plantada no nordeste brasileiro da forma mais irracional possível e é evidente que ela não terá condições de, dessa forma, responder a parte das necessidades madeireiras das populações e, muito menos, de exteriorizar as suas potencialidades genéticas.

No presente trabalho, mesmo considerando-se as limitações dos equipamentos utilizados, obteve-se toras de algarobeira com 3,80 m, que ofertou, depois de trabalhada, peças com 2,70 m de comprimento e seções transversais de 22,0 cm x 22,0 cm. É importante ressaltar que as madeiras comercialmente encontrada no Brasil possuem, para postes, seções transversais de 12,0 cm x 12,0 cm e de 15,0 cm x 15,0 cm e, para pranchões, seções transversais de 6,0 cm x 20,0 cm e 6,0cm x 30,0 cm. Deve-se mencionar que muito material útil das toras se perdem no processamento da madeira devido a

presença nós. Os engenheiros e técnicos florestais desramam as árvores com o objetivo principal de produzir madeira isenta de nós. É, portanto, a desrama uma prática silvicultural que pode melhorar, em larga escala, o aproveitamento das nossas espécies madeireiras.

O objetivo principal dessa pesquisa é determinar as características tecnológicas da Algarobeira - *Prosopis juliflora* (Sw) DC., visando contribuir para o seu uso racional. De forma mais específica, visa-se realizar a caracterização completa da algarobeira por intermédio de ensaios físicos e mecânicos determinados pela NBR 7190/97 e apresentar estudos complementares sobre sua caracterização botânica, determinação da idade das árvores coletadas, volume das toras, percentuais de cerne, alburno ou branco e casca dos troncos, volume da madeira trabalhada e dimensões das peças conseguidas.

A presente dissertação está dividida em seis capítulos:

Capítulo 1 - apresenta uma introdução geral à área de interesse desse trabalho e define os objetivos do trabalho de pesquisa.

Capítulo 2 - faz-se uma revisão bibliográfica sobre os diversos aspectos da algarobeira e apresenta-se as características estruturais e micro-estruturais das madeiras como um todo.

Capítulo 3 - são apresentados os materiais e métodos usados no desenvolvimento do presente estudo.

Capítulo 4 - faz-se a apresentação e análise dos resultados.

Capítulo 5 - apresenta as conclusões obtidas da presente investigação e faz-se sugestões para futuros trabalhos.

Capítulo 6 – Apresenta as referências bibliográficas.

CAPITULO 2

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Generalidades

A Algarobeira *Prosopis juliflora* (Sw) DC. é uma espécie vegetal arbórea da família das leguminosae, pouco exigente em água, cuja ocorrência, em sua forma natural, se dá em zonas tropicais áridas, que não chegam a alcançar índices pluviométricos de 100 mm. Essa característica da algarobeira, de chegar a se desenvolver bem em zonas de baixa precipitação pluviométrica, é de extrema importância para o nordeste brasileiro, uma vez que a precipitação pluviométrica média anual dessa região, tida como semi-árida, gira em torno de 750 mm e, embora seja baixa para outras espécies vegetais, já é 7,5 vezes maior do que aquela que essa espécie necessita para ocorrer.

A intensa seca ocorrida em 1958 nos sertões do estado do Rio Grande do Norte, constituiu-se em um excelente teste no que diz respeito a acentuada capacidade da algarobeira de resistir aos longos períodos de estiagens. Observou-se que na fazenda “São Miguel”, hoje denominada de Angicos, naquele Estado, a precipitação ocorrida foi de apenas 121 mm, no entanto, as algarobeiras permaneceram produzindo satisfatoriamente, evidenciando, com isso, ser essa essência arbórea de cultivo ideal para as regiões que sofrem os rigores das prolongadas estiagens.

Devido a essa pequena exigência em água, além de, por outro lado, se saber que essa espécie vegetal possui comprovada capacidade de medrar bem em solos de baixa

fertilidade e de condições físicas imprestáveis a outras culturas agropecuárias, evidencia-se as grandes potencialidades desta leguminosae como fonte geradora de alimentos para o homem e os animais, constituindo-se, desse modo, em decisiva contribuidora para o desenvolvimento da agropecuária nordestina. E tem sido exatamente por essas particularidades, e por suas importantes e variadas utilidades, que essa essência xerófila é tida como planta de valor precioso para o nordestino e tem sido recomendada por conceituados técnicos para a região do polígono das secas.

2.2 Aspectos Botânicos

2.2.1 Sistemática

A algarobeira está classificada, segundo BARROS (1981), da seguinte maneira:

FAMÍLIA	Leguminosae
SUB-FAMÍLIA	Mimosaceae
GÊNERO	Prosopis
ESPÉCIE	<i>Prosopis juliflora</i> (Sw) DC.

2.2.2 Morfologia

A algarobeira é uma árvore típica de regiões áridas e semi-áridas e que apresenta as seguintes características:

1. *Sistema radicular* - em geral a raiz principal chega a alcançar grandes profundidades, pois, em sendo uma planta de regiões de pouca água esta busca encontrar o lençol freático. Essa essência espalha também um bom número de raízes laterais no subsolo.

2. *Caule* - apresenta-se, via de regra, sinuoso e retorsido, alcançando de 6 à 20 m de altura e cujo diâmetro atinge 45 - 100 cm. Possui coloração marrom, com espinhos axilares alojados em ambos os lados dos nós e dos ramos. Possui casca pardo-avermelhada, com fendas, escamosa e grossa.

3. *Folhas* - são compostas, bipinadas, 1 juga, poucas vezes 2 jugas, folíolos 6-30 jugas, linear-oblongas, separadas entre si por longos ráquis.

4. *Flores* - se apresentam amarelo-pálidas, dispostas em espigas axilares cilíndricas de 7 cm de comprimento; o cálice possui forma tubular e de cor verde-amarelo-claro, com 1,5 mm de largura com 5 sépalas e em forma de campânula; a corola é composta de 5 pétalas de cor verde-claro, amarelada, com 3 mm de tamanho e piloso nos lados; possui 10 estames estendidos, de cor amarelo-laranja, contendo nas extremidades as anteras de cor marrom e com cerca de 4 mm de comprimento; o pistilo único, apresenta estilo delgado, curvado, branco, com cerca de 4 mm de comprimento e ovário de cor verde-claro e pouco piloso.

5. *Fruto* - é uma vagem do tipo achatada e mais ou menos curva, com mais ou menos 20 cm de comprimento e com depressões entre as sementes; é composto de epicarpo coriáceo, de cor amarelo-claro; mesocarpo carnosos e rico em sacarose (20 a 25%); o endocarpo é lenhoso e forma cerdas contendo as sementes.

2.3 Origem e Introdução da Algarobeira no Brasil

As sementes das vagens de algarobeiras, cuja origem se atribui ser do Novo México, Estados Unidos, segundo AZEVEDO (1955), foram introduzidas, inicialmente, no Brasil, em 1942, no município de Serra Talhada, zona sertaneja do estado de Pernambuco, por intermédio da secretaria de agricultura desse Estado, por recomendação do professor J. B. Griffing da Escola Superior de Agricultura de Viçosa, Estado de Minas Gerais. Essas sementes foram ali plantadas pelo Engenheiro Agrônomo Laurindo Albuquerque e as primeiras mudas tiveram o cuidado do, também Engenheiro Agrônomo, Lauro Bezerra, que as transplantou para o local definitivo. Dessa primeira tentativa não se

tem informações sobre o seu sucesso o que demonstra que há fortes indícios de que tenha fracassado.

No ano de 1946, ocorreu uma segunda introdução dessa espécie exótica no nordeste brasileiro. Dessa feita, o conceituado botânico inglês S. C. Harland, em visita ao município de Angicos (atualmente denominado Fernando Pedroza) no Rio Grande do Norte, onde a “Companhia Brasileira” de linhas para coser, então “Machine Cotton”, realizava trabalhos experimentais com a espécie de algodão mocó, e ao conhecer as condições ambientais da região do seridó, aconselhou aos técnicos da região sobre a possível viabilidade de sucesso da introdução de plantas forrageira xerófilas, inclusive a algarobeira, existentes nas regiões secas do Perú e que ele havia conhecido quando de sua passagem por lá. Nesse mesmo ano de 1946, o referido botânico, após viajar, remeteu à citada companhia as primeiras sementes que foram coletadas no Perú e no ano de 1948 enviou sementes procedentes do Sudão Anglo-Egípcio, cujos resultados, após o semeio, foi a obtenção de 4 plantas. Dessas quatro plantas, duas eram de porte baixo, com espinhos longos e fortes, conseguidas através da germinação das sementes vindas do Sudão, e as outras duas eram plantas de porte alto e com espinhos de pequeno tamanho, oriundas das sementes peruanas. Tais exemplares ficaram, na época, sob a responsabilidade do geneticista Carlos Farias Azevedo constituindo-se, posteriormente, em um dos mais espetaculares exemplos de sucesso de introdução de planta xerófila no nordeste brasileiro e que, sem dúvida, veio nos anos seguintes contribuir de modo decisivo, para o fortalecimento da agropecuária na região (AZEVEDO, 1960).

2.4 Distribuição Geográfica

BUKART (1952) afirma que existem cerca de 40 espécies de *Prosopis* (gênero da família leguminosae) distribuídas nos continentes asiático, africano e americano. Na América, as *Prosopis* estão distribuídas pelas regiões mais secas, desde o sudeste dos Estados Unidos até a Patagônia. E é exatamente nessas regiões onde é encontrado o maior número de espécies desse gênero.

No Brasil são encontradas as espécies *Prosopis ruscifolia* Griseb., no Estado do Piauí, *Prosopis algarobilla* variedade *nandubay*, no Estado do Rio Grande do Sul (BUKART, 1952).

2.5 A Algarobeira no Nordeste do Brasil

A expansão da Algarobeira no nordeste do Brasil contou com o apoio de ações governamentais, a dedicação de um grande número de renomados técnicos vinculados a órgãos públicos e entidades de ensino, pesquisa e extensão, além de milhares de empresários e produtores rurais nordestinos. E, ainda, de um incontável número de pequenos e médios agricultores que, mesmo através de ações não organizadas, fizeram a algarobeira ocupar, já no ano de 1989, uma área de 150 mil hectares da região. Para constituir-se em contribuidora de sucesso para o desenvolvimento econômico da agropecuária da região, a algarobeira contou com os apoios:

- a) Da imprensa brasileira e nordestina que desempenhou grande papel na formação de uma nova consciência sobre a espécie e sua utilidade;
- b) Dos intensos programas de pesquisa visando dar respostas as inúmeras indagações sobre a viabilidade do seu uso, tanto na alimentação humana, quanto na alimentação animal; ensaios de competição de espécies e progenie, propagação assexuada (vegetativa), formas de adubação, extração e armazenamento de sementes, espaçamento de plantio, produtividade de vagens, obtenção e uso da madeira, consorciamento agrosilvicultural etc.;
- c) Dos grandes números de eventos técnico-científicos sobre a algarobeira.

Constituindo-se, hoje, em um dos maiores sucesso de introdução de plantas xerófilas no semi-árido nordestino, a algarobeira se adaptou muito bem as condições edafoclimáticas dessa região embora não esteja sendo racionalmente aproveitada. Se compararmos o consumo de madeiras do Estado da Paraíba com o volume de madeira de algarobeira existente nas florestas plantadas, verifica-se que a relação volume plantado/consumo é bastante inexpressivo. O que é pior, de um total de 293 projetos de reflorestamento iniciados no ano de 1979 no Estado, e mais especificamente no semi-árido

paraibano, apenas 83 tiveram suas ações continuadas, enquanto que os 210 restante (72% aproximadamente), foram completamente abandonados e sem condições de recuperação. Ressalte-se ainda, que todos esses projetos foram regidos por lei (Lei 1.134/70 – incentivos fiscais), utilizando espécies exóticas frutíferas e nativas, conforme pode se observar no Quadro2.1.

QUADRO 2.1 – Espécies utilizadas nos reflorestamentos aprovados por incentivos fiscais e suas áreas no Estado da Paraíba

Espécies	Área (ha)
Algarobeira – <i>Prosopis juliflora</i> (Sw) DC.	43.470
Bambú – <i>Bambusa vulgaris</i>	2.370
Côco-da-Bahia – <i>Cocus nucifera</i>	1.600
Cajueiro- <i>Anacardium occidentale</i>	3.377
Total	50.824

Fonte : SUPES/IBAMA - PB

Os valores expostos neste quadro mostram que apenas 50.824 ha do Estado da Paraíba, que possui uma extensão territorial de 56.372 km², foram submetidos a processos de reflorestamento, o que equivale apenas a 0,9 % de todo o território paraibano. No entanto, analisando-se do ponto de vista da Algarobeira, em função das micro-regiões, verifica-se que esta essência exótica foi a mais utilizada (85,5%) nos reflorestamentos. O Quadro 2.2 mostra as áreas reflorestadas por micro-regiões e nele observa-se que foi nos cariris-velhos onde ela foi mais plantada.

QUADRO 2.2 – Área e microrregião, efetivamente reflorestada, no Estado da Paraíba, com algarobeira - *Prosopis juliflora* (Sw) DC.

MICRORREGIÃO	ÁREA (hectare)
Agreste da Borborema	2.730,00
Agropastoril do Baixo Paraíba	
Brejo Paraibano	750,00
Cariris Velhos	15.889,45
Catolé do Rocha	100,00
Curimataú	2.845,18
Depressão do Alto Piranhas	3.948,00
Litoral Paraibano	
Piemonte da Borborema	220,00
Seridó Paraibano	4.570,52
Serra do Teixeira	570,00
Sertão de Cajazeiras	980,00
Total	32.603,15

Fonte : SUPES/IBAMA-PB, 1993

2.6 Formas de Utilização da Algarobeira

a) Produção de alimentos de boa qualidade para os rebanhos (forrageira)

Segundo GOMES (1961) o fruto da algarobeira (a vagem) tem, há séculos, sido usada no Perú, no Chile, na Argentina, na Colombia, no Sudão, etc; na nutrição de bovinos, ovinos, caprinos, e equinos, sendo esta parte componente do vegetal a que desperta o maior interesse por parte dos animais por ser a de maior palatabilidade. A folhagem (ramas), na condição de feno, quando a planta é jovem, é consumida pelos animais, ou quando os galhos secam após caírem ao chão. Além disso a algarobeira pode ter os seus ramos triturados em pequenas proporções e misturados com outras forrageiras como é prática comum de alguns criadores. O grande valor das algarobeiras, como forrageira, reside no fato de que esta, mesmo nos meses mais secos do ano, consegue permanecer sempre verde e em produção.

b) Proteção do solo

Um povoamento de algarobeira, ou até mesmo uma árvore isolada, protege o solo contra a ação direta dos raios solares e dos ventos evitando, desse modo, a erosão eólica e hídrica;

c) Alimentação humana

As vagens de algarobeira fornecem matéria prima básica para a produção de bolos, biscoitos, geléias, licores, pães, papas, melaços, café, etc.;

d) Como enriquecedora do solo com o nitrogênio assimilável

Tal enriquecimento se dá através da fixação do nitrogênio do ar do solo por intermédio das bactérias do gênero *Rhizobium* que se alojam no sistema radicular da planta e, em simbiose, fixam o nitrogênio fornecendo-o a planta ao mesmo tempo que se alimentam do amido contido nas raízes;

e) Aumenta o teor de matéria orgânica da camada superficial do solo

A algarobeira, sendo uma planta com excepcional capacidade de retirar, juntamente com a água, nutrientes do solo, cumpre a tarefa de buscar esses nutrientes nas camadas profundas do solo e, posteriormente, disponibilizá-los, na forma de matéria orgânica, na superfície desse solo, sob a forma de galhos, folhas, flores, frutos e sementes;

f) Aproveitamento de áreas salinizadas

Em áreas com alto teor de sais, onde vegetais de interesse econômico não têm apresentado resultados satisfatórios em termos de desenvolvimento e produção, pode servir para o cultivo da algarobeira pois ela possui boa capacidade de adaptação a solos nessas condições;

g) Produção de álcool etílico

Trabalhos experimentais mostraram que 100 kg de vagens da algarobeira chegam a produzir 27 litros de álcool etílico;

h) Suporte para a apicultura

Por ter as suas flores melíferas e possuir floração abundante nos períodos mais secos do ano, quando quase a totalidade da vegetação não apresenta flores, a algarobeira auxilia em muito a apicultura regional;

i) Arborização e ajardinamento das cidades

Devido às suas características de rusticidade, precocidade e beleza, a algarobeira tem sido, com frequência, utilizada nas cidades em processos de ajardinamento e arborização assim como, na condição de cerca viva e como formadora de bosques e renques. A Figura 2.1 mostra área do Campus II da UFPB arborizada com algarobeira.

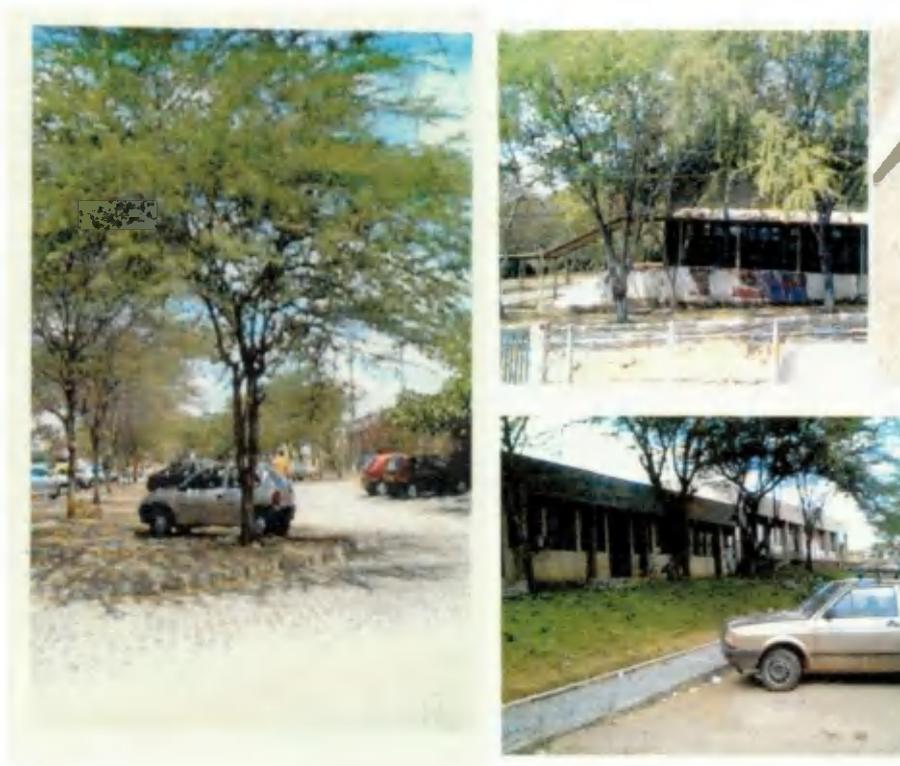


FIGURA 2.1 – Algarobeiras - Arborização na UFPB, Campus II, Campina Grande, PB

“Nenhuma planta é mais resistente a seca do que a Algarobeira; nenhuma planta resiste mais a salinidade do que a Algarobeira; nenhuma planta se desenvolveu mais rapidamente do que a Algarobeira, na região do Cariri paraibano; nenhuma planta produz mais abundantemente vagens, no período da sêca, do que a Algarobeira; A algarobeira produz vagens, ramas, estacas e lenha, além da principal característica de proteger o solo”.

“dos presidentes de Associações Rurais de vários municípios paraibanos.....”

j) Na indústria do curtume

A algarobeira possui, em sua casca, um alto teor de tanino que é a matéria prima utilizada no processo de curtimento de couro;

l) Adaptação da fauna regional a essa essência exótica

Muitas espécies de pássaros já nidificam em seus galhos e muitos animais nativos utilizam a vagem da algarobeira como alimento;

m) Produção de madeira

A algarobeira possui uma madeira dura, porém fácil de ser trabalhada, e de ótima qualidade para a carpintaria e marcenaria. Possuindo, por outro lado, uma alta durabilidade essa essência xerófila pode ser, em larga escala, utilizada para (i) fabricação de móveis, (ii) esquadrias, (iii) tacos; (iv) linhas, (v) ripas, (vi) dormentes, (vii) mourões, (viii) postes, (ix) estacas para cercas (em razão de sua grande resistência ao ataque de cupim e a podridão, mesmo quando enterrada), (x) lenha, (xi) carvão (de excelente qualidade)

Com relação ao uso estrutural dessa madeira, o único estudo encontrado na literatura foi desenvolvido por PEREIRA *et al* (1976) que fez sua caracterização tecnológica usando a MB-26 de 1940. Os estudos de Pereira *et al* estão discutidos no Capítulo 4.

2.7 Controvérsias (quanto ao caráter invasor e de toxidez para os animais)

Apesar das inúmeras aplicações, existem algumas controvérsias sobre o uso e disseminação da algarobeira. Alguns criadores responsabilizam essa essência arbórea pela intoxicação de bovinos e também consideram essa leguminosa uma planta invasora uma vez que, segundo eles, concorre e prejudica as culturas tradicionais.

GERMEK (1961) cita que, no Peru, veterinários, chegaram a conclusão que a intoxicação de bovinos ocorria quando estes eram submetidos a regime de pastoreio em áreas de cana-de-açúcar e posteriormente submetidos a alimentação suplementar com frutos da algarobeira (vagem). No caso citado, observou-se que a causa morte dos ruminantes era determinada pela ação de uma enzima denominada de emulsina encontrada na vagem da algarobeira, que reagindo com glicosídeos cianogênicos da cana-de-açúcar liberava o ácido cianídrico de efeito letal ao gado.

AZEVEDO (1961) por sua vez, descreve que pesquisadores americanos chegaram a conclusão que perturbações observadas na maxila e na língua dos bovinos, no

Texas, são acarretadas pela ingestão de vagens de algarobeira. No entanto, tais perturbações parece que não ocorre nos países Sul-Americanos.

Distúrbios nos animais podem ocorrer quando: (a) a alimentação for feita exclusivamente com vagens de algarobeiras, o que aliás pode se verificar com qualquer outro tipo de alimento; (b) o consumo dessas vagens for oriundas de variedades americanas; (c) os animais forem alimentados com cana-de-açúcar e vagens de algarobeira.

No Brasil, a vagem da algarobeira é usada na ração animal por muitos fazendeiros. Entretanto, não se tem notícias de nenhum problema de intoxicação. Ocorre porém que alguns criadores tem notado o aparecimento de problemas de perturbações gástricas, em caprinos e ovinos quando estes animais consomem em demasia vagens de algarobeira. Pressupõe-se que essas perturbações ocorrem em virtude da vagem possuir as extremidades pontiagudas. Estando o rúmex bastante cheio, os movimentos provocados sobre a massa neste contido, pelos pilares do rúmex-retículo, podem fazer com que os fragmentos perfurantes traumatizem a mucosa gástrica provocando, por via de conseqüências a paralisação do rúmex. O que advém daí é uma excessiva fermentação com modificação do pH, oxigenação e temperatura do rúmex, provocando a morte da microflora ruminal. Nesse caso o animal não regurgita e ascende a boca apenas o licor ruminal, incitam-se as mandíbulas uma vez que não tem material para remastigar; a inchação atinge a parte superior da cabeça o animal deixa de comer; os pelos ficam arrepiados, caracterizando o quadro sintomatológico de verminose justificando-se desse modo o crédito de que as Algarobeiras provocam verminose;

Em relação a argumentação de que a planta é invasora, FARIAS (1955) afirma que nos Estados Unidos da América (E.U.A) a planta é de fato invasora e em razão disso, muito combatido o seu semeio. No entanto, AZEVEDO (1961) concluiu que as algarobeiras predominantes naquele país pertencem a outras espécies tais como *Prosopis Pubescens*, *Prosopis reptane* var. *Varcinerascens*. Embora a *Prosopis juliflora* (Sw) DC., também se faça presente, essas ocorrem em pequena quantidade, são extremamente espinhosas e os frutos são pouco adocicados. No início, a *Prosopis juliflora* (Sw) DC., era considerada como variedades e eram registradas com os nomes *Prosopis juliflora* var.

Velutina, *Prosopis juliflora* var. *Glandulosa*. AZEVEDO (1961) esclarece ainda que as condições de umidade do solo das regiões onde a algarobeira se desenvolvem nos E.U.A. permitem a germinação das sementes com certa facilidade o que não acontece no Nordeste seco do Brasil.

Devido a essas controvérsias, essa espécie exótica, em que pese se conhecer a causa dos problemas apontados, vem sendo completamente eliminada de algumas propriedades rurais do Nordeste do Brasil e sua madeira utilizada apenas para a produção de estacas, lenha e carvão.

2.8 Aspectos Fitossanitários (pagas e doenças)

CARVALHO et al (1968) descrevem que desde a introdução da Algarobeira no Nordeste do Brasil, registrou-se a incidência de pragas a partir de 1956, quando apareceram na cidade de Surubim, interior do Estado de Pernambuco, alguns galhos da planta cortadas por insetos da espécie *Oncideres saga*, vulgarmente chamados de "serra-paus". De lá para cá, o ataque dessa praga vem aumentando gradativamente, já tendo alcançado, em muitos lugares, alto índice de infestação.

GALLO et al, (1970) afirmam que as fêmeas do inseto serram os galhos da Algarobeira, anelando-os e provocando, por via de consequência, sua queda, para em seguida fazerem a postura nos ramos que se encontram no chão. O referido ataque se dá, preferencialmente, quando as plantas atingem em torno de 1,5 m de altura.

PIZA JR.,(1977) por seu lado, cita a descoberta de um novo proscopiideo, no nordeste, que vem atacando os algarobais que é o *Stiphra algaroba* sp (N), descoberto em Remígio-Paraíba.

VALDÍVIA (1972), menciona que um coleóptero da família Buprestidae: a Psiloptera, ataca a algarobeira, principalmente plantas novas, alimentando-se do córtex das mesmas, provocando, em razão disso, a morte das plantas atacadas. O autor cita, também, que a família Cerambycidae possui duas espécies, a *Eburia pilosa* (Er.) e a *Achryson*

galapagoensis (Lin.), que atacam as ramas tenras da algarobeira danificando o córtex. A mosca *Silba pendula* (Bezzi) da família Lonchaeidae, deposita os ovos nas vagens da algarobeira, e as larvas se dirigem até o interior do fruto em busca das sementes, nas quais vivem até atingir o estágio adulto. VALDIVIA (1972) cita a praga que mais causa danos à planta como pertencente a família Tineidae. Trata-se de um inseto de coloração cinza, muito largo, cuja forma de ataque consiste em colar os folíolos mediante uma mucilagem que secreta, entre as quais deposita os seus ovos. A partir daí, surgem as larvas que passam a se alimentar dos tecidos tenros das folhas por intermédio de um ataque tão forte que, em poucos dias as folhas caem e secam. A ocorrência de doenças na algarobeira é menos frequente e, em sua maioria, é uma consequência do ataque de pragas.

PONTES (1949), informa que Golfred incluiu a algarobeira em uma relação de hospedeiros do nematóide das galhas, doença esta provocada pelo nematóide *Meloidogyne hapla*, choitwood.

2.9 A Madeira em Geral

A madeira é um material orgânico, de origem vegetal, produto direto do lenho das árvores e arbustos lenhosos, considerada um material excepcional que acompanha e sustenta as civilizações desde os seus primórdios.

Encontrada, ainda, em grande abundância no Brasil e no mundo, tanto em florestas naturais (que se originam sem a interferência do homem) quanto em florestas artificiais (originadas por intermédio da ação direta do homem) a madeira, na condição de material de construção, incorpora todo um conjunto de características que dificilmente se encontra em outro material. Devido a sua abundância (o que acarreta o seu baixo custo aquisitivo), a facilidade com que é trabalhada e sua excelente resistência, em relação a sua pequena densidade, a madeira tem sido, até o momento presente, utilizada nas construções de uma maneira generalizada. Os metais e os concretos surgiram e vieram substituir a madeira em muitos aspectos mas, mesmo assim, ela continua sendo utilizada em larga escala. Dentre as mais variadas formas de utilização da madeira podemos citar: construção

naval, estrutura para sustentação de telhados, dormentes nas estradas de ferro, escoramento nas grandes construções, revestimento externo e interno (lambri), pontes, andaimes, formas, papel, portas e janelas, postes, estacas, pisos, móveis, lenha, carvão, etc.

Conhecer a madeira, a própria estrutura da árvore que a produz, suas propriedades físicas e mecânicas, sua durabilidade, os tratamentos preservativos e o seu processo de beneficiamento é tão essencial como conhecer qualquer outro material de construção. Todo e qualquer trabalho sobre as essências arbóreas, mesmo que modestamente se pareça, muito contribui para uma nova tomada de consciência sobre a importância da madeira como material de construção e sobre a sua correta aplicação e uso, uma vez que do ponto de vista estrutural esta tem condições suficientes para competir com o aço e o concreto ultrapassando-os em muitas características técnicas, econômicas e estéticas.

2.9.1 Estrutura da Madeira

É imperioso, antes do desenvolvimento de qualquer estudo sobre as propriedades físicas e mecânicas desse material de construção, analisarmos um pouco sua estrutura.

Dando-se um corte transversal num tronco (parte da árvore que faz a ligação entre as raízes e as folhas) ou qualquer ramo, vamos encontrar, diferenciadas entre si, as camadas (visualizando-se de fora para dentro) mostradas na Figura 2.2. Elas são (i) casca interior (viva) e exterior (morta); (ii) câmbio; (iii) borne (também chamada de alburno ou branco); (iv) cerne ou duramen e (v) a medula ou canal medular.

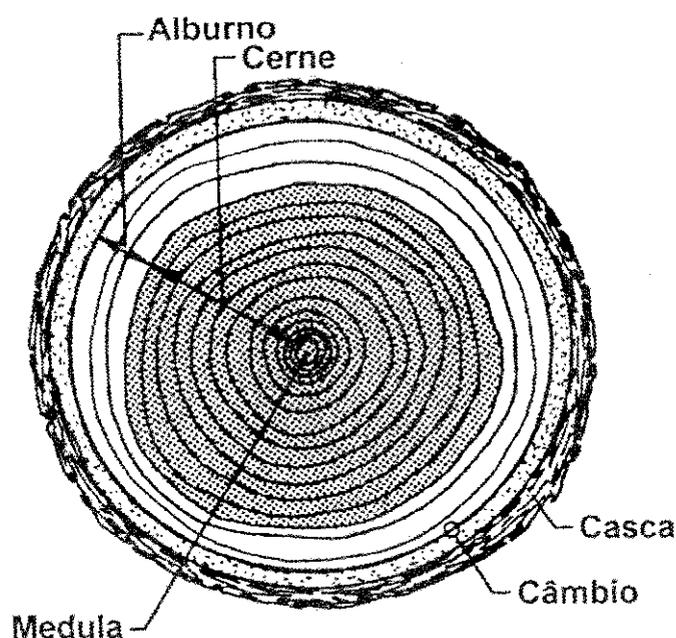


FIGURA 2.2 - Descrição simplificada da anatomia da tora

A casca é a parte que se situa mais externamente no tronco. Avaliando-a como material de construção e relacionado-a com as outras camadas, verifica-se que esta apresenta pouca importância. A sua função é, essencialmente, a de proteger o liber (sinônimo de floema, que juntamente com o xilema, são vasos condutores contínuos da água, dos sais e do alimento, desde as extremidades das raízes mais profundas às folhas mais elevadas da copa). Em algumas espécies porém, a casca tem a capacidade de formar um produto denominado de cortiça, graças a existência do tecido suberoso. Estas espécies, em vista disso, apresentam maior destaque em termos de utilização e, conseqüentemente, maior valorização. Como exemplo destas espécies podemos citar o Angico Rajado e a Corticeira.

O câmbio é uma camada muito fina, situada entre a casca interior e o borne ou alburno. Produz para dentro os vasos lenhosos (responsáveis pelo transporte da seiva bruta) e para fora os vasos liberianos (responsáveis pelo transporte da seiva elaborada).

O borne, alburno ou branco, está situado entre o câmbio e o cerne ou duramen. É constituído de células que conduzem a seiva bruta. Em geral, é de um

coloração mais clara, esbranquiçada, e de uma resistência inferior em relação a parte mais central, mais interna (o cerne ou duramen). Possui mais importância para a vida da árvore e menos importância como madeira. Tem sido comum encontrarmos alguns autores caracterizando, nos seus escritos, como defeito o tronco que apresenta a camada de borne ou alburno com espessura considerável. Todos os anos formam-se duas camadas de borne, uma mais larga e outra mais estreita, correspondendo, respectivamente, aos crescimentos da primavera e do outono. Por se apresentar frágil, esta camada permite que os agentes destruidores, causadores de apodrecimento, ataquem a madeira com muito mais facilidade.

O cerne ou duramen é a parte de maior aproveitamento nas construções. É a porção morta, mais escura e mais dura de um tronco. Ao contrário de borne ou alburno, cujas células conduzem a seiva bruta, esta camada tem os vasos obliterados por tilas que impossibilitam o fluxo do líquido. É este entupimento que torna possível o endurecimento da madeira nessa região. Daí as suas características de resistência e dureza.

A medula, ou canal medular, é a parte mole que ocupa o centro do tronco. É de constituição porosa e o seu diâmetro diminui à medida que as árvores envelhecem e chegam a desaparecer com o tempo.

Devido à maneira com que as árvores crescem, a madeira é um material cujas propriedades variam na direção dos seus eixos principais. Os eixos de anisotropia da madeira são mostrados na Figura 2.3.

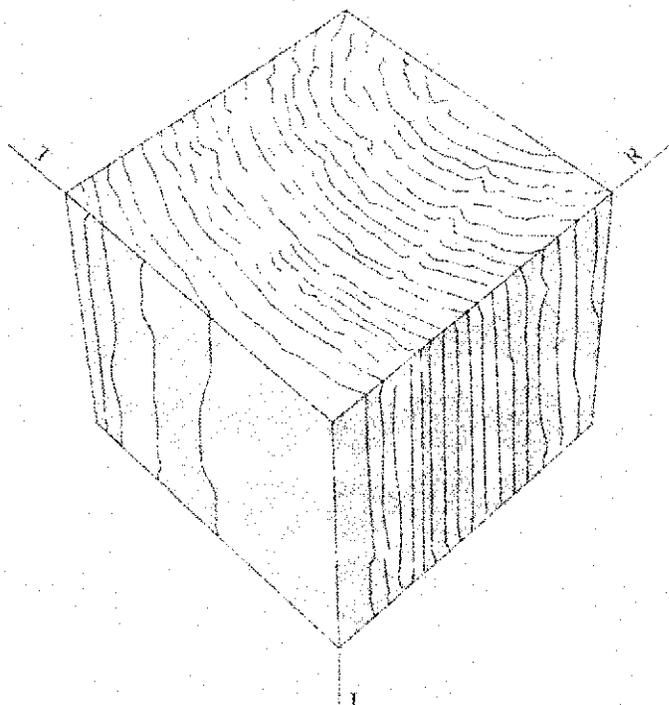


FIGURA 2.3 - Eixos de anisotropia da estrutura da madeira.

2.9.2 Micro-Estrutura da Madeira

As madeiras podem ser modeladas como sendo constituídas de um feixe de tubos de paredes finas alinhados, conhecidos como fibro-células. As fibro-células são unidas pelas lamelas médias as quais são constituídas de lignina, hemicelulose e pectina. Fisicamente, cada fibro-célula é constituída de quatro partes: a parede primária, a parede secundária, a parede terciária e o lúmen. A Figura 2.4 ilustra, esquematicamente, a fibro-célula da madeira. As paredes das células são formadas de várias camadas de estrutura fibrilar compostas por fibrilas. Nas paredes primárias, as fibrilas têm uma estrutura reticulada. Na camada externa da parede secundária (S_1), as fibrilas são arranjadas em espirais com um ângulo espiral de 50 a 70° em relação ao eixo vertical. As fibrilas da parede secundária interna (S_2) são arranjadas na forma de uma espiral mais íngreme, formando um ângulo de 10-30° com o eixo vertical. A parede terciária, mais interna, tem estrutura fibrilar semelhante a da parede (S_1) e envolve o lúmen, YOUNG et al, (1998).

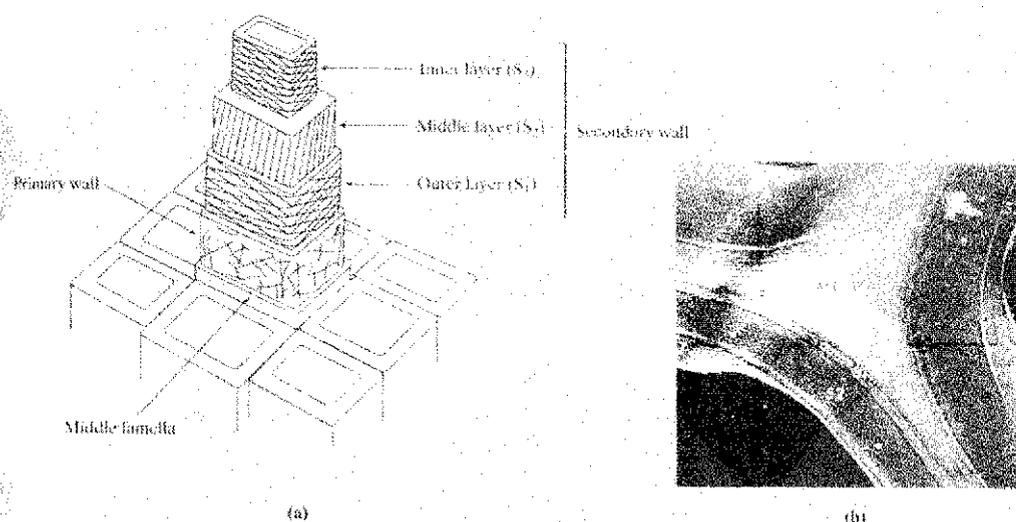


FIGURA 2.4 - Modelo simplificado da micro-estrutura da madeira (a) e da estrutura da parede das fibro-células (b)

Fonte: YOUNG *et al* (1998)

No nível molecular a madeira é constituída, primariamente, de celulose (45-50%), hemicelulose (20-25%), lignina (20-30%) e extrativos (0-10%). Uma pequena quantidade de materiais inorgânicos ($< 0,3\%$) também pode estar presente, DINWOODIE (1981) ; YOUNG *et al* (1998).

2.9.3 Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira

A escolha da madeira de uma determinada espécie lenhosa para um determinado emprego somente poderá ser feita, com economia e segurança, se conhecermos os valores médios que definem o seu comportamento, tanto do ponto de vista físico como do ponto de vista de sua resistência quando submetida a esforços mecânicos.

Esse conhecimento se dará como resultado da realização de numerosos ensaios de qualificação sobre amostras representativas de madeira da espécie lenhosa em questão. As propriedades da madeira são condicionadas por sua estrutura anatômica e, exatamente por isso, deve-se distinguir às suas propriedades mecânicas com relação à orientação das fibras. Deve-se distinguir também os valores correspondentes à diferentes

classes de umidade e estes valores são definidos pela NBR 7190/97 conforme mostra o Quadro 2.3.

QUADRO 2.3 - Classes de umidade

Classe 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 período	$\geq 25\%$

Fonte: NBR 7190/97

NBR 7190/97 enquadra as madeiras em classes de resistência conforme mostra os quadros 2.4 e 2.5 para as coníferas e dicotiledôneas.

QUADRO 2.4 - Classes de resistência das coníferas

CONÍFERAS					
(Valores na condição padrão de referência $U = 12\%$)					
Classes	f_{cok}	f_{vk}	$E_{co,m}$ (MPa)	$\rho_{bas,m}$ (kg/m^3)	$\rho_{aparente}$ (kg/m^3)
C20	20	4	3.500	400	500
C25	25	5	8.500	450	550
C30	30	6	14.500	500	600

Fonte: NBR 7190/97

QUADRO 2.5 - Classe de resistência das dicotiledôneas

DICOTILEDÔNEAS					
(Valores na condição padrão de referência U= 12%)					
Classes	f_{cok}	f_{vk}	$E_{co,m}$ (MPa)	$\rho_{bas,m}$ (kg/m ³)	$\rho_{aparente}$ (kg/m ³)
C 20	20	4	9.500	500	650
C 30	30	5	14.500	650	800
C 40	40	6	19.500	750	950
C 60	60	8	24.500	800	1000

Fonte: NBR 7190/97

Vários fatores naturais exercem importantes e fundamentais influências sobre as qualidades da madeira. É imperioso, portanto, o conhecimento desses fatores que deverão ser levados em consideração durante os ensaios, coleta, análise de dados e utilização prática da madeira nos seus mais variados aspectos. Dentre estes podemos citar os seguintes:

Espécie botânica - é necessário fazer a perfeita identificação botânica ou micrográfica, da espécie a ser qualificada do ponto de vista de suas características tecnológicas, pois a estrutura anatômica e a constituição do tecido lenhoso são os primeiros responsáveis pelo comportamento físico-mecânico da madeira e variam de espécie para espécie;

Localização da peça na tora - tem-se observado que são notáveis as alterações do tecido lenhoso e a massa específica aparente nas diferentes regiões do lenho. Regiões diferentes de uma mesma tora apresentam, também, comportamentos diferentes.

Presença de defeitos - a presença de defeitos (nós, fendas, fibras torcidas, etc) dependendo de sua distribuição, dimensões e principalmente sua localização, provoca alteração no comportamento físico-mecânico da peça ou corpo-de-prova.

Umidade - a impregnação de umidade, nas paredes celulósicas das fibras provoca consideráveis variações nas propriedades do material. Desse modo apresenta máxima resistência mecânica quando completamente seca, o mínimo quando completamente saturada e valores intermediários para diferentes teores de umidade entre esses dois extremos.

O teor de umidade das madeiras influencia nas suas propriedades de resistência e de rigidez. As madeiras ao serem derrubadas apresentam, em geral, um teor de umidade superior a 35%. Diz-se nessas condições que a madeira se encontra no estado verde. Expondo a madeira ao ar, para secar, ela começa a perder umidade, ou seja, perder água. Inicialmente, devido ao desequilíbrio higroscópico entre a madeira e o meio ambiente, é subtraída toda a água de embebição, ou seja, a água que se encontra entre as fibras da madeira e nos canais, essa água é chamada de "água livre". Quando a madeira perde toda a água de embebição, fica com uma umidade que varia entre 20 a 30 % e atinge, com isso, um ponto que denomina-se de ponto de saturação ao ar. É importante observar que até atingir esse ponto não se deu, ainda, início ao fenômeno de retração. Pelo exposto, pode-se definir ponto de saturação ao ar como o ponto a partir do qual a madeira dá início ao processo de retração, depois de perder toda a água de embebição e começar a perder a água de adesão. Se o referido despreendimento de água continua até que se estabeleça o equilíbrio entre a umidade da madeira e a umidade do ar, dizemos que a madeira atingiu a umidade natural. Esta umidade, por depender do meio ambiente, varia de região para região. Quando a madeira chega a esse ponto (umidade natural) dizemos a madeira esta seca ao ar. Pode-se definir a madeira seca ao ar como sendo aquela madeira que, estando exposta ao ar, chega ao equilíbrio hídrico com o meio ambiente não podendo, portanto, pelo simples processo de livre exposição ao ar, chegar a perder mais umidade. Depois disso, para que a madeira venha a perder mais umidade, é necessário que a mesma seja conduzida a uma câmara de secagem (estufa) e seja submetida a uma temperatura de cerca de 100°C.

A quantidade de água retida em uma tora de madeira tem forte influência sobre o seu comportamento físico e mecânico. É fundamental, portanto, o conhecimento detalhado dessa propriedade.

Fatores tecnológicos, que decorrem quando do desenvolvimento dos ensaios de qualificação também são importantes e devem ser considerados. Dentre esses fatores pode-se citar: (i) forma e dimensões dos corpos-de-prova, (ii) orientação das solicitações em relação aos anéis de crescimento e (iii) velocidade da aplicação de carga nas solicitações mecânicas.

2.9.4 Características Tecnológicas de Várias Essências Madeiras Existentes no Brasil

BROTERO (1956) trouxe a público os resultados dos ensaios físicos e mecânicos de 300 toras de dezenas de espécies de madeiras existentes no Brasil. Tal publicação representou o resultado de um grande esforço no sentido de dar prosseguimento a um plano de trabalho e pesquisa traçado pelo Instituto de Pesquisa Tecnológica de São Paulo que em 1927 retomou as antigas pesquisas iniciadas desde 1905, pelo Engenheiro Pujol Junior.

Nesse mesmo ano de 1956, e sob o patrocínio do Conselho Nacional de Pesquisa, teve início um estudo sobre as Características Tecnológicas Básicas das Madeiras do Nordeste do Brasil, na Universidade Federal de Pernambuco, uma vez que se evidenciou a raridade das espécies nordestinas entre as madeiras ensaiadas pelo IPT/SP e, também, pelo fato de que as espécies que ocorrem no nordeste brasileiro e que foram estudadas por essa Instituição de Pesquisa, o foram com amostras coletadas em estados do sul, do centro-oeste, leste ou da Amazônia, ou seja de plantas oriundas de regiões com condições ecológicas diversas das reinantes nas matas do nordeste do Brasil. Essa verificação, que resultou nessa tomada de posição e que acarretou essas novas pesquisas, se estribou no fato de que é de fundamental importância conhecer as propriedades físicas e mecânicas das madeiras, pois essas influem significativamente no seu desempenho e resistência quando utilizadas estruturalmente e que, por sua vez, essas propriedades são influenciadas com a mesma significação por um conjunto de outros fatores, tais como a classificação botânica, o solo e o clima da região de origem da árvore, a fisiologia da árvore, a anatomia do tecido lenhoso, a variação da composição química, etc.

Como resultado desse trabalho e graças ao espírito de compreensão do Departamento de Recursos Naturais da Sudene, foi concluído o estudo e publicado os resultados, em 1970, das Características Tecnológicas de 25 espécies de Madeiras do Nordeste do Brasil, espécies estas derrubadas nas matas de Pernambuco, Alagoas e Maranhão de responsabilidade dos autores Prof. Amaro José do Rêgo Pereira, Prof. José Maria Cabral de Vasconcellos, Prof. Sérgio Tavares e a técnica Eroleide J. de Souza Tavares.

Em 1976, e como prosseguimento ao trabalho desses mesmos autores, a Divisão de Recursos Renováveis do Departamento de Recursos Naturais da Sudene, publicou, sob o título: "Características Tecnológicas de Madeiras de Nordeste do Brasil: Nova Contribuição", as características físicas e mecânicas de mais 10 espécies de madeiras. A princípio, o critério de escolha das essências a serem estudadas, era selecionar aquelas espécies de madeiras que os inventários florestais realizados pela Sudene indicavam como as mais frequentes e de maiores volumes nas matas, ainda existentes, nas áreas de atuação da Sudene, procurando-se derrubar árvores com diâmetros preconizados pela MB-26 (1940).

Posteriormente, incluiu-se nesse programa, espécies exóticas, isto é, oriundas de outros países e cultivadas no Nordeste do Brasil, como a casuarina, *Casuarina equisetifolia* Linn; e a algarobeira *Prosopis juliflora* (Sw)DC. Acontece, no entanto, que essas duas espécies introduzidas foram estudadas com diâmetros reduzidos, procurando-se conhecer as características tecnológicas do lenho das árvores cultivadas e cortadas quando ainda jovens. O referido critério adotado, para esse caso, cogitava equacionar o problema de suprimento de madeira para cruzeta de poste. Do referido equacionamento, relativo a ensaios físicos e mecânicos (umidade, peso específico aparente, retratibilidade linear e volumétrica, compressão axial, flexão estática, choque, cisalhamento, dureza janka, tração normal às fibras, fendilhamento) resultou em uma publicação, a única encontrada na literatura sobre propriedades física e mecânicas da algarobeira, e cujos valores serão discutidos em conjunto com os valores obtidos no presente estudo, no capítulo referente a apresentação e análise de resultados.

CAPITULO 3

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Escolha da Área e Seleção das Árvores

Para a realização da presente estudo, foi escolhido um povoamento de Algarobeiras situado na fazenda Lagoa de Cima, da Empresa Irricamp, situada na localidade do mesmo nome, no Município de Coxixola, divisa com o Município de Serra Branca, sertão dos Cariris Velhos, no Estado da Paraíba, região nordestina brasileira.

Nesta propriedade, foram escolhidas 05 árvores cujo critério de escolha foi o das reais necessidades do quantitativo de madeira suficiente para a realização dos ensaios de caracterização física e mecânica da algarobeira.

3.2 Identificação das Espécies

Inicialmente foi colhido material botânico (ramos, folhas, flores, frutos e sementes) de todas as árvores selecionadas que, posteriormente, foi encaminhado ao Herbarium professor Vasconcelos Sobrinho – PEUFR, do Departamento de Biologia da Universidade Federal Rural de Pernambuco para ser submetido a identificação.

Para a referida identificação botânica foi feito um estudo taxonômico das plantas onde se procurou identificar todas as características das flores e dos frutos coletadas. Posteriormente a este estudo entra-se em uma chave de identificação botânica e

chega-se a identificação inicialmente da família, posterior do gênero e finalmente da espécie.

3.3 Determinação da Idade das Árvores

Nas secções transversais dos troncos os acréscimos apresentam formas de anéis anuais. Aparecem com o aspecto de anéis em consequência das diferenças quanto à densidade, existentes entre o crescimento inicial de um ano e o último crescimento do ano anterior que lhe fica contíguo. Normalmente uma árvore produz um anel de crescimento por ano, embora ocasionalmente se possa formar, em um ano, mais de um anel. Ocorre, no entanto, que devido aos anéis múltiplos, omissos ou descontínuos, a contagem dos anéis nem sempre indica, como é óbvio, a idade precisa de uma árvore. A contagem dos anéis indicam apenas os anos que passaram desde o início do alongamento do tronco, sem indicar os anos em que as plântulas permaneceram numa fase como que herbácea.

Em razão disso é que obteve-se, além da contagem dos anéis de crescimento das toras, informações do Sr. Manoel Constantino, administrador da fazenda, há mais de 12 anos residindo na área de onde retirou-se as algarobeiras, para dar maior certidão ao trabalho de contagem dos anéis e determinação da idade das árvores.

3.4 Cubagem das Toras – Determinação do Volume Total da Madeira Bruta (não trabalhada)

Após a identificação botânica das árvores selecionadas, procedeu-se a seleção, o corte das toras e a derrubada de uma das árvores. Tal processo se deu com o auxílio de uma moto-serra do tipo MAKITA, de pequeno porte. Em seguida essas foram transportadas para o Laboratório de Estruturas do Departamento de Engenharia Civil do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, na cidade do Recife, a fim de serem trabalhadas para permitir a retirada de madeira suficiente para o confeccionamento dos corpos-de-prova necessários aos ensaios para a caracterização completa da Algarobeira – *Prosopis juliflora* (Sw) DC.

Das 5 árvores selecionadas, foram coletadas 10 toras e submetidas ao processo de cubagem. O processo de cubagem consistiu na medição direta do comprimento da circunferência da base, do meio e do topo de cada tora. Posteriormente foi determinado o valor médio do comprimento das circunferências de cada uma das toras e o seu diâmetro. Uma trena milimétrica foi utilizada nas medições.

3.5 Determinação dos Percentuais de Cerne, Alburno e Casca da Algarobeira

A importância da determinação dos percentuais de cerne ou duramen, alburno ou branco e casca, reside no fato de que, através destas determinações se pode conhecer as potencialidades de aproveitamento, em termos percentuais, da parte mais importante do tronco que é o cerne ou duramen. Para isso, realizou-se, antes da colocação das toras no processo de serragem e aplainamento, medições em uma das seções transversais das toras, escolhendo-se apenas uma tora de cada árvore. Tais medições foram realizadas com régua milimetrada e foram ao todo 5 medições em cada seção transversal, sendo 4 medições cruzadas, duas a duas, e mais uma processada aleatoriamente. Cinco toras foram utilizadas totalizando 25 medições.

3.6 Determinação do Volume Total da Madeira Trabalhada (serrada) da Algarobeira

Após a cubagem das toras estas foram trabalhadas. Este processo consistiu na passagem das toras por máquinas desempenadeiras e máquinas de serras de fita com o objetivo de retirar a casca, confeccionar as peças e aplainar as faces. Processo este que se deu no Laboratório de Estrutura do Departamento de Engenharia da UFPE.

Em seguida ao confeccionamento das peças, mediu-se as suas seções transversais e comprimentos e, a partir desses dados, calculou-se os volumes das peças e o volume total de madeira serrada.

3.7 Caracterização da Algarobeira - *Prosopis juliflora* (Sw) DC.

A caracterização completa da madeira serrada para projetos de estruturas é feita de acordo com os métodos de ensaio especificados no anexo B da NBR 7190/97. As seguintes determinações devem ser realizadas para a condição padrão de teor de umidade $U = 12\%$:

1. Resistência a Compressão Paralela às Fibras ($f_{wc,0}$ ou $f_{c,0}$)
2. Resistência à Tração Paralela às Fibras ($f_{wt,0}$ ou $f_{t,0}$)
3. Resistência à Compressão Normal às Fibras ($f_{wc,90}$ ou $f_{c,90}$)
4. Resistência à Tração Normal às Fibras ($f_{wt,90}$ ou $f_{t,90}$)
5. Resistência ao Cisalhamento Paralelo às Fibras ($f_{wv,0}$ ou $f_{v,0}$)
6. Resistência ao Embutimento Paralelo às Fibras ($f_{we,0}$ ou $f_{e,0}$)
7. Resistência ao Embutimento Normal às Fibras ($f_{we,90}$ ou $f_{e,90}$)
8. Densidade Básica (ρ_{bas}) e Densidade Aparente (ρ_{ap}) com os corpos-de-prova a 12% de umidade.

A caracterização completa da rigidez da madeira é obtida por intermédio da determinação dos seguintes valores, que devem ser referidos a condição padrão de umidade (12%), com relação a pelo menos dois ensaios:

1. Valor médio do módulo de elasticidade a compressão paralela às fibras ($E_{c0,m}$).
2. Valor médio do módulo de elasticidade a compressão normal às fibras ($E_{c90,m}$)

Os valores dos módulos de elasticidade na tração são considerados equivalentes aos obtidos na compressão.

Embora a caracterização completa da rigidez da madeira seja obtida por intermédio da determinação do valor médio do módulo de elasticidade à compressão paralelo as fibras e do valor médio do módulo de elasticidade normal as fibras foi também determinado o valor médio do módulo de elasticidade à tração paralela as fibras. A referida

determinação servirá para análise comparativa com outras madeiras no presente estudo e, até mesmo em trabalhos posteriores.

3.7.1 Ensaios Físicos e Mecânicos

Os ensaios físicos e mecânicos foram realizados em corpos-de-prova isentos de defeitos, com o objetivo de se extrair dados experimentais das características da madeira – algarobeira – *Prosopis juliflora* (Sw) DC., como determina a norma brasileira NBR 7190/97.

3.7.1.1 Amostragem

Um lote com 21 peças, de diferentes seções transversais e diferentes comprimentos, foi constituído seguindo-se as recomendações da NBR 7190/97. Desse lote extraiu-se amostras e confeccionou-se corpos-de-prova que, da maneira como foram determinadas as suas localizações, ficaram distribuídos aleatoriamente ao longo do lote.

3.7.1.2 Valor Característico da Resistência

Os valores característicos da resistência da madeira serão estimados pela Equação 1.

$$x_{wk} = \left(2 \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_{\frac{n}{2}-1}}{\frac{n}{2} - 1} - x_{\frac{n}{2}} \right) 1,1 \quad (1)$$

3.7.1.3 Condição Padrão de Referência

Os valores especificados para a propriedades de resistência e de rigidez da madeira da Algarobeira – (*Prosopis juliflora* (Sw)DC) são os correspondentes a Classe 1 de umidade, que se constitui na condição padrão de referência, definida pelo teor de umidade de 12%.

Na caracterização das propriedades de resistência e rigidez, os resultados dos ensaios realizados com diferentes teores de umidade da madeira, contidos no intervalo entre 10% e 20%, serão apresentados com os valores ajustados para a umidade padrão de 12%, classe 1.

A correção na resistência, devido a umidade diferente da umidade padrão de 12%, será realizada usando-se a Equação 2. A rigidez será corrigida pela Equação 3.

$$f_{12} = f_{U\%} \left[1 + \frac{3(U\% - 12)}{100} \right] \quad (2)$$

$$E_{12} = E_{U\%} \left[1 + \frac{2(U\% - 12)}{100} \right] \quad (3)$$

3.7.2 Teor de Umidade do Lote de Algarobeira

O teor de umidade da madeira, corresponde a relação entre a massa de água nela contida e a massa da madeira seca, foi calculada usando-se a Equação 4.

$$U\% = \frac{m_i - m_s}{m_s} 100 \quad (4)$$

Onde : $U\%$ = teor de umidade da madeira em %
 m_i = massa inicial da madeira, em gramas (g)
 m_s = massa da madeira seca na estufa, em gramas(g)

O ensaio para determinação do teor de umidade da Algarobeira – *Prosopis juliflora* (Sw) DC. foi realizado de acordo com a NBR 7190/97.

3.7.2.1 Descrição da amostra

a) Foi retirado um corpo-de-prova de cada peça, totalizando 21 corpos-de-prova, tendo-se o cuidado confeccioná-los com isenção de defeitos e afastados das extremidades das peças sempre a uma distância superior a 30cm, conforme estabelece a NBR 7190/97.

b) Para evitar a perda de umidade da madeira entre o período correspondente ao confeccionamento das peças e o confeccionamento dos corpos-de-prova, as peças foram armazenadas em câmara úmida.

c) Nenhuma “queima” ocorreu nas faces dos corpos-de-prova, durante o seu confeccionamento, para evitar falseamento dos resultados e para isso foram utilizadas ferramentas afiadas no processo de aparamento dessas faces.

3.7.2.2 Forma e Dimensões dos Corpos-de-Prova

Os corpos-de-prova são de formato prismático com seção transversal retangular, com dimensões nominais de 2,0 cm x 3,0 cm e comprimento de 5,0 cm ao longo das fibras. As medições dos corpos-de-prova foram feitas com paquímetro do tipo digital, modelo CD-8”, com precisão de 0,001mm, fabricado pela Mitutoyo Corporation;

3.7.2.3 Procedimentos

a) Após o confeccionamento dos corpos-de-prova, foram feitas medições dos lados da seção transversal e do comprimento por intermédio de um paquímetro do tipo digital, modelo CD-8", com precisão de 0,001mm, fabricado pela Mitutoyo Corporation. Em seguida foram enumerados e determinada a massa inicial (m_i) de cada um deles usando-se balança digital (marca Marte, modelo AS5500) com precisão de 0,01 g;

b) Obtida a massa inicial, os corpos-de-prova foram colocados em câmara de secagem, estufa (marca ELKA, modelo 119, fabricada pela ASCA/SP), a uma temperatura de $103 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$, para perderem umidade até a completa secagem. Durante esse processo de secagem a massa de cada um dos corpos-de-prova foi medida a cada 6 horas, até verificar-se massa constante ou até que ocorresse uma variação, entre duas medidas consecutivas, inferior ou igual a 0,5%. Após completa secagem cada corpo-de-prova foi pesado sendo essa massa final a massa seca (m_s);

c) Conhecida, portanto, a massa inicial e a massa seca final de cada corpo-de-prova, determinou-se o teor de umidade da madeira ensaiada de acordo com a equação 4.

3.7.3 - Compressão Paralela às Fibras

A resistência à compressão paralela às fibras ($f_{wc,0}$ ou $f_{c,0}$) se obtém pela máxima tensão de compressão paralela as fibras que pode atuar em um corpo-de-prova com seção transversal quadrada de 5,0 cm de lado e 15,0 cm de comprimento, sendo dado pela expressão :

$$f_{c,0} = \frac{F_{c0,max}}{A} \quad (5)$$

Onde:

$F_{c0,m\acute{a}x}$ - carga máxima de compressão paralela às fibras aplicada ao corpo-de-prova durante o ensaio, em Newton (N);

A - a área inicial da secao transversal do corpo-de-prova comprimida, em metro quadrado (m^2)

$f_{c,0}$ - a resistência à compressão paralela às fibras, em MPa.

Após a determinaao inicial da área da secao transversal do corpo-de-prova e a obtenao da carga máxima de compressão paralela às fibras, determinamos o valor da resistência.

O valor característico da resistência a compressão paralela às fibras ($f_{c0,k}$) foi determinado pela equaao 1.

A rigidez da madeira na direao paralela às fibras deve ser determinado por seu módulo de elasticidade, obtido no trecho linear do diagrama tensão x deformaao específica, sendo expresso em GPa.

O módulo de elasticidade deve ser determinado pela inclinaao da reta secante à curva tensão x deformaao, definida pelos pontos $(\sigma_{10\%}; \epsilon_{10\%})$ e $(\sigma_{50\%}; \epsilon_{50\%})$ correspondentes respectivamente a 10% e 50% da resistência a compressão paralela às fibras medida no ensaio, sendo dado por:

$$E_{c,0} = \frac{\sigma_{50\%} - \sigma_{10\%}}{\epsilon_{50\%} - \epsilon_{10\%}} \quad (6)$$

Onde : $\sigma_{10\%}$ e $\sigma_{50\%}$ são as tensões de compressão paralela às fibras correspondentes a 10 % e 50% da resistência $f_{c,0}$. e, $\epsilon_{10\%}$ e $\epsilon_{50\%}$ são as deformaoes específicas medidas no corpo-de-prova, correspondente as tensões de $\sigma_{10\%}$ e $\sigma_{50\%}$.

O presente ensaio para a determinaao da resistência e da rigidez à compressão paralela às fibras da Algarobeira – *Prosopis juliflora* (Sw) DC., foi realizado de acordo com o que estabelece a NBR- 7190/97.

3.7.3.1 Descrição da Amostra

a) Do lote de madeira serrada, extraiu-se, aleatoriamente, 12 peças para confeccionamento de 12 corpos-de-prova. De cada peça coletada foi extraído um corpo-de-prova.

b) No processo de serragem das toras e de preparação dos corpos-de-prova, eliminou-se os defeitos da madeira (nós, alburno ou branco, encurvamento, fendas, etc) e os corpos-de-prova foram retirados de regiões afastadas de, pelo menos, 30 cm das extremidades das peças.

3.7.3.2 Forma e Dimensões dos Corpos-de-Prova

Os corpos-de-prova foram confeccionados com o formato prismático, com seção transversal quadrática de 5 cm de lado e com comprimento de 15 cm. As fibras dos corpos-de-prova foram orientadas em relação ao comprimento. As medidas da seção transversal e do comprimento dos corpos-de-prova foram tomadas no exato momento da realização dos ensaios, com a mesmo instrumento de precisão utilizado nos ensaios anteriores.

3.7.3.3 Procedimentos

a) Para a determinação das propriedades de resistência e de rigidez da Algarobeira – *Prosopis juliflora* (Sw) DC., as medições dos lados dos corpos-de-prova foram feitas com uma precisão 0,1 mm e o foram com um paquímetro do tipo digital, modelo CD-8”B, fabricado pela Mitutoyo Corporation;

b) Para a determinação do módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras foram feitas medidas das deformações em duas faces opostas dos corpos-de-prova;

c) Para a determinação das deformações, foram utilizados relógios comparadores, do tipo Starret, com precisão de 0,001mm, fixados no corpo-de-prova, por meio de duas cantoneira metálicas. As cantoneiras, por sua vez, foram pregadas ao corpo-de-prova por intermédio de pequenos pregos de 1/2 polegada, com distância nominal padronizada de 10cm entre as duas linhas de pregação. A consecução da padronização desse comprimento nominal se deu por meio de uma pequena chapa metálica, furada nas extremidades, há uma distância de 10 cm, que definia, com exatidão, a distância entre as duas linhas de pregação. A Figura 3.1 mostra os detalhes do ensaio.

d) Os corpos-de-prova foram ajustados à máquina de ensaio Amsler (do tipo ZDTEI-30) com capacidade para 3, 6 e 30 toneladas, por meio de uma rótula entre o atuador e o corpo-de-prova;

e) O carregamento foi feito de modo monotônico crescente e a uma taxa de 10 MPa por minuto;

f) Para a determinação da rigidez (módulo de elasticidade a compressão paralela as fibras), foi estimada a resistência da madeira ($f_{c0,est}$) por intermédio do ensaio destrutivo de um corpo-de-prova retirado da mesma amostra selecionada, cujo resultado foi: $f_{c0,est} = 18.750$ kgf;

g) Conhecida a carga de ruptura estimada da amostra, o carregamento foi aplicado sobre os corpos-de-prova com dois ciclos de cargas e descarga (10%, 20%, 30%, 40%, e 50% da carga de ruptura). A taxa de carregamento foi de 10 MPa por minuto;

h) Os registros das deformações foram feitos por dois operadores, para cada ponto correspondente ao instante da carga aplicada, que era sinalizada por um outro operador;

i) Como no presente ensaio de compressão paralela às fibras foi utilizado extensômetros mecânicos, fixados nos corpo-de-prova, as deformações foram registradas para cada ponto correspondente às cargas aplicadas, tal como se acham definidas no item g, até atingir 70% da carga de ruptura estimada. Nesse momento, os relógios

comparadores foram retirados e o carregamento tinha prosseguimento até a ruptura do corpo-de-prova;

j) Foi utilizada apenas uma amostra com corpos-de-prova nas condições de umidade da madeira verde.

k) A determinação de teor de umidade foi realizado com corpos-de-prova extraídos de regiões das peças conjugados às regiões, de onde foram retirados os corpos-de-prova para os ensaios de compressão paralela às fibras e de acordo com os procedimento do item 3.7.2.3



(a)

(b)

FIGURA 3.1 – Detalhes do ensaio de compressão paralela às fibras mostrando os relógios comparadores. (a) vista lateral (b) vista frontal

3.7.3.4 Valores da Resistência e Rigidez no Ensaio de Compressão Paralela às Fibras

Nas diversas fases dos ensaios as tensões (σ) foram determinadas por intermédio da equação:

$$\sigma = P/A \quad (7)$$

Onde: P = carga aplicada

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

As deformações (ε) específicas foram determinadas por

$$\varepsilon = \Delta l / l \quad (8)$$

Onde: Δl = encurtamento do corpo-de-prova

l = comprimento inicial do corpo-de prova

3.7.3.5 Ajuste dos Valores da Resistência e Rigidez no Ensaio de Compressão Paralela às Fibras, para 12% de Umidade.

Os valores de resistência e rigidez foram corrigidos como especificado na seção 3.7.1.3. (Equações 2 e 3).

3.7.3.6 Estimativa do Valor Característico

O valor característico da resistência a compressão paralela às fibras foi estimado pela Equação 1 (seção 3.7.1.2.)

3.7.3.7 Valor da Rigidez na Compressão Paralela às Fibras

O valor da rigidez foi determinado por intermédio do módulo de elasticidade, determinado na fase de comportamento elástico.

3.7.4 Tração Paralela às Fibras

A resistência à tração paralela às fibras é dada pela máxima tensão ($f_{wt,0}$ ou $f_{t,0}$) que pode atuar em um corpo-de-prova alongado com trecho central de seção

transversal uniforme de área A e comprimento não menor que $8\sqrt{A}$, com extremidade mais resistentes que o trecho central e com concordância que garantam a ruptura no trecho central, sendo dada por:

$$f_{t0} = \frac{F_{t0,max}}{A} \quad (9)$$

Onde :

$F_{t0,max}$ - máxima força de tração paralela aplicada ao corpo-de-prova durante o ensaio, em Newton (N).

A - área inicial da seção transversal tracionada do trecho central do corpo-de-prova, em metro quadrado (m^2).

O valor característico da resistência à tração paralela às fibras ($f_{t0,k}$) foi determinado pelo estimador utilizado no ensaio anterior (Equação 1).

A rigidez da madeira, na direção paralela às fibras, obtida pelo ensaio de tração paralela às fibras, é caracterizado pelo módulo de elasticidade determinado no trecho linear do diagrama tensão x deformação específica, como indicado pela NBR7190/97.

Para esta finalidade, o módulo de elasticidade deve ser determinado pela inclinação da reta secante à curva tensão deformação, definida pelos pontos $(\sigma_{10\%}; \varepsilon_{10\%})$ e $(\sigma_{50\%}; \varepsilon_{50\%})$

$$E_{t,0} = \frac{\sigma_{50\%} - \sigma_{10\%}}{\varepsilon_{50\%} - \varepsilon_{10\%}} \quad (10)$$

Onde: $\sigma_{10\%}$ e $\sigma_{50\%}$ são as tensões de tração paralela às fibras correspondentes a 10 % e 50% da resistência $f_{t,0}$ e $\varepsilon_{10\%}$ e $\varepsilon_{50\%}$ são as deformações

específicas medidas no trecho central do corpo-de-prova, correspondente as tensões de $\sigma_{10\%}$ e $\sigma_{50\%}$, respectivamente

O presente ensaio para a determinação da resistência e da rigidez à tração paralela às fibras da algarobeira – *Prosopis juliflora* (Sw) DC., foi realizado de acordo com o que estabelece a NBR 7190/97.

3.7.4.1 Descrição da Amostra

a) Do lote de madeira trabalhada extraiu-se, aleatoriamente, 12 peças, que caracterizam uma amostra, para o confeccionamento de 12 corpos-de-prova. De cada peça foi extraído um único corpo-de-prova;

b) No processo de serragem os defeitos foram eliminados e os corpos-de-prova foram retirados, todos eles, de regiões afastadas de, pelo menos, 30 cm das extremidades das peças;

3.7.4.2 Formas e Dimensões dos Corpos-de-Prova

A NBR7190/97 estabelece dois tipos de corpos de provas, sendo um de seção transversal circular e um outro de seção transversal retangular. Fizemos a opção pelo segundo modelo por este melhor se adaptar as máquinas existentes no Laboratório.

3.7.4.3 Procedimentos

a) Para a determinação das propriedades de resistência e de rigidez as medidas do comprimento e do trecho central do corpo-de-prova foram feitas com uma precisão de 0,1

b) Para a determinação do módulo de elasticidade foram feitas medidas de deformações em duas faces opostas dos corpos-de-prova;

c) Foram utilizados relógios comparadores, com precisão de 0,001 mm, para a medição das deformações;

d) O carregamento foi monotônico crescente e correspondente a uma taxa de 10 MPa por minuto;

e) Para a determinação da rigidez, a resistência da madeira foi estimada por intermédio de um ensaio ($f_{0, est}$) destrutivo de um corpo-de-prova;

f) Conhecida a resistência estimada da amostra foi o carregamento aplicada em dois ciclos de carga e descarga (10%, 20%, 30%, 40%, 50%, da carga de ruptura) a 10 MPa por minuto, como especifica o item d, acima;

g) O registro das deformações foi feito por dois operadores e a aplicação das cargas por um outro. Para cada ponto correspondente ao instante da carga aplicada, de acordo com o ciclo estabelecido, registrava-se a deformação;

h) Como no estudo da resistência à compressão paralela às fibras, foi utilizado extensômetros mecânicos, fixados nos corpos-de-prova as deformações foram registradas para cada ponto correspondente as cargas aplicadas e ainda mais o registros de dois pontos acima que corresponde a 60% e 70% da carga estimada. Nesse momento os extensômetros foram retirados e o carregamento teve prosseguimento até a ruptura do corpo-de-prova. A Figura 3.2 mostra os detalhes do ensaio.

i) Como objetiva-se a caracterização completa da Algarobeira - *Prosopis juliflora* (Sw) DC. não foi utilizada amostra e corpos-de-prova na condição de seco ao ar;

k) A determinação do teor de umidade foi realizado com corpos-de-prova extraídos de regiões das peças conjugadas as regiões, ou seja, exatamente do lado de onde foram retirados os corpos-de-prova para o presente ensaio.

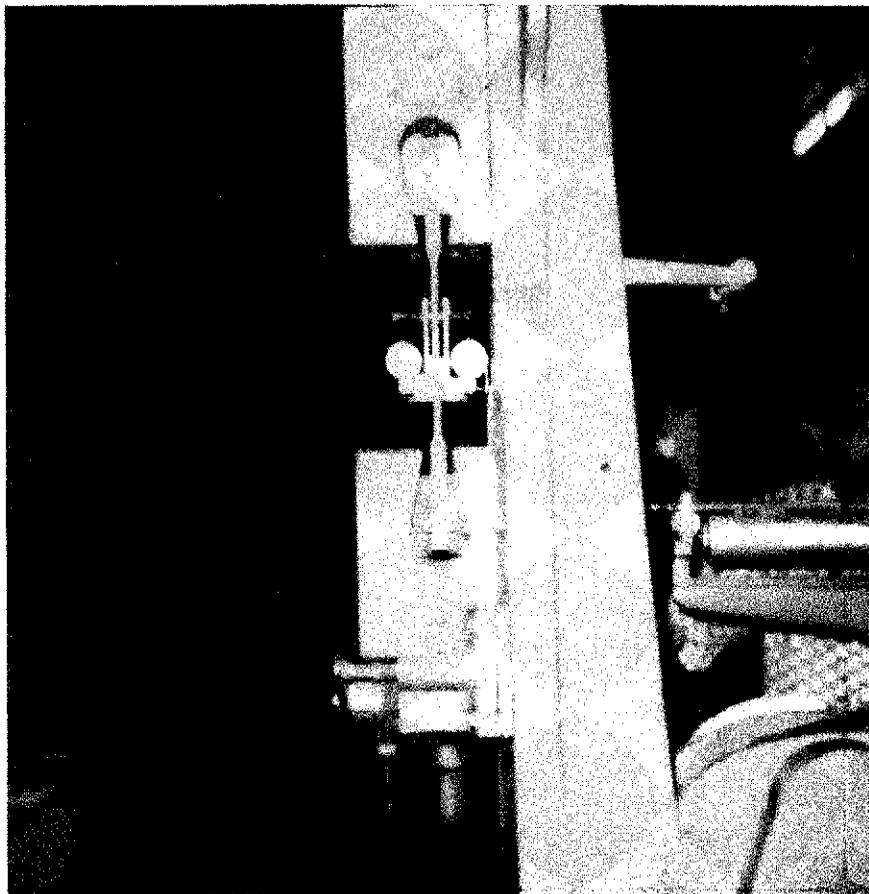


FIGURA 3.2 – Detalhe da instrumentação usada no ensaio de resistência à tração paralela às fibras

3.7.4.4 - Valores da Resistência e Rigidez no Ensaio de Tração Paralela às Fibras

Nas diversas fases dos ensaios as tensões (σ) foram determinadas por intermédio da equação:

$$\sigma = P/A \quad (11)$$

onde: P = carga aplicada

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

As deformações (ϵ) específicas por:

$$\varepsilon = \Delta l / l \quad (12)$$

Onde: Δl = encurtamento do corpo-de-prova
 l = comprimento inicial do corpo-de prova

3.7.4.5 Ajuste dos Valores da Resistência e Rigidez no Ensaio de Tração Paralela às Fibras, para 12% de Umidade.

Na caracterização usual das propriedades de resistência e de rigidez de um lote de material considerado homogêneo, como é o caso das 5 toras coletadas e identificadas botanicamente no presente estudo, os resultados dos ensaios realizados, com diferentes teores de umidade, devem ser apresentados com os valores ajustados para à umidade padrão de 12%, classe 1. Com base no que estabelece a NBR 7190/97, fizemos os referidos ajustes. Para tanto, usou-se as Equações 2 e 3.

3.7.4.6 Estimativa do Valor Característico

O valor característico da resistência à tração paralela às fibras da algarobeira deve ser estimado pelo mesmo estimador e procedimentos do ensaio de compressão.

3.7.4.7 Valor da Rigidez no Ensaio de Tração Paralela às Fibras

O valor da rigidez foi determinado por intermédio do módulo de elasticidade, determinado na fase de comportamento elástico.

3.7.5 Compressão Normal às Fibras

A resistência a compressão normal às fibras ($f_{wc,90}$ ou f_{c90}) se obtém por intermédio do valor convencional determinado pela deformação específica residual de 2%

(determinado graficamente), em um ensaio de compressão normal às fibras em corpos-de-prova com formato prismático.

O valor característico da resistência a compressão normal às fibras ($f_{c90,k}$) e será determinado pelo estimador apresentado na Equação 1.

A rigidez da madeira na direção normal às fibras será determinado por seu módulo de elasticidade, obtido no trecho linear do diagrama tensão x deformação específica, sendo expresso em GPa.

O módulo de elasticidade será determinado pela inclinação da reta secante à curva tensão x deformação, definida pelos pontos ($\sigma_{10\%}; \epsilon_{10\%}$) e ($\sigma_{50\%}; \epsilon_{50\%}$) correspondentes respectivamente a 10% e 50% da resistência convencional a compressão normal às fibras medida no ensaio, sendo dado por:

$$E_{c,90} = \frac{\sigma_{50\%} - \sigma_{10\%}}{\epsilon_{50\%} - \epsilon_{10\%}} \quad (13)$$

Onde:

$\sigma_{10\%}$ e $\sigma_{50\%}$ são as tensões de compressão normal às fibras correspondentes a 10% e 50% da resistência convencional a compressão normal às fibras f_{c90} .

$\epsilon_{10\%}$ e $\epsilon_{50\%}$ são as deformações específicas medidas na direção normal às fibras correspondentes as tensões de $\sigma_{10\%}$ e $\sigma_{50\%}$.

O presente ensaio para a determinação da resistência e da rigidez à compressão normal às fibras da algarobeira – *Prosopis juliflora* (Sw) DC., foi realizado de acordo com o que estabelece a NBR – 7190/97.

3.7.5.1 - Descrição da Amostra

a) Do lote estruturado, depois da madeira trabalhada, extraiu-se aleatoriamente uma amostra composta de 12 peças para confeccionamento dos corpos-de-prova, sendo retirado um único corpo-de-prova de cada peça componente da amostra;

b) Procurou-se, durante o processo de serragem das peças, eliminar todos os defeitos da madeira. Seguindo o que determina a norma, assegurou-se a retirada dos corpos-de-prova afastados, pelos menos, 30 cm das extremidades das peças;

3.7.5.2 – Forma e Dimensões dos Corpos-de-Prova

Os corpos-de-prova foram confeccionados com o formato prismático, com seção transversal quadrática de 5 cm de lado e altura na direção tangencial de 10cm.

3.7.5.3 – Procedimentos

a) Para a determinação das propriedades de resistência e de rigidez a compressão normal às fibras da algarobeira – *Prosopis juliflora* (Sw) DC., as medições dos lados e da altura dos corpos-de-prova foram feitas com a mesma precisão dos ensaios anteriores (0,1 mm).

b) Para a determinação do módulo de elasticidade a compressão normal às fibras foram feitas medidas das deformações específicas em duas faces opostas dos corpos-de-prova;

c) Os corpos de prova foram ajustados à máquina de ensaio Amsler (do tipo ZDTEI-30) com capacidade para 30 toneladas, por intermédio de uma rótula entre o atuador e o corpo-de-prova;

d) Para a determinação das deformações, foram utilizados relógios comparadores do tipo Starret, com precisão de 0,001 mm, fixados no corpo-de-prova, por intermédio de duas cantoneiras metálicas. A cantoneira superior era perfurada na parte mediana da porção que ficava na horizontal para permitir a passagem da haste do

instrumento com a finalidade de equilibrá-lo, mantendo-o na posição vertical. Uma pequena chapa de ferro, com as mesmas dimensões da seção quadrática do corpo-de-prova foi colocada em sua base, e em contato com o mesmo, tinha a finalidade de não permitir o contato da cantoneira metálica inferior, fixada no corpo-de-prova, com o prato inferior da máquina de ensaio. Ao apoiar-se sobre o corpo-de-prova a rótula utilizada para ajustá-lo a máquina de ensaio, tocava a ponta do extensômetro uma vez que esta possuindo um diâmetro superior as dimensões da seção transversal do corpos-de-prova permitia esse contato, exatamente, ao nível do plano da seção transversal superior do corpo-de-prova. O instrumento, portanto, entrava em contato com a rótula e a medida que o corpo-de-prova era comprimido as deformações eram identificadas e anotadas. Os detalhes da instrumentação podem ser observados na Figura 3.3.

e) O carregamento foi realizado de maneira crescente e monotônico e a uma taxa de 10 MPa por minuto;

f) Para a determinação da rigidez, foi estimada a resistência da madeira ($f_{c90,est}$) por meio do ensaio destrutivo de um corpo-de-prova, retirado da mesma amostra selecionada;

g) Conhecida esta resistência estimada da amostra, foi o carregamento aplicado sobre os corpos-de-prova com dois ciclos de carga e descarga (10%, 20%, 30%, 40% e 50%,);

h) Os registros das deformações eram feitos por dois operadores que se colocavam de frente para os extensômetros e, ao instante da carga aplicada, que era sinalizada por um terceiro operador, faziam as anotações das deformações específicas;

i) Como no presente ensaio de compressão normal às fibras foi utilizado extensômetros mecânicos, fixados nos corpos-de-prova, as deformações foram registradas para cada ponto correspondente as cargas aplicadas, tal como se acham definidas no item g, acima, até atingir o valor de 58.100 N, que corresponde a 70 % do valor da carga de ruptura estimada. Neste momento, os extensômetros foram retirados e o carregamento teve prosseguimento até a ruptura do corpo-de-prova;

j) Foram utilizados apenas corpos-de-prova nas condições de umidade da madeira verde;

k) Como as peças de onde foram retirados os corpos-de-prova para o presente ensaio foram as mesmas das quais se retirou os corpos de prova para o ensaio de tração paralela às fibras, o teor de umidade utilizado para ajuste das propriedades de resistência e de rigidez foi o mesmo utilizado para o ajuste da resistência e rigidez da tração paralela às fibras.

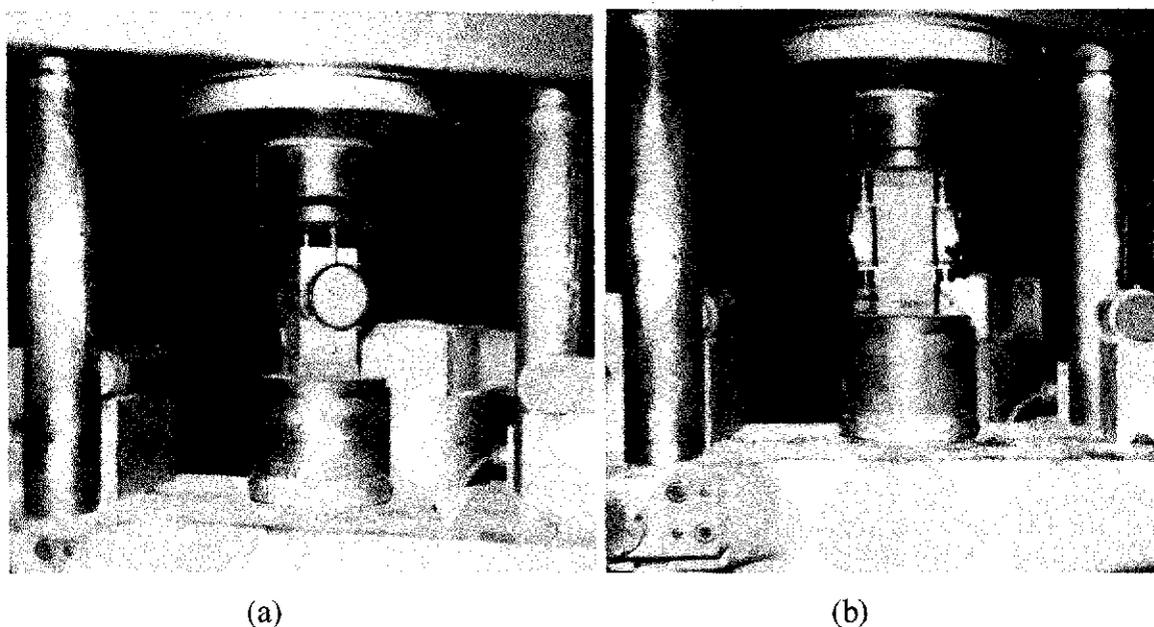


FIGURA 3.3 – Detalhe da instrumentação usada no ensaio de resistência à compressão normal. Parte (a) vista anterior ao ensaio. Parte (b) execução do ensaio

3.7.5.4 Valores da Resistência e Rígidez no Ensaio de Compressão Normal às Fibras

Nas diversas fases dos ensaios as tensões (σ) foram determinadas por intermédio da equação:

$$\sigma = \Delta p/A \quad (14)$$

onde: Δp = Carga aplicada

A = Área inicial da seção transversal do corpo-de-prova

As deformações (ε) específicas por:

$$\varepsilon = \Delta l / l \quad (15)$$

onde: Δl = Deformação específica

l = Comprimento inicial do corpo-de-prova

A resistência à compressão normal às fibras foi determinada graficamente como recomenda a NBR 7190/97.

3.7.5.5 Ajuste dos Valores da Resistência e Rigidez no Ensaio de Compressão Normal às Fibras, para 12% de Umidade.

Na caracterização usual das propriedades de resistência e de rigidez de um lote considerado homogêneo é recomendável que os resultados, obtidos com diferentes teores de umidade, contidos no intervalo entre 10% e 20%, sejam apresentados com os valores ajustados para a umidade padrão de 12% de umidade. Para o referido ajuste se utiliza as Equações de número 2 e 3.

3.7.5.6 Estimativa do Valor Característico da Resistência à Compressão Normal às fibras.

O valor característico da resistência à compressão normal às fibras da algarobeira – *Prosopis juliflora* (Sw) DC. foi estimada pela Equação 1.

3.7.5.7 Valor da Rigidez na Compressão Normal às Fibras.

A rigidez da madeira foi medida pelo valor médio do módulo de elasticidade, determinado na fase do comportamento elástico.

3.7.6 Tração Normal às Fibras

A resistência à tração normal às fibras da madeira ($f_{wt,90}$ ou $f_{t,90}$) é obtida pela máxima tensão de tração que pode atuar em um corpo-de-prova alongado com trecho central de seção transversal uniforme de área A e comprimento não menor que $2,5\sqrt{A}$, com extremidades mais resistentes que o trecho central e com concordância que garantam a ruptura no trecho central, sendo dado por :

$$f_{t,90} = \frac{F_{t,90,max}}{A} \quad (16)$$

$F_{t,90,max}$ é a máxima força de tração normal aplicada ao corpo-de-prova durante o ensaio, em Newton (N).

A é a área inicial da seção transversal tracionada do trecho alongado do corpo-de-prova, em metro quadrado (m^2).

O valor característico da resistência a tração normal às fibras será determinado pelo estimador utilizado nos ensaios anteriores.

A resistência à tração normal às fibras deve ser determinada para ser utilizada apenas para estudo comparativo entre diferentes espécies de madeira, não devendo ser aplicada na avaliação da segurança das estruturas de madeira, segundo recomenda a NBR 7190/97.

3.7.6.1 Descrição da Amostra

Foi retirado, do lote estruturado, uma amostra contendo 12 peças para confeccionamento de 12 corpos-de-prova para a determinação da resistência à tração normal às fibras. Foi extraído um único corpo-de-prova de cada peça. Os defeitos foram eliminados durante o processo de confeccionamento das peças.

3.7.6.2 Forma e Dimensões dos Corpos-de-Prova

O corpo-de-prova deve ser alongado com trecho central de seção transversal uniforme de área A e comprimento não menor que $2,5\sqrt{A}$, com extremidades mais resistentes que o trecho central e com concordância que garantam a ruptura no trecho central.

3.7.6.3 - Procedimento

- a) Para a determinação da resistência à tração normal às fibras as medidas das faces dos corpos-de-prova devem ser feitas com precisão de 0,1 mm;
- b) O carregamento se deu de maneira monotônica, crescente e correspondente a uma taxa de 2,5 MPa por minuto;
- c) Foi utilizada apenas uma amostra com corpos-de-prova verdes;
- d) O carregamento foi aplicado no sentido normal a direção das fibras da madeira. O ensaio foi executado como mostra a Figura 3.4. Embora não tenha havido esmagamento devido o diâmetro da pino utilizado, é recomendável, no arranjo do ensaio, utilizar uma meia-lua de raio próximo de 1,26 cm;
- g) A determinação do teor de umidade, para ajuste da propriedade de resistência foi realizado nos moldes do que determina a norma atual.

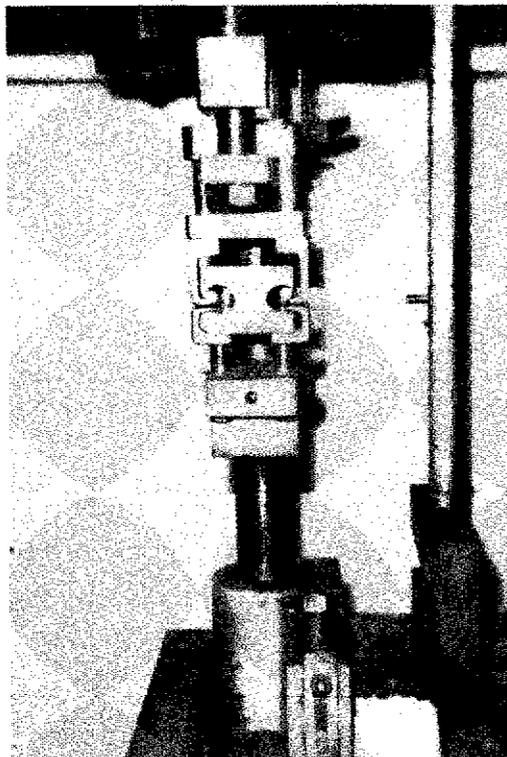


FIGURA 3.4 – Arranjo do ensaio de resistência à tração normal às fibras

3.7.6.4 Valor da Resistência

Nas diversas fases dos ensaios as tensões (σ) foram determinadas por intermédio da equação:

$$\sigma = \Delta p / A \quad (17)$$

onde: Δp = carga aplicada

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

3.7.6.5 Ajuste dos Valores da Resistência no Ensaio de Tração Normal às Fibras

O ajuste foi realizado usando-se as Equações 2 e 3.

3.7.6.6 Estimativa do Valor Característico

O valor característico da resistência à tração normal às fibras da algarobeira deve ser estimado pelo mesmo estimador e procedimentos dos ensaio anterior.

3.7.7 Cisalhamento Paralelo às Fibras

A resistência ao cisalhamento paralelo às fibras da madeira ($f_{wv,0}$ ou $f_{v,0}$) é dado pela máxima tensão de cisalhamento que pode atuar na seção crítica de um corpo-de-prova, com formato prismático, sendo dado por:

$$f_{v,0} = \frac{F_{v,0,max}}{A_{v,0}} \quad (18)$$

Onde: $F_{v,0,max}$ é a máxima força cisalhante aplicada ao corpo-de-prova, em Newton (N)

$A_{v,0}$ é a área inicial da seção crítica do corpo-de-prova, num plano paralelo as fibras, em metro quadrado (m^2)

$f_{v,0}$ é a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras.

O valor característico da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras $f_{v0,k}$ deve ser determinada pela Equação 1.

O presente ensaio, para a determinação da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras da algarobeira – *Prosopis juliflora* (Sw) DC. seguiu as determinações normativas da NBR 7190/97.

3.7.7.1 - Descrição da Amostra

Do lote de madeira estruturado, extraiu-se, de modo aleatório, uma amostra contendo 12 peças para confeccionamento de 12 corpos-de-prova. De cada peça foi extraído um único corpo-de-prova.

Os defeitos da madeira foram eliminados durante o processo de serragem das toras e preparação dos corpos-de-prova. Todos estes foram retirados de regiões com distância sempre superior a 30 cm das extremidade das peças, como é normatizado.

3.7.7.2 - Forma e Dimensões dos Corpos-de-Prova

Os corpos-de-prova foram confeccionados com o formato e as dimensões da Figura 3.5

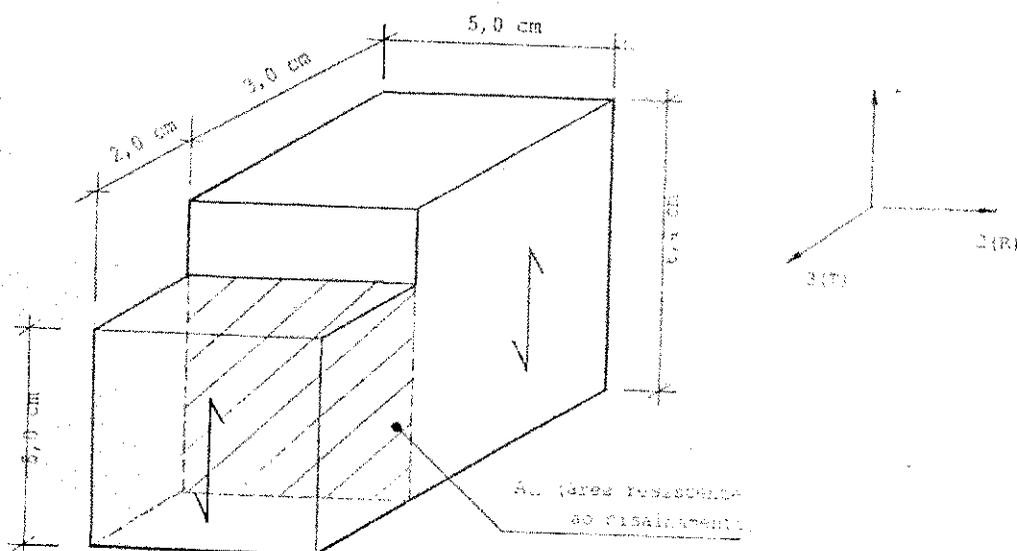


FIGURA 3.5 – Geometria do corpo-de-prova do ensaio de cisalhamento

O corpo-de-prova foi confeccionado de modo a fazer com que o plano da seção crítica ficasse paralelo a direção radial da madeira.

3.7.7.3 - Procedimentos

a) Para a determinação da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras da algarobeira – *Prosopis juliflora* (Sw) DC., as medições dos lados dos corpos-de-prova foram feitas com precisão de 0,01 mm;

b) Os corpos-de-prova foram ajustados à máquina de ensaio do tipo Amsler, com capacidade para 7 toneladas, por meio de uma rótula entre o atuador e o corpo-de-prova.

c) O carregamento foi monotônico e feito a uma velocidade de carga de 2,5 MPa por minuto;

d) Como o presente estudo visa a caracterização completa da algarobeira, foi utilizado uma amostra da madeira nas condições de umidade da madeira verde;

e) A determinação do teor de umidade foi realizado nos moldes do que determina a NBR 7190/97 e com corpos-de-prova extraídos das peças, exatamente do lado de onde foram retirados os corpos-de-prova para o presente ensaio.

3.7.7.4 - Valor da Resistência

Nas diversas fases dos ensaios as tensões (σ) foram determinadas por intermédio da equação:

$$\sigma = \Delta p / A \quad (18)$$

onde: Δp = carga aplicada

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

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

3.7.7.5 Ajuste dos Valores da Resistência ao Cisalhamento Paralelo às Fibras, para 12% de Umidade

O ajuste foi realizado usando-se a Equação 2.

3.7.7.6 Estimativa do Valor Característico da Resistência ao Cisalhamento Paralelo às Fibras

O valor característico da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras da algarobeira – *Prosopis juliflora* (Sw) DC. deve ser estimado pela Equação 1.

3.7.8 Embutimento Paralelo e Normal às Fibras

A resistência de embutimento (f_{wc} ou f_e) é definida pela razão entre a força F_e , que causa a deformação específica residual de 2‰ e a área de embutimento do pino $A_e = td$, determinada no ensaio de corpos-de-prova confeccionadas de acordo com a NBR 7190/97.

Com esta finalidade, a resistência de embutimento nas direções paralela e normal às fibras f_{e0} e f_{e90} em MPa, é determinada a partir do diagrama tensão deformação como recomenda a NBRR 7190/97. Essas resistências são dadas pelas expressões:

$$f_{e0} = \frac{F_{e0}}{td} \quad \text{e} \quad f_{e90} = \frac{F_{e90}}{td} \quad (20)$$

Onde : F_{e0} e F_{e90} são as forças aplicadas nas direções paralela e normal às fibras, correspondentes as deformações residuais de $\varepsilon = 2\text{‰}$, em Newton (N);

Os valores característicos das resistências de embutimento paralelo e normal às fibras $f_{e0,k}$ e $f_{e90,k}$ da algarobeira - *Prosopis juliflora* (Sw) DC., foi realizado de acordo com o que estabelece a NBR7190/97.

3.7.8.1 Descrição da Amostra

Do lote de madeira preparado para os ensaios, extraiu-se 12 peças, compondo uma amostra, para o confeccionamento de 12 corpos-de-prova. De cada peça foi extraído um único corpo-de-prova.

Os defeitos da madeira foram eliminados durante o processo de serragem das toras. Todos os corpos-de-prova foram retirados de regiões afastadas mais de 30 cm das extremidades das peças, como é normatizado.

3.7.8.2 - Forma e Dimensões dos Corpos-de-Prova

Para a determinação da resistência de embutimento paralelo e normal às fibras, os corpos-de-prova foram confeccionados com o formato prismático, de seção retangular com $8d$ de largura e $2d$ de espessura, correspondente a $\beta = t/d = 2$ com o comprimento ao longo das fibras de $18d$, como determina a NBR 7190/97. Como foi escolhido o diâmetro do pino de 1cm, a seção retangular foi de 8cm, a espessura de 2cm e o comprimento de 18 cm.

Para a determinação da resistência de embutimento normal às fibras, os corpos-de-prova tiveram as mesmas dimensões dos corpos-de-prova utilizados para a determinação da resistência de embutimento paralelo às fibras, porém tomando-se o eixo maior (comprimento) na direção normal às fibras.

3.7.8.3 - Procedimentos

a) Para a determinação da resistência de embutimento as medidas dos lados foram tomadas com uma precisão de 0,1 mm e o foram com um paquímetro do tipo digital, modelo CD-8^oB, fabricado pelo Mitutoyo Corporation;

b) Para a determinação das deformações específicas, foram feitas medidas de deslocamento relativo entre o pino e a extremidade dos corpos-de-prova. Essas medidas foram feitas nas duas faces dos corpos-de-prova;

c) As medidas dos referidos deslocamentos foram feitas com extensômetros, do tipo Starret com precisão de 0,01mm, fixados nos corpos-de-prova, com base de medida de 14 cm, com comprimento nominal de 10cm.

d) Foi estimada a resistência da carga de ruptura da madeira por intermédio do ensaio destrutivo de dois corpos-de-prova, sendo um para o embutimento paralelo às fibras e outro para embutimento normal às fibras.

e) Conhecida a resistência estimada da carga de ruptura dos dois corpos-de-prova, foi o carregamento aplicado com dois ciclos de carga e descarga, sendo o ciclo de cargas correspondentes, respectivamente, a 10%, 20%, 30%, 40% e 50% da carga de ruptura estimada aplicado nos ensaios de embutimento paralelo às fibras. Para os ensaios de embutimento normal às fibras foi o carregamento aplicado, também, com dois ciclos de carga, sendo estes correspondentes, também, a 10%, 20%, 30%, 40% e 50% da carga de ruptura estimada.

Nos dois ensaios a taxa de carregamento foi da ordem de 10 MPa por minuto. O esquema do ensaio esta mostrado na Figura 3.6.

Devido as dificuldades de obtenção gráfica, nos primeiros ensaios da tensão responsável pela deformação específica residual de 2%, foi necessário manter os instrumento de leitura até 90% da carga estimada no sentido de obtermos mais dois acima dos 70% da referida carga estimada;

f) Os registros das cargas aplicadas e das deformações eram feitos por três operadores que, para cada instante da carga aplicada (sinalizada por um operador) eram feitas as leituras das deformações (pelos outros dois operadores). Esses registros eram feitos para cada ponto indicado no item e, acima;

g) Os corpos-de-prova foram ajustados à máquina de ensaio, do tipo Amsler, com capacidade para 5 toneladas, por meio de uma rótula entre ao atuador e o corpo-de-prova;

h) Foi utilizado, nestes ensaios apenas corpos-de-prova na condição de madeira verde;

i) A determinação do teor de umidade foi feita com corpos-de-prova extraídos de regiões conjugadas às regiões de onde foram retirados os corpos-de-prova para o presente ensaio.



FIGURA 3.6 – Vistas lateral e central do ensaio de embutimento

3.7.8.4 - Valores da Resistência de Embutimento Paralelo e Normal às Fibras.

Nos diversos momentos dos ensaios as tensões (σ) foram determinadas por intermédio da equação:

$$\sigma = \Delta p / A \quad (21)$$

onde: Δp = carga aplicada

$A = td$ = área inicial de embutimento do corpo-de-prova

3.7.8.5 Ajuste Dos Valores da Resistência de Embutimento Paralelo e Normal às Fibras, para 12% de Umidade.

Os ajustes dos valores dos ensaios de embutimento paralelo e normal as fibras, foram feitos de acordo com a Equação 2.

3.7.8.6 Estimativa do Valores Característicos das Resistências de Embutimento Paralelo e Normal às Fibras

O valor característico da resistência ao embutimento paralelo e normal às fibras deve ser estimado pela Equação 1.

3.7.9 “Densidade Básica” e “Densidade Aparente”

A “densidade básica” é uma massa específica convencional definida pela razão entre a massa seca e o volume saturado, sendo dado por:

$$\rho_{bás} = \frac{m_s}{V_{sat}} \quad (22)$$

Onde:

m_s = massa seca da madeira, em kg;

V_{sat} = volume da madeira saturada, em metro cúbico (m^3)

O volume saturado é determinado pelas dimensões finais do corpo-de-prova submerso em água até que atinja massa constante ou com, no máximo, uma variação de 5% em relação à medida anterior.

A “densidade aparente” é uma massa específica convencional, definida pela razão entre a massa e o volume de corpos-de-prova com teor de umidade de 12%, sendo dada por :

$$\rho_{ap} = \frac{m_{12}}{V_{12}} \quad (23)$$

Onde:

m_{12} = massa da madeira a 12% de umidade em kg;

V_{12} = volume da madeira a 12% de umidade, em metro cúbico (m^3).

O presente ensaio para determinação da “densidade básica” e “densidade aparente” da algarobeira - *Prosopis juliflora* (Sw) DC. foi realizado de acordo com o que determina a NBR 7190/97.

3.7.9.1 Descrição da Amostra

a) Para a determinação da “densidade Básica” foram retirados dois corpos-de-prova de cada peça, totalizando 42 corpos-de-prova. Para a determinação da “densidade aparente”, foi retirado apenas um corpo-de-prova de cada peça, totalizando 21 corpos-de-prova;

b) Tomou-se, nesses ensaios, os mesmos cuidados dos ensaios anteriores no sentido de se evitar a provocação de “queima”, falseadora de resultados, nas faces dos

corpos-de-prova durante e o seu confeccionamento. Todas as peças estavam armazenadas em câmara úmida;

3.7.9.2 Forma e Dimensões dos Corpos-de-Prova

Os corpos-de-prova são de formato prismático, com seção transversal regular, com dimensões nominais de 2,0 cm x 3,0 cm e comprimento de 5,0 cm ao longo das fibras. As medições foram realizadas com precisão, com paquímetro digital, modelo CD-8”, fabricado pelo Mitutoyo Corporation;

3.7.9.3 Procedimentos

a) Após o confeccionamento dos corpos-de-prova e a enumeração de todos eles, aqueles destinados à determinação da “densidade básica” foram colocados em processo de saturação (submerso em água) e aí permanecendo, até que a massa de cada corpo-de-prova se apresentasse constante, ou no máximo com uma variação de 0,5%, entre duas medidas consecutivas. Verificada essa massa constante foram determinadas as dimensões finais de cada um deles (lados da seção transversal e comprimento) para encontrar-se o volume saturado. Em seguida estes foram levados à estufa (marca ELKA, modelo 119, fabricado pela ASCA/SP), a uma temperatura de $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ para perderem umidade. Durante este processo de retirada de umidade, os corpos-de-prova foram pesados a cada 6 horas até atingirem completa secagem que ocorreu em torno de, aproximadamente, 78 horas após. Quando verificou-se que a diferença entre os valores de duas pesagens consecutivas estava se aproximando de zero, ou seja, quando os corpos-de-prova estavam com sua massa constante, ou próximo desta, foi determinado a massa de cada um deles e anotados esses valores como sendo a sua massa seca final.

b) Por outro lado, cada corpo-de-prova, destinado a determinação da “densidade aparente”, teve o seu peso e volume determinado. Em seguida foram colocados para secar em estufa e a cada 6 horas eram retirados e colocados em um dessecador para esfriar e permitir as pesagens e medições, evitando-se com isso, a subtração ou ganho de umidade para o ambiente que poderia falsear os resultados. Tal processo teve

prosseguimento até os corpos-de-prova passaram a ter massa constante, ou próximo dela. Atingido esse ponto, os corpos-de-prova tiveram as suas massas determinadas, passando esta à ser a massa final seca. De posse desses valores determinou-se a umidade do corpo-de-prova desde a sua condição de úmido até completamente seco. Do mesmo modo que se determinou os valores da umidade foi determinado também, para cada ponto, o volume dos corpos-de-prova. O volume de cada corpo-de-prova, também, foi determinado desde a sua condição de úmido até completamente seco, passando pelos 12% de umidade. Conhecendo o volume do corpo de prova em cada ponto e o seu volume na condição de seco determinou-a retração volumétrica em cada um desses pontos. Em seguida foi determinada a densidade de um ponto mais próximo de 12%. Por meio da interpolação linear calculou-se a retração volumétrica a 12%. De posse da retração volumétrica foi possível determinar o coeficiente de retratibilidade volumétrica. De posse dos valores da densidade de um ponto mais próximo do coeficiente de retratibilidade volumétrica,

c) Todos os valores extraídos foram anotados em uma planilha e de posse desses valores determinou-se outros parâmetros (volume da madeira saturada, volume da madeira a 12% de umidade e massa seca da madeira) e as respectivas densidades.

3.7.9.4 - Valores Determinados da “Densidade Básica” e “Densidade Aparente” do Lote de Algarobeiras.

Nos diversos momentos dos ensaios o volume do corpo-de-prova foi determinado por intermédio da seguinte formulação:

$$V_u = \frac{l_{au} \cdot l_{ru} \cdot l_{tu}}{1000} \quad (24)$$

Onde:

V_u = volume do corpo-de-prova úmido

l_{au} = lado do corpo-de-prova úmido na direção axial

l_{ru} = lado do corpo-de-prova úmido na direção radial

l_{tu} = lado do corpo-de-prova úmido na direção tangencial

Para a determinação do teor de umidade foi utilizada a equação do sub-item

3.7.1

Para a determinação da retração volumétrica foi utilizada a equação:

$$\Delta_{vu} = \frac{Vu - Vo}{Vu} \quad (25)$$

Onde:

Δ_{vu} = retração volumétrica (em %)

V_u = volume do corpo-de-prova úmido

V_o = volume do corpo-de-prova seco na estufa

Para a determinação do volume seco na estufa utiliza-se a mesma equação sendo (u) substituído por (o).

Para a determinação do coeficiente de retratibilidade volumétrica, foi utilizada a seguinte equação:

$$\delta_v = \frac{Vu}{u} \quad (26)$$

Onde:

δ_v = coeficiente de retratibilidade volumétrica

V_u = volume do corpo-de-prova úmido

u = umidade do corpo-de-prova

Para a determinação da densidade a 12% foi utilizada a seguinte equação, recomendada pela MB-26:

$$D_{12} = D_n + D_n (0,01 - \delta_v) \cdot (12 - n) \quad (27)$$

Onde:

D_{12} = densidade aparente a 12% de umidade

D_n = densidade aparente a n% de umidade

δ_v = coeficiente de retratibilidade volumétrica

u = umidade do corpo-de-prova

CAPITULO 4

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Identificação Botânica das Espécies

Da identificação taxonômica das árvores selecionadas, resultou essas plantas pertencerem a uma única espécie *Prosopis Juliflora* (S.w) D.C. (leguminosae mimosoideae). A espécie foi descrita como sendo uma árvore de caule tortuoso, com até 15-20 m de altura, possuindo espinhos axilares, solitário ou geminados, com cerca de 6 a 8 cm de comprimento, raro inerme; casca pardo-avermelhada, fendida, escamosa e grossa; folhas bipinadas, 1 juga, raro 2 jugas, filíolos 6 a 30 jugos, linear oblongo, separados entre si por longa raque; flores amarelo-pálidas, dispostas em espigas axilares cilíndricas de 7 cm; ovário supéro; fruto legume de cerca de 20 cm de comprimento.

4.2 Determinação da Idade das Árvores

Logo após a chegada das toras ao Laboratório de Estruturas do Departamento de Engenharia Civil do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, foi feita a contagem dos seus anéis anuais de crescimento e obteve-se uma estimativa de suas idades que se acham especificadas na Tabela 4.1. A idade média das árvores foi de 10,8 anos e tal resultado está muito próximo

da informação fornecida pelo administrador da fazenda, da qual elas foram retiradas, que dizia terem às Algarobeiras cerca de 10 anos de idade

TABELA 4.1 - Estimativa da idade das árvores

Árvore	Idade (anos)
01	10
02	11
03	12
04	10
05	11
Média	10,8

4.3 Cubagem das Toras - Determinação do Volume Total da Madeira Bruta (não trabalhada)

A partir das medições do comprimento circunferencial, tomados na base, no meio e topo das toras, determinou-se o valor médio do diâmetro das mesmas. Conhecendo-se o valor desses diâmetros e medindo-se o comprimento das toras chegou-se ao volume de cada tora e ao volume total de madeira bruta, não trabalhada. Os resultados dessas medições encontram-se apresentados nas Tabelas 4.2.

TABELA 4.2 – Valores dos comprimentos circunferenciais (C_{base} , C_{meio} e C_{topo}), diâmetro médio ($D_{médio}$) das toras e volume de madeira bruta das árvores estudadas

Árvores	Tora	C_{base} (m)	C_{meio} (m)	C_{topo} (m)	$C_{médio}$ (m)	$D_{médio}$ (m)	Comprimento das toras (m)	Volume das toras (m^3)
I	01	0,70	0,70	0,70	0,70	0,22	2,00	0,076
	02	0,65	0,60	0,58	0,61	0,19	3,80	0,108
II	03	0,94	0,92	0,90	0,92	0,29	2,70	0,180
III	04	0,74	0,68	0,68	0,70	0,22	3,20	0,122
	05	0,80	0,74	0,76	0,77	0,24	3,30	0,150
IV	06	0,60	0,58	0,52	0,57	0,18	2,20	0,056
	07	0,46	0,43	0,40	0,43	0,14	1,60	0,025
	08	0,47	0,47	0,47	0,47	0,15	1,70	0,030
V	09	0,90	0,77	0,80	0,82	0,26	3,30	0,175
	10	0,68	0,63	0,61	0,64	0,20	2,76	0,086
Volume total das toras (madeira não trabalhada)								1,008

Dos resultados apresentados nota-se que os comprimentos circunferenciais apresentam-se muito próximos ao longo do comprimento da tora e, em alguns casos, possuem valores iguais. É importante observar que isso se deve a pouca ou quase nenhuma variação do crescimento em diâmetro da base ao topo devido ao pequeno comprimento das peças brutas retiradas do campo.

O volume total de madeira bruta coletada pode ser obtido somando-se os volumes das toras individuais. No presente estudo esse volume atingiu 1,008 m³. A obtenção desse não acentuado volume de madeira se deve ao fato de que as toras foram coletadas objetivando consecução de material suficiente para o confeccionamento de corpos-de-prova para os ensaios físicos e mecânicos segundo o estabelecido pela NBR 7190/97. Ressalte-se, ainda, que a moto-serra disponível, de pequeno porte, tornou impossível a coleta de toras com grandes diâmetros existentes no povoamento que, com frequência, atingiam 1,00 m de diâmetro.

4.4 Determinação dos Percentuais de Cerne, Alburno e Casca da Algarobeira

A importância da determinação dos percentuais de cerne ou duramen, alburno ou branco e casca de uma dada madeira, reside no fato de que, através destas determinações, se pode conhecer as potencialidades de aproveitamento, em termos percentuais, da parte mais importante do tronco que é o cerne ou duramen. Os valores obtidos para os percentuais de cerne, alburno e casca das toras de algarobeira estudadas estão apresentados na Tabela 4.3.

Dos resultados apresentados nota-se que, em média, a algarobeira - *Prosopis Juliflora* (S.w) DC. apresenta um quantitativo de cerne ou duramen de cerca de 86,3%, de alburno ou branco de aproximadamente 9,8% e de casca de 3,6%. Tais frações podem ser observadas, aproximadamente, na Figura 4.1.

TABELA 4.3 – Valores dos percentuais de cerne, albarno e casca das toras das árvores estudadas.

Tora	Diâmetro (cm)	Casca (cm)	Albarno (cm)	Cerne (cm)	
01	Medição 1	22,9	0,8	2,6	19,5
	Medição 2	22,7	0,5	2,3	19,9
	Medição 3	19,9	0,6	1,6	17,7
	Medição 4	22,4	0,6	2,9	18,9
	Medição 5	16,8	0,7	1,5	14,6
Média	20,9	0,6	2,2	18,1	
02	Medição 1	32,0	1,0	2,3	28,7
	Medição 2	32,3	1,1	2,3	28,9
	Medição 3	32,0	0,8	2,4	28,8
	Medição 4	28,4	1,0	1,2	26,2
	Medição 5	22,2	0,9	1,3	20,0
Média	29,4	1,0	1,9	26,5	
03	Medição 1	20,8	0,7	2,9	17,2
	Medição 2	23,8	0,7	1,6	21,5
	Medição 3	20,4	0,8	2,6	17,0
	Medição 4	23,2	0,7	2,9	19,6
	Medição 5	20,7	0,9	2,3	17,5
Média	21,8	0,8	2,5	18,6	
04	Medição 1	19,5	0,8	3,1	15,6
	Medição 2	19,3	0,7	2,5	16,1
	Medição 3	18,0	0,7	2,8	14,5
	Medição 4	18,5	0,5	2,5	15,5
	Medição 5	19,7	0,4	3,5	15,8
Média	19,0	0,6	2,9	15,5	
05	Medição 1	23,3	0,8	1,7	20,8
	Medição 2	19,3	0,4	1,6	17,3
	Medição 3	20,1	0,8	1,7	17,6
	Medição 4	21,1	1,0	1,3	18,8
	Medição 5	22,1	0,8	1,6	19,7
Média	21,2	0,8	1,6	18,5	
Média geral	22,5	0,8	2,2	19,4	
Percentagem	100 %	3,6 %	9,8 %	86,3 %	

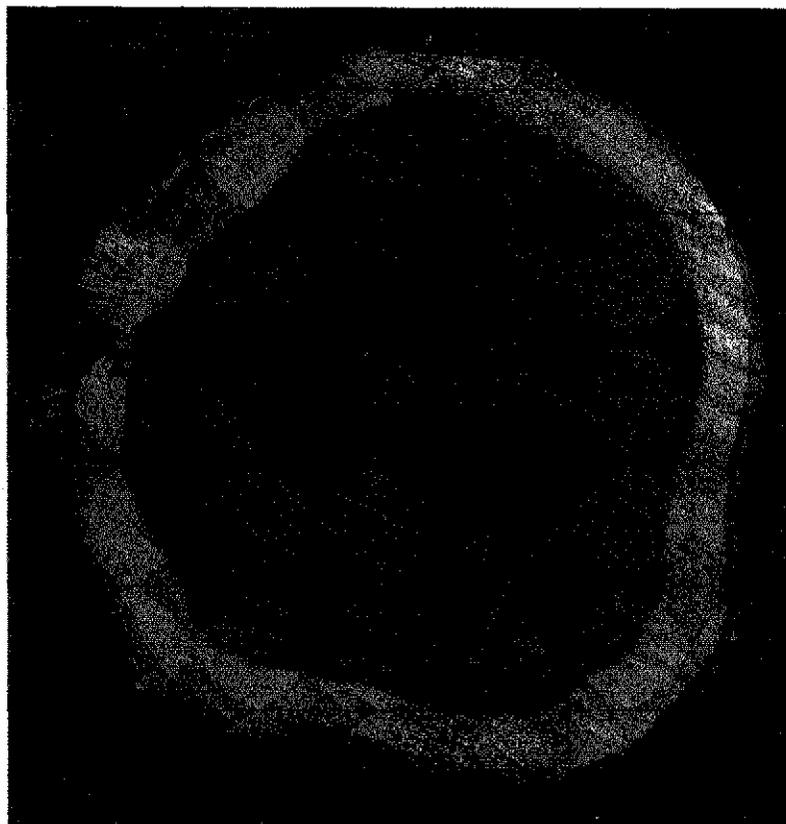


FIGURA 4.1 - Seção transversal de uma tora de algarobeira *Prosopis juliflora* (Sw) DC. onde pode ser observado as frações de cerne ou duramen, alburno ou branco e casca

4.5 – Determinação do Volume Total da Madeira Trabalhada

Das 10 toras coletadas foi possível obter peças trabalhadas com comprimento máximo de 2,70 m e seção transversal de 0,22 x 0,22m, conforme pode ser visto dos resultados apresentados na Tabela 4.4.

Observando-se os resultados do volume total das toras e do volume total da madeira serrada, nota-se que apenas 57,14% do total de madeira coletada foi transformada em peças. Esse percentual, nas madeiras tradicionalmente usadas nas construções (Maçaranduba, Sucupira, Ipê, etc.) atinge cerca de 80% ou mais. O menor índice de aproveitamento da algarobeira estudada deu-se porque essas árvores se originam de semeio natural, logo, sem espaçamento definido, acarretando na perda de sua linearidade durante o seu desenvolvimento, conforme mostra as Figuras 4.2 e 4.3. Alta densidade do

povoamento, que gera competitividade por luz, falta de tratos culturais tais como tutoramento, poda, desbaste, adubação etc., também são fatores que contribuem para a não linearidade e inibição do desenvolvimento do diâmetro dessa espécie, conforme pode ser visto na Figura 4.4. A existência de clareiras no povoamento, ver Figura 4.5, diminui a concorrência por espaço no solo levando um maior desenvolvimento no diâmetro das toras das árvores.

TABELA 4.4 - Volume total da madeira trabalhada (serrada)

Peças	Comprimento (m)	Seção Transv.(cm ²)	Volume (m ³)	Volume total (m ³)
1	2,10	14x14 = 196	0,041	
2	1,90	18x17 = 306	0,058	
3	1,50	14x14 = 196	0,029	
4	2,10	16x14 = 224	0,047	
5	2,70	22x22 = 484	0,131	
6	1,70	09x09 = 81	0,014	
7	1,50	09x13 = 117	0,018	
8	2,15	15x15 = 225	0,048	
9	1,18	15x15 = 225	0,026	
10	1,05	11x15 = 165	0,017	
11	0,70	11x07 = 77	0,005	
12	1,15	13x09 = 117	0,013	
13	0,70	07x16 = 112	0,008	
14	1,20	13x13 = 169	0,020	
15	1,15	09x09 = 81	0,009	
16	1,15	13x04 = 52	0,006	
17	0,70	12x12 = 144	0,010	
18	1,30	16x08 = 128	0,017	
19	1,30	16x08 = 128	0,017	
20	1,00	15x15 = 225	0,022	
21	1,00	14x14 = 196	0,020	
				0,576 m ³

A disputa por espaço acarretou quebras naturais de galhos e ramos, isto é, desrama natural, provocando acentuado aparecimento de nós, que, em razão do que determina a NBR 7190/97, tiveram que ser eliminados durante a serragem das toras, diminuindo o percentual de aproveitamento da madeira. A Figura 4.3 mostra a ocorrência da desrama natural no povoamento onde foi coletada as toras estudadas.

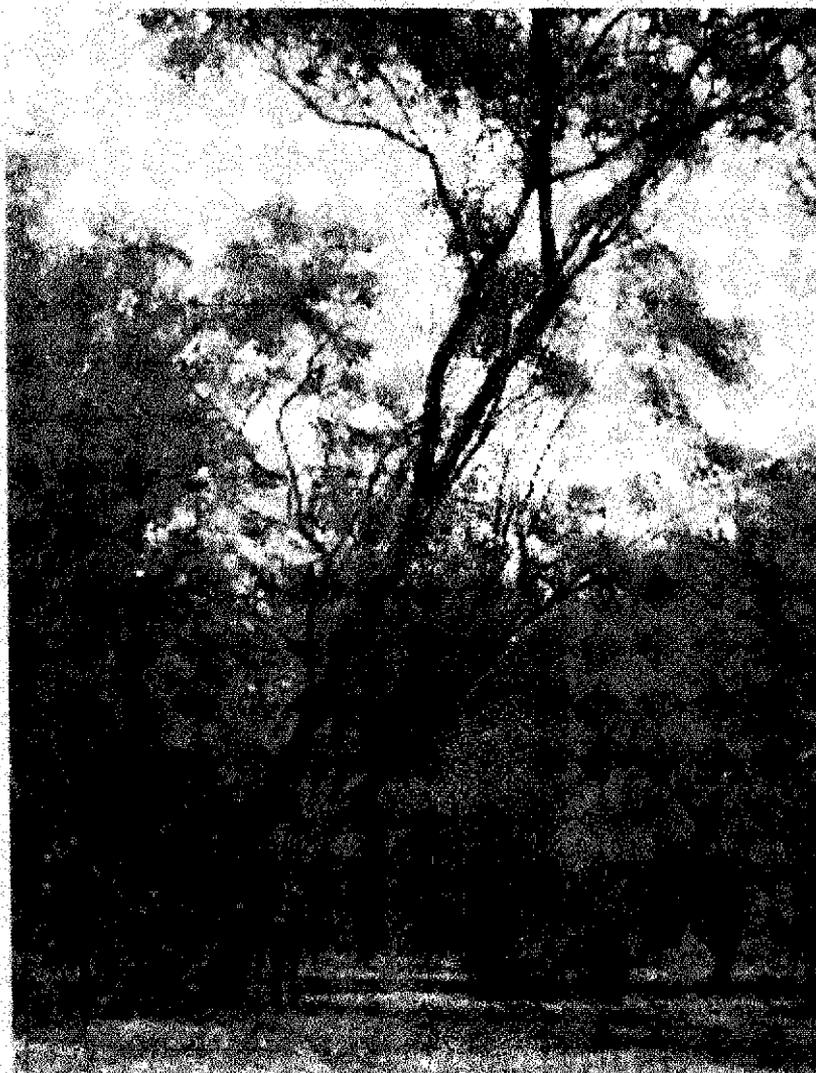


FIGURA 4.2 - Povoamento com alta densidade sem espaçamento definido (Fazenda da Irricamp, Coxixola-PB). Note o encurvamento da algarobeira mostrando a concorrência por espaço e luz

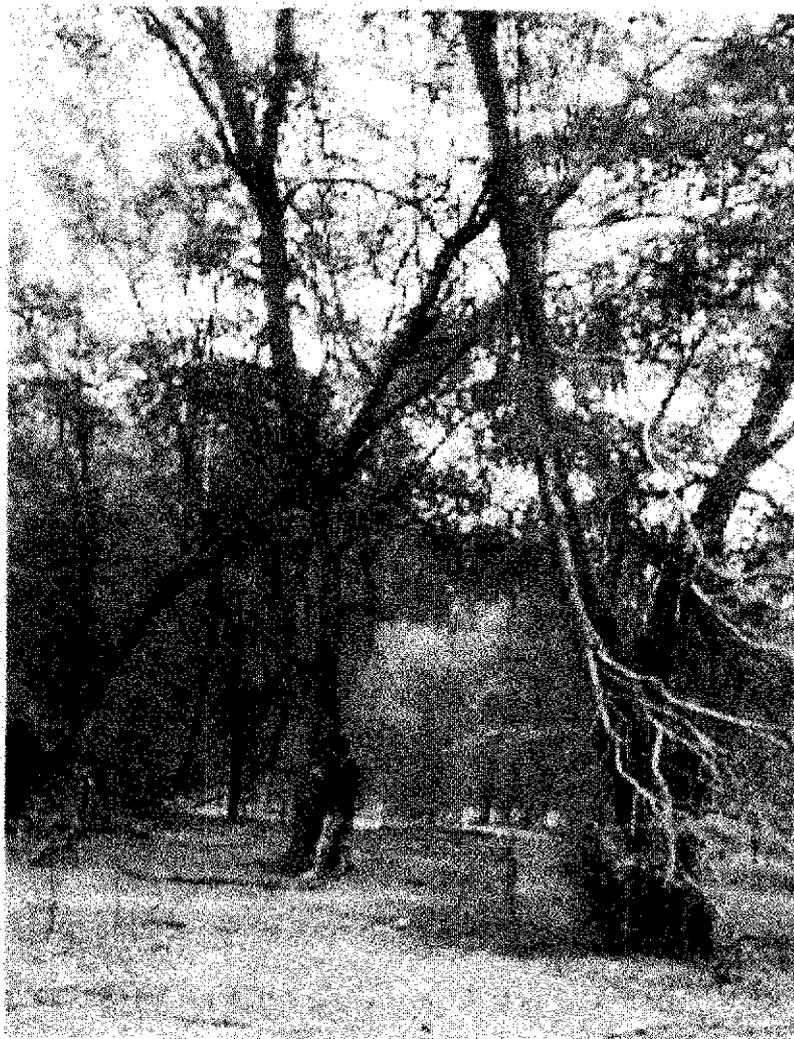


FIGURA 4.3 - Povoamento mostrando perda de linearidade da algarobeira em busca de espaço e luz e a desrama natural



FIGURA 4.4 – Povoamento de alta densidade indicando desenvolvimento em diâmetro de baixo a médio. A parte sombreada do solo evidencia elevada concorrência. O encurvamento do caule se deve a busca por luz



FIGURA 4.5 – Clareira no meio do povoamento, indicando menor concorrência por espaço no solo acarretando maior desenvolvimento em diâmetro

4.6 Caracterização Física e Mecânica da Algarobeira *Prosopis juliflora* (Sw) DC.

4.6.1 Teor de Umidade do Lote de Algarobeiras

O teor de umidade do lote de algarobeiras coletadas, calculado utilizando a equação 4, encontra-se apresentado na Tabela 4.5. O valor médio do teor de umidade do

lote de algarobeira – *Prosopis juliflora* (Sw) DC., foi $U = 19,96 \%$, com um coeficiente de variação de $4,73\%$.

TABELA 4.5 - Teor de umidade do lote de algarobeiras – *Prosopis juliflora* (Sw) DC.

Corpo de prova	Massa inicial (g)	Massa seca (g)	Umidade a base seca (%)
1	34,46	28,77	19,78
2	37,54	31,67	18,53
3	34,10	28,11	21,31
4	37,14	30,71	20,93
5	36,25	29,86	21,40
6	35,78	29,81	20,01
7	37,63	31,39	19,88
8	36,19	30,28	19,52
9	37,59	31,13	20,75
10	34,62	28,97	19,50
11	38,58	32,17	19,92
12	38,11	32,14	18,57
13	36,57	31,27	16,95
14	36,00	29,59	21,66
15	37,69	31,14	21,03
16	35,52	30,06	18,16
17	37,49	30,90	21,32
18	35,92	30,48	17,85
19	37,34	30,86	21,00
20	37,19	31,16	19,35
21	36,63	30,10	21,69
Valor médio			19,96
Desvio padrão			0,946677
C.V.			4,743436

Estudos anteriores realizados por PEREIRA *et al* (1976), para a Algarobeira - *Prosopis juliflora* (Sw) DC., no estado verde, indicaram um valor do teor de umidade $U = 25,41 \%$. Comparando-se esse resultado com o obtido no presente trabalho, nota-se uma diferença, em termos percentuais, de $5,45\%$. Tal diferença deve-se ao fato de que a MB-26, norma que antecedeu a NBR 7190/97, e que serviu de base para os trabalhos desenvolvidos no Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco pelo referido pesquisador, exigia rigoroso controle no transporte, a fim de que a madeira não perdesse umidade durante o seu deslocamento e chegando ao local dos

ensaios com um teor de umidade ao nível das condições de campo. Ao contrário da MB – 26, a norma atual faz referência ao estudo das madeiras em lote e, portanto, submetidas a um processo de serragem e aplainamento, o que, conseqüentemente, provoca perda de umidade.

Ressalte-se ainda, que as árvores, mesmo sendo de uma mesma espécie, tem o seu teor de umidade influenciado pela região em que se situa e pela sua idade. As algarobeiras ensaiadas para originar a presente dissertação foram coletadas no sertão dos cariris velhos, do Estado da Paraíba, possuindo idades que giram em torno de 10,8 anos, enquanto que as ensaiadas por PEREIRA *et al* (1976) foram colhidas no estado de Pernambuco e eram de reduzidos diâmetros uma vez que pretendia-se apenas equacionar o problema de suprimento de madeiras para cruzetas de postes. Como a quantidade de água das madeiras verdes ou recém-cortadas varia com a estação do ano e não se sabe o período em que Pereira *et al* coletou o material para seus estudos, é possível que este fator também possua alguma influência na diferença observada.

Por outro lado, dentro da própria árvore há uma variação substancial de umidade tanto da base para o topo como ao longo da direção radial. Como os corpos-de-prova no presente trabalho não foram retirados de uma mesma região da tora, condição obedecida por PEREIRA *et al* (1976) que seguia a MB-26, acredita-se que este fato, somado aos acima citados, sejam responsáveis por esta variação de umidade.

4.6.2 Compressão Paralela às Fibras

Doze ensaios de resistência à compressão paralela às fibras foram realizados para obtenção da tensão de ruptura e do módulo de elasticidade da algarobeira. O teor de umidade dos corpos-de-prova, medido conforme descrito no Capítulo 3, foi determinado com o objetivo de se ajustar as propriedades de resistência e rigidez à umidade de 12%, conforme determina a NBR 7190/97.

A Tabela 4.6 apresenta os valores individuais, a média e o coeficiente de variação (CV) do teor de umidade dos corpos de prova. Um valor médio de 19,14%, com

CV de 4,68%, foi observado e tal valor está significativamente próximo do valor obtido para o lote de madeira de algarobeira apresentado na seção 4.6.1. Esta conclusão significa que a estocagem do material em câmara úmida, a uma temperatura de $25^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ e uma umidade relativa do ar de 75%, manteve a umidade inicial do lote.

TABELA 4.6 – Teor de umidade da algarobeira – *Prosopis juliflora* (Sw) DC., para ajuste das propriedades de resistência e de rigidez na compressão paralela às fibras

Corpo de prova	Massa inicial (g)	Massa seca (g)	Umidade a base seca (%)
01	33,98	28,56	18,98
02	34,26	29,13	17,61
03	36,17	30,27	19,49
04	36,27	30,14	20,34
05	36,86	31,08	18,59
06	37,02	31,08	19,11
07	36,85	31,12	18,41
08	35,43	29,80	18,89
09	36,67	30,35	20,83
10	35,88	30,03	19,48
11	36,27	30,67	18,26
12	37,93	31,70	19,65
Média			19,14
Desvio padrão			0,896147
CV			4,682877

Os valores da carga de ruptura, resistência e rigidez (módulo de elasticidade) obtidos dos 12 ensaios de compressão paralela às fibras estão apresentados na Tabela 4.7. Observando-se os corpos-de-prova rompidos, verificou-se que 03 deles (os de número 4, 6 e 11) apresentaram ruptura próxima a uma de suas extremidades, conforme mostra a Figura 4.6, indicando que, mesmo tendo sido utilizado rótula, houve desenvolvimento de tensões friccionais entre as faces dos corpos-de-prova e os pratos da prensa.

TABELA 4.7 - Carga de ruptura, resistência à compressão e módulo de elasticidade da algarobeira – *Prosopis juliflora* (Sw) DC., obtidos nos ensaios de compressão paralela às fibras

Corpo de Prova	Carga de Ruptura (N)	Resistência à compressão (MPa)	Mód. de Elasticidade (GPa)
1	140.500	56,00	15,77
2	151.500	60,40	16,61
3	180.000	71,80	17,44
4	195.000	78,00	19,55
5	178.500	71,10	17,52
6	186.000	74,40	24,48
7	175.500	70,00	16,21
8	186.000	74,40	23,72
9	174.000	69,60	19,86
10	183.000	72,90	16,77
11	201.500	80,40	20,02
12	175.500	70,00	25,25
Valor médio	177.250	70,75	19,43

Dois outros corpos-de-prova (os de número 1 e 2) foram confeccionados com os anéis de crescimento anuais arranjados de tal forma que não possibilitaram que um dos lados dessa seção ficasse paralelo à direção radial, conforme mostra a Figura 4.7. Como este procedimento não atende a NBR 7190/97, os resultados desses ensaios não serão considerados no cálculo da resistência e rigidez à compressão paralela às fibras da algarobeira.

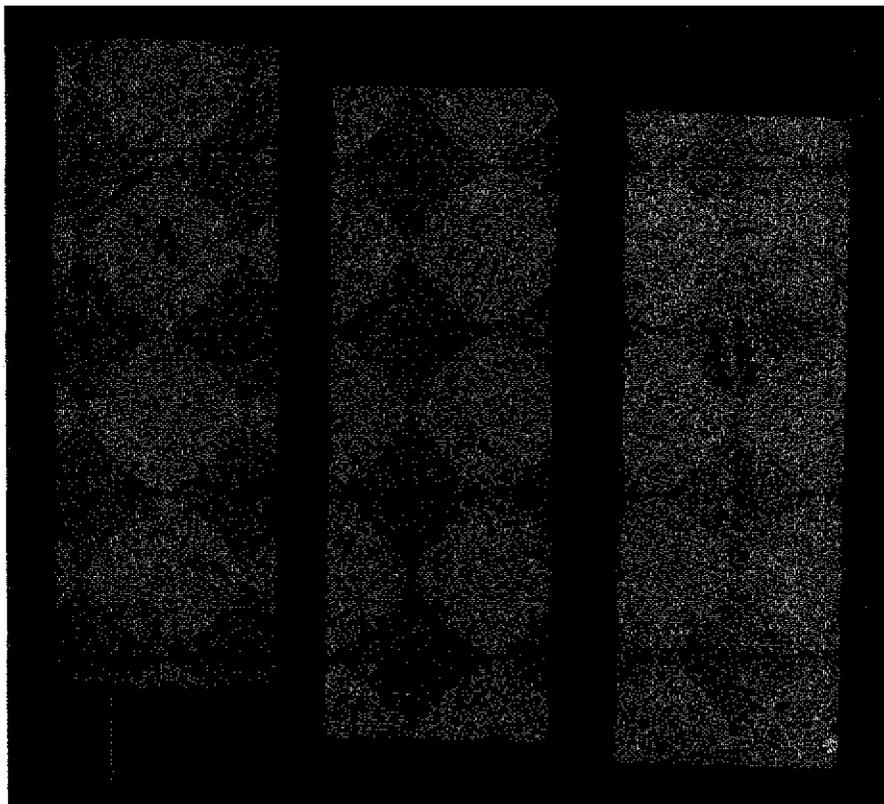


FIGURA 4.6 – Modo de ruptura dos corpos-de-prova 4, 6 e 11 indicando o desenvolvimento de tensões cisalhantes na interface prato da prensa-face do corpo-de-prova



FIGURA 4.7 – Corpos-de-prova com anéis de crescimento anuais arranjados sem que um dos lados da seção ficasse paralelo à direção radial

Uma curva tensão x deformação à compressão paralela às fibras típica obtida para a algarobeira é apresentada na Figura 4.8.

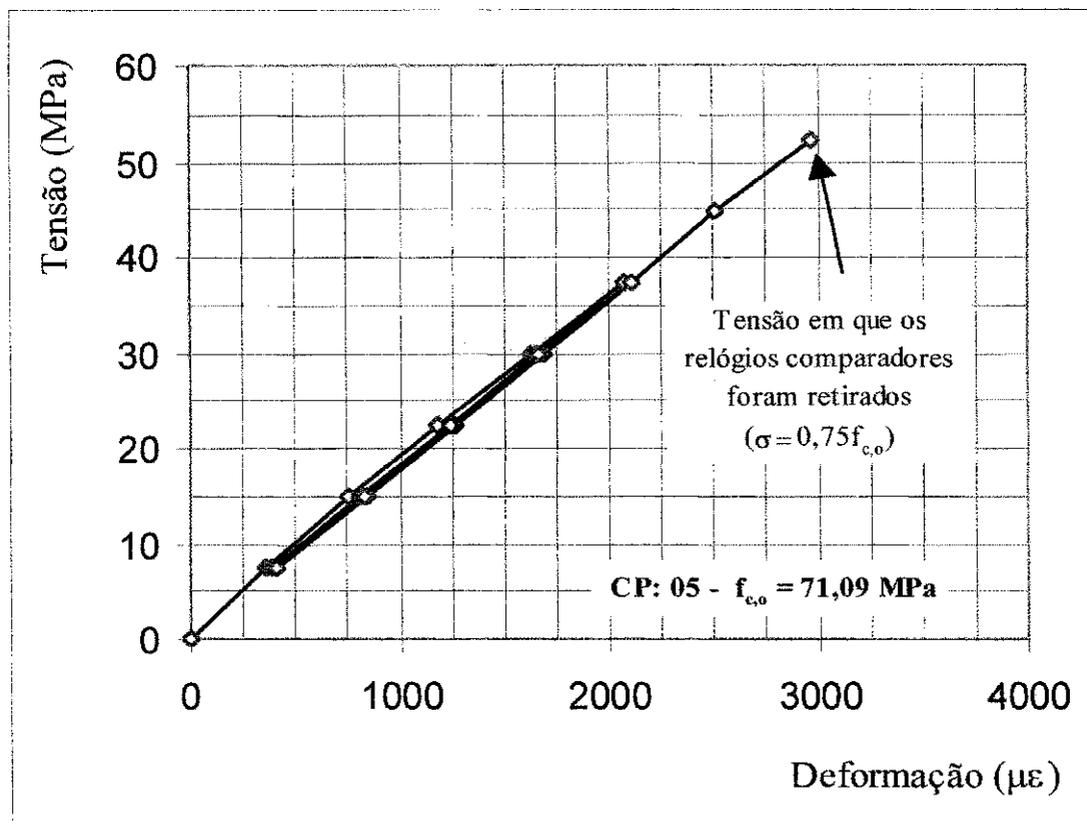


FIGURA 4.8 – Curva tensão x deformação à compressão paralela às fibras típica obtida para a algarobeira - *Prosopis juliflora* (Sw) DC.

O modo de ruptura típico observado nos ensaios de resistência à compressão paralela às fibras é mostrado na Figura 4.9. A ruptura em compressão é um processo de plastificação lento em que ocorrem mudanças estruturais progressivas na madeira. Segundo DINWOODIE (1981) embora mudanças estruturais já se manifestem a tensões tão baixas quanto 25% da tensão de ruptura ($f_{c,0}$) as mudanças mais marcantes se dão a partir de um nível de tensão de cerca de 60% de $f_{c,0}$ que marca o fim do trecho linear-elástico da curva tensão-deformação. No diagrama mostrado na Figura 4.8 observa-se o fim da linearidade entre as tensões e deformações a uma tensão de cerca de 47 MPa que corresponde a cerca de 66% da tensão de ruptura.

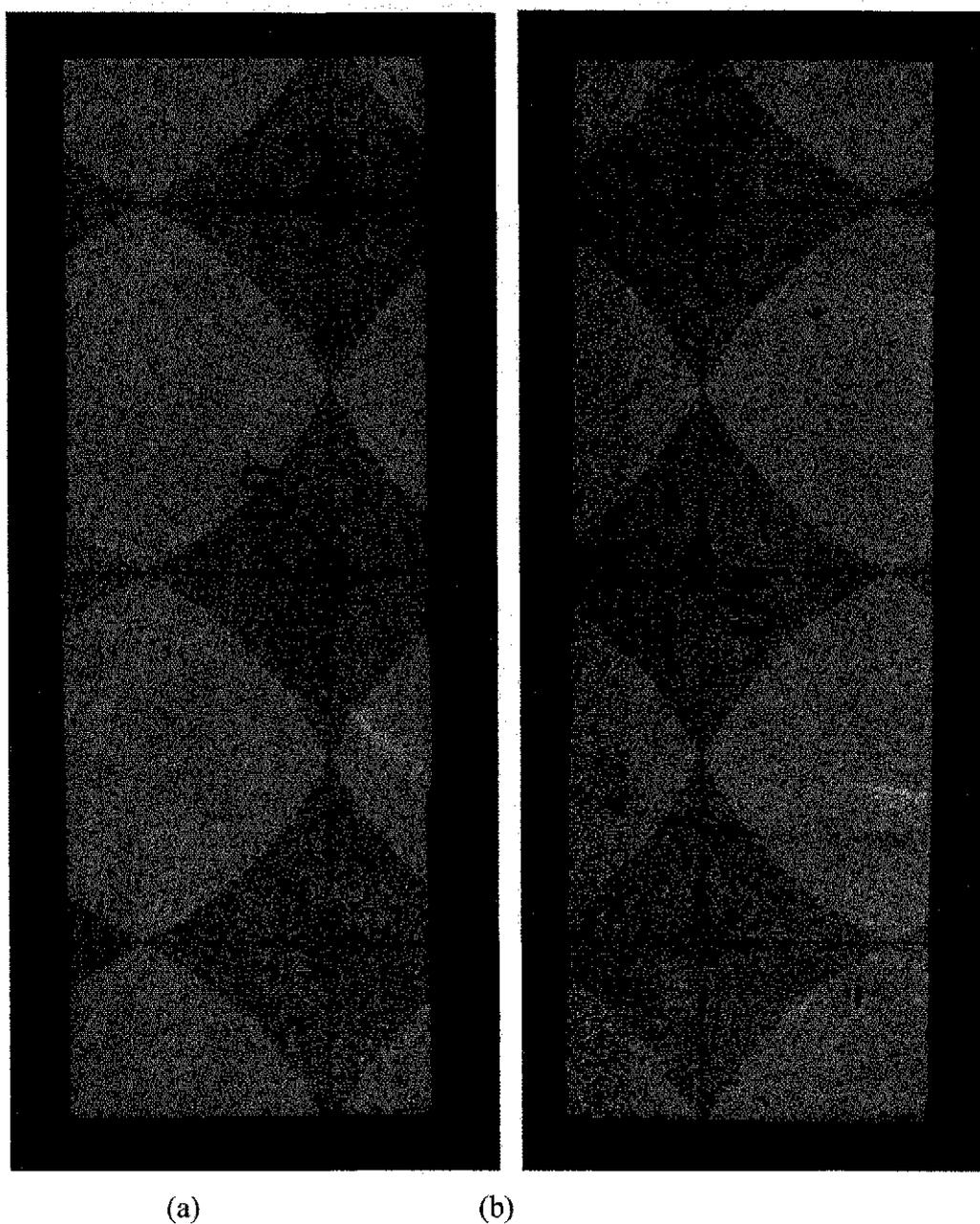


FIGURA 4.9 - Modo de ruptura típico observado nos ensaios de resistência à compressão paralela às fibras. (a) plano longitudinal-tangencial. (b) plano longitudinal-radial

Segundo DINWOODIE (1981) as deformações de compressão assumem a forma de diminutos “kinks” na estrutura micro-fibrilar da madeira, conforme mostra a Figura 4.10, conduzindo, eventualmente, a flambagem lateral das paredes das fibrocélulas. Quando as tensões e deformações aumentam, os “kinks” tornam-se proeminentes

e aumentam numericamente e, na ruptura, esse fenômeno pode ser observado a olho nu nas faces do corpo-de-prova. No plano longitudinal-radial esse fenômeno se manifesta ao longo de uma linha horizontal, enquanto que no plano longitudinal-tangencial isso se dá a um ângulo de 45-60° com o eixo vertical. Essas linhas de deformação podem ser observadas nas faces dos corpos-de-prova de compressão da algarobeira como pode-se ver nas partes (a) e (b) da Figura 4.9.

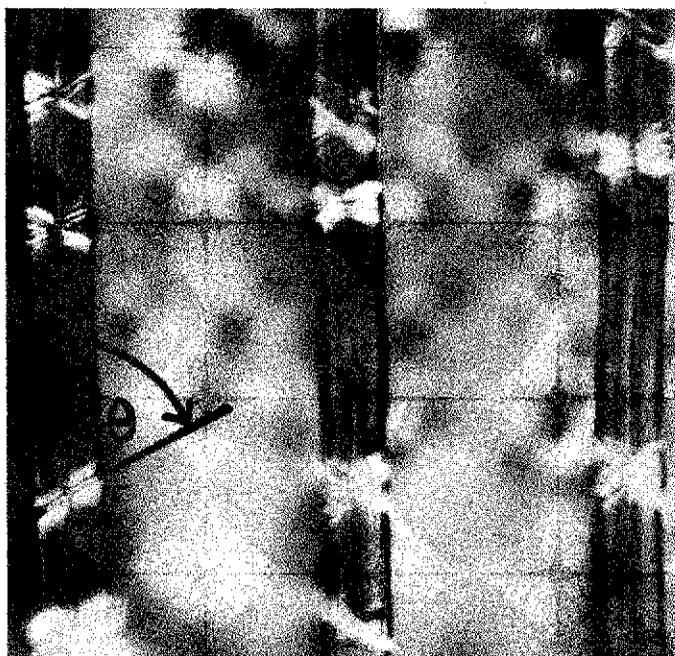


FIGURA 4.10 – Formação de “kinks” nas paredes das fibro-células da madeira durante carregamento de compressão paralelo às fibras

Fonte: DINWOODIE, J.M. 1981

4.6.2.1 Ajuste dos Valores da Resistência e da Rigidez à Compressão Paralela às Fibras, à Condição de 12% de Umidade.

Na caracterização usual das propriedades de resistência e de rigidez de um lote de madeira homogêneo, a NBR 7190/97 recomenda que os resultados dos ensaios realizados com diferentes teores de umidade, contidos no intervalo entre 10% e 20%, devam ser apresentados com os valores ajustados para a umidade padrão de 12%. Isto se dá porque considera-se que as condições ambientais onde será utilizada a madeira é da

classe de umidade 1, que corresponde a uma umidade relativa ambiente de $(U_{amb}) \leq 65\%$ e a umidade de equilíbrio da madeira (U_{eq}) de 12%. Para o referido ajuste utilizou-se as equações 2 e 3, apresentadas no Capítulo 3 e os resultados são apresentados na Tabela 4.8.

TABELA 4.8 - Resistência e rigidez à compressão paralela às fibras da algarobeira – *Prosopis juliflora* (Sw) DC., ajustados* para 12% de umidade

Corpo de Prova	Resistência à compressão paralela às fibras (MPa)	Módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras (GPa)
n ^o	f _{12%} (U=12%)	E _{12%} (U=12%)
1	-	-
2	-	-
3	87,18	19,93
4	-	-
5	86,33	20,02
6	-	-
7	84,99	18,53
8	90,34	27,10
9	84,51	22,70
10	88,51	19,17
11	-	-
12	84,99	28,85
Valor médio	86,69286	22,33
Desvio padrão	2,14231	4,10
CV (%)	2,47	18,37

*Fatores de ajuste: Para resistência = 1,2142, para rigidez = 1,1428

Nos estudos realizados por PEREIRA *et al* (1976) para a determinação da resistência à compressão paralela às fibras dessa mesma espécie xerófila, o valor médio obtido, ajustado para a umidade de 12%, foi de 93,77 MPa. Comparando-se este valor com o valor médio da resistência obtido no presente estudo verifica-se que a diferença é de apenas 8,0% mostrando-se em boa concordância.

Comparando-se os valores obtidos no presente estudo com os obtidos para as espécies madeiras Roxinho, Maçaranduba e Ipê, disponíveis no mercado de materiais de construções das principais cidades nordestinas e estudadas por AZEVEDO (1999), verifica-se que a algarobeira apresenta um valor de resistência à compressão paralela às fibras 20% maior que o obtido para o Roxinho, 37% maior que o observado para a Maçaranduba mas 15% menor que o encontrado para o Ipê.

Com relação ao módulo de elasticidade o valor obtido no presente estudo ($E_{c0} = 22,33$ GPa) indica que a algarobeira possui rigidez comparável à de madeiras de lei como o Jatobá ($E_{c0} = 23,6$ GPa), Sucupira ($E_{c0} = 21,7$ GPa) e Angelim Ferro ($E_{c0} = 20,8$ GPa) estudadas pelo LaMEM da Escola de Engenharia de São Carlos, Calil Júnior (1997).

Com relação às espécies Roxinho e Maçaranduba estudadas por AZEVEDO (1999), uma comparação dos resultados mostra que a algarobeira apresentou um valor médio de módulo de elasticidade cerca de 7-10% mais alto.

4.6.2.2 Estimativa do Valor Característico da Resistência e da Rigidez à Compressão Paralela às Fibras.

O valor característico da resistência a compressão paralela às fibras da Algarobeira – *Prosopis juliflora* (Sw) DC., foi estimado usando-se a equação 1, do capítulo 3 e obtivemos $f_{co,k} = 92,96$ MPa. Como este valor é superior ao valor médio recomendamos a utilização do valor médio para a obtenção do valor de cálculo.

A rigidez da madeira foi medida pelo valor médio do módulo de elasticidade, determinado na fase do comportamento elástico cujo valor foi $E_{wc,0} = 22,33$ GPa.

4.6.3 Compressão Normal às Fibras

Foram ensaiados 12 corpos-de-prova para a obtenção da resistência e do módulo de elasticidade à compressão normal às fibras da algarobeira. O teor de umidade dos corpos-de-prova, medidos conforme o descrito na capítulo 3, foi determinado com o objetivo de se ajustar as propriedades de resistência e rigidez à umidade padrão de 12%, conforme determina a NBR 7190/97.

A Tabela 4.9 apresenta os valores individuais, a média e o coeficiente de variação (CV) do teor de umidade dos corpos-de-prova. Foi observado um valor médio de 19,79%, com um CV de 12,37%. Embora o coeficiente de variação seja superior aos observados quando das medições da umidade do lote de algarobeiras e dos corpos de prova utilizados para o ensaio de compressão paralela às fibras, o valor médio continua significativamente próximo do valor obtido nos casos citados anteriormente. A estocagem do material em câmara úmida continua, na média, mantendo a umidade inicial do lote.

TABELA 4.9 – Teor de umidade da algarobeira – *Prosopis juliflora* (Sw) DC., para ajuste das propriedades de resistência e de rigidez na compressão normal às fibras

Corpo-de-Prova	Massa inicial (g)	Massa seca (g)	Umidade a base seca(%)
01	30,88	25,71	20,11
02	32,19	26,72	20,47
03	31,68	26,62	19,01
04	34,97	29,60	18,14
05	33,91	27,47	23,44
06	34,59	28,43	21,67
07	37,77	32,45	16,39
08	29,60	25,69	15,22
09	33,78	27,39	23,33
10	31,61	26,44	19,55
11	30,97	25,81	19,99
12	31,82	26,47	20,21
Média			19,79
Desvio padrão			2,45
CV			12,38

Os valores da resistência e rigidez (módulo de elasticidade) obtidos dos doze ensaios de compressão normal às fibras estão apresentados na Tabela 4.10.

TABELA 4.10 - Resistência e módulo de elasticidade à compressão normal às fibras da algarobeira – *Prosopis juliflora* (Sw) DC.

Corpo de prova	Resistência à compressão normal às fibras (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)
1	22,10	6,12
2	18,78	6,92
3	20,54	5,14
4	21,08	6,46
5	21,35	6,46
6	20,27	5,93
7	21,35	7,19
8	20,81	6,26
9	17,40	7,66
10	16,60	6,28
11	22,76	8,67
12	20,26	8,40
Valor médio	20,275	6,79
Desvio padrão	1,829	1,03
C.V.	9,024	15,21

4.6.3.1 Ajuste dos Valores da Resistência e Rigidez à Compressão Normal às Fibras à Condição de 12% de Umidade.

Seguindo-se o procedimento recomendado pela NBR 7190/97 ajustou-se os valores apresentados na Tabela 4.10 para a umidade padrão de 12%. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 4.11.

Como já se esperava, a orientação das fibras com relação ao carregamento aplicado exerceu uma grande influência na resistência à compressão da algarobeira. Comparando-se o valor médio da resistência à compressão normal às fibras (f_{c90}) com o valor médio obtido nos ensaios de compressão paralela às fibras (f_{c0}) observa-se que o primeiro corresponde a cerca de 29% do segundo. Isso acontece porque estando as cargas sendo aplicadas perpendicularmente às fibro-células, as mesmas se achatam ou entram em colapso. Esse processo leva, em geral, a deformações bem maiores que as observadas no ensaio de compressão paralela às fibras. Segundo YOUNG *et al* (1998) o nível de tensão na qual as fibro-células iniciam seu achatamento mais acentuado, ou mesmo o seu colapso, está na faixa de 3-10 MPa.

TABELA 4.11 - Resumo dos valores da resistência e módulo de elasticidade à compressão normal às fibras ajustados* para 12% de umidade

Corpo de Prova	Resistência à compressão normal às fibras (MPa)	Módulo de elasticidade à compressão normal às fibras (GPa)
	$f_{12\%}(U=12\%)$	$E_{12\%}(U=12\%)$
1	27,26	7,07
2	23,17	7,99
3	25,34	5,94
4	26,00	7,46
5	26,34	7,47
6	25,01	6,85
7	26,34	8,31
8	25,67	7,23
9	21,47	8,86
10	20,48	7,25
11	28,08	10,03
12	24,99	9,71
Valor médio	25,01	7,85
D.Padrão	2,26	1,19
CV	9,02	15,21

Fatores de correção: Para resistência = 1,2337; para Módulo de elasticidade = 1,1558

A Figura 4.11 mostra uma curva típica do ensaio de resistência à compressão normal às fibras para a Algarobeira. É importante ressaltar que de acordo com a recomendação da NBR 7190/97 para preparação dos corpos-de-prova, a aplicação das cargas se deu no plano longitudinal-radial fazendo com que a ruptura ocorresse pelo descolamento dos anéis anuais de crescimento, conforme pode se ver na Figura 4.12.

Observando-se a curva tensão-deformação nota-se que o trecho linear-elástico estende-se até cerca de 10 MPa quando uma acentuada não linearidade começa a ser observada. Esse nível de tensão corresponde ao fenômeno de achatamento das fibro-células descrito por YOUNG *et al.* Com base em todas as curvas tensão-deformação obtidas para a Algarobeira, este fenômeno ocorre para tensões na faixa de 7-12 MPa. Deformações plásticas começam a ser observadas a partir desse nível de tensão. No caso da curva tensão-deformação apresentada na Figura 4.11 uma deformação plástica acentuada pode ser observada quando do primeiro descarregamento dos ciclo de carga-descarga realizado a uma tensão de cerca de 16,5 MPa. Se a tensão tivesse sido reduzida até zero uma deformação residual de cerca de $2000\mu\epsilon$ seria observada (resultado obtido prolongando-se o ramo de descarregamento até o mesmo cortar o eixo das abcissas).

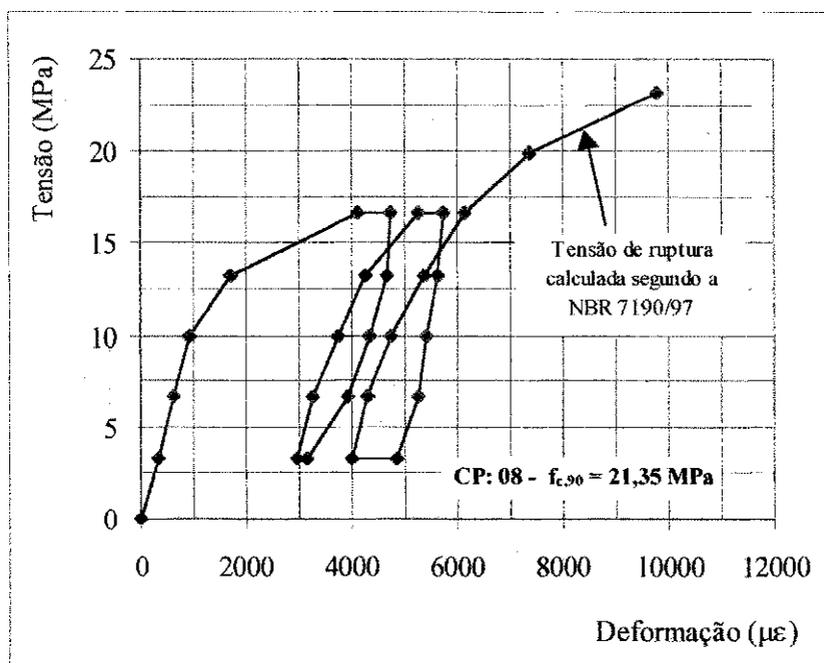


FIGURA 4.11 – Curva tensão-deformação à compressão normal às fibras típica obtida para a algarobeira – *Prosopis juliflora* (Sw) DC.

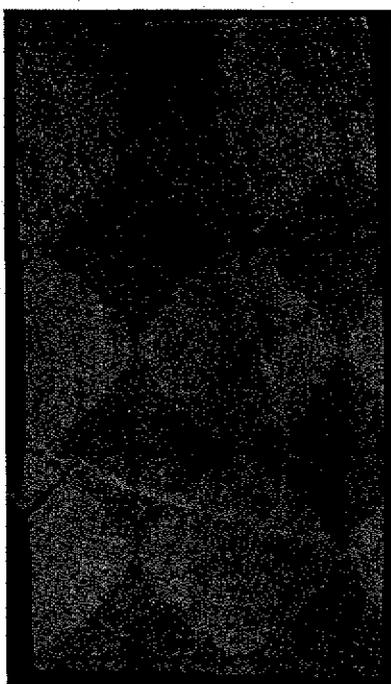


FIGURA 4.12 – Modo de ruptura típico nos ensaios de resistência à compressão normal às fibras

O grau de anisotropia manifestado pela algarobeira, na compressão, pode ser medido dividindo-se f_{c0} por f_{c90} . No presente estudo este valor foi de 3,46. Valores

para esta relação variando de 5,8 a 7,2 foram apresentados por DINWOODIE (1981) para a madeira chamada "Douglas fir" com teores de umidade variando de 25% a 12%.

A rigidez da algarobeira à compressão normal foi medida pelo valor médio do módulo de elasticidade, determinado na fase do comportamento linear-elástico, cujo valor médio foi de $E_{wc,90} = 7,85$ GPa. Dividindo-se o valor obtido na compressão paralela às fibras pelo valor acima, observa-se que uma relação $E_{wc,0}/E_{wc,90} = 2,8$. Este valor é bem inferior a relação recomendada pela NBR 7190/97 que, na ausência de determinação experimental, sugere $E_{wc,0}/E_{wc,90} = 20$.

4.6.3.2. Estimativa do Valor Característico da Resistência e da Rigidez à Compressão Normal às Fibras.

O valor característico da resistência à compressão normal às fibras da algarobeira – *Prosopis juliflora* (Sw) DC. foi estimado pela equação 1, apresentada no Capítulo 3. O valor característico de resistência obtido foi de $f_{c,90,k} = 22,78$ MPa.

O valor da Rigidez da madeira foi medido pelo valor médio do módulo de elasticidade, determinado na fase do comportamento elástico e cujo valor foi de $E_{c,90} = 7,85$ GPa.

4.6.4 Tração Paralela às Fibras

Foram ensaiados 12 corpos-de-prova para a obtenção da resistência e do módulo de elasticidade à tração paralela às fibras da algarobeira. O teor de umidade dos corpos-de-prova, medidos conforme o descrito na capítulo 3, foi determinado com o objetivo de se ajustar as propriedades de resistência e rigidez à umidade padrão de 12%, conforme determina a NBR 7190/97.

A Tabela 4.12 apresenta os valores individuais, a média e o coeficiente de variação (CV) do teor de umidade dos corpos-de-prova. Foi observado um valor médio de 19,79%, com um CV de 12,37%. Embora o coeficiente de variação seja superior aos

observados quando das medições da umidade do lote de algarobeiras, o valor médio continua significativamente próximo do valor obtido nos casos citados anteriormente. A estocagem do material em câmara úmida continua, na média, mantendo a umidade inicial do lote.

TABELA 4.12 – Teor de umidade da algarobeira – *Prosopis juliflora* (Sw) DC., para ajuste das propriedades de resistência e de rigidez na compressão normal às fibras

Corpo-de-Prova	Massa inicial (g)	Massa seca (g)	Umidade a base seca(%)
01	30,88	25,71	20,11
02	32,19	26,72	20,47
03	31,68	26,62	19,01
04	34,97	29,60	18,14
05	33,91	27,47	23,44
06	34,59	28,43	21,67
07	37,77	32,45	16,39
08	29,60	25,69	15,22
09	33,78	27,39	23,33
10	31,61	26,44	19,55
11	30,97	25,81	19,99
12	31,82	26,47	20,21
Média			19,79
Desvio padrão			2,45
CV			12,38

4.6.4.1 Valores Determinados da Resistência e Rigidez na Tração Paralela às Fibras.

Os valores da resistência e rigidez (módulo de elasticidade) obtidos dos doze ensaios de resistência à tração paralela às fibras estão apresentados na Tabela 4.13.

TABELA 4.13 - Resistência e módulo de elasticidade à tração paralela às fibras da algarobeira – *Prosopis juliflora* (Sw) DC.

Corpo de prova	Resistência à tração paralela às fibras (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)
1	131,73	18,69
2	125,14	14,19
3	129,59	17,29
4	109,58	17,72
5	115,08	18,92
6	106,06	19,18
7	126,20	20,57
8	117,00	19,27
9	107,42	19,07
10	114,27	22,27
11	110,51	20,74
12	135,01	19,50
Valor médio	118,97	18,95
Desvio padrão	12,47	2,61
CV (%)	8,50	11,67

4.6.4.2 Ajuste dos Valores da Resistência e Rigidez à Tração Paralela às Fibras, à Condição de 12% de Umidade.

Seguindo-se o procedimento recomendado pela NBR 7190/97 ajustou-se os valores apresentados na Tabela 4.13 para a umidade padrão de 12%. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 4.14.

TABELA 4.14 - Resumo dos valores da resistência e módulo de elasticidade à tração paralela às fibras ajustados* para 12% de umidade

Corpo de Prova	Resistência à tração paralela às fibras (MPa)	Módulo de Elasticidade à tração paralela às fibras (GPa)
	$f_{12\%}(U=12\%)$	$E_{12\%}(U=12\%)$
1	162,51	21,60
2	154,38	16,400
3	159,87	19,98
4	135,19	20,49
5	141,97	21,87
6	130,85	22,17
7	155,69	23,77
8	144,34	22,28
9	132,52	22,05
10	140,97	25,73
11	136,34	23,97
12	166,56	22,54
Valor médio	146,77	20,62
Desvio padrão	12,47	2,61
CV (%)	8,50	11,74

Fatores de correção: Para resistência = 1,2337; para Módulo de elasticidade = 1,1558

Dos resultados apresentados, observa-se que a resistência à tração paralela às fibras da algarobeira é de 146,77 MPa sendo comparável à das espécies madeiras mais nobres estudadas pelo LaMEM da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) conforme pode ser notado a partir dos dados apresentados na Tabela 4.15. A resistência da algarobeira só é superada pela do Jatobá e do E. Paniculata e mesmo assim por um valor inferior a 7,5%.

TABELA 4.15 – Valores da resistência à tração paralela às fibras da algarobeira - *Prosopis juliflora* (Sw) DC., evidenciados no presente estudo e de outras madeiras estudadas no LaMEM – CALIL JUNIOR (1997)

Nome Vulgar	Nome Científico	$f_{w,0}$ (MPa)
Jatobá	<i>Hymenaea spp</i>	157,50
E. Paniculata	<i>Eucalyptus paniculata</i>	147,40
Algarobeira	<i>Prosopis juliflora</i> (Sw) DC.	146,77 *
Maçaranduba	<i>Manilkara sp</i>	138,50
Champagne	<i>Dipterys odorata</i>	133,50
Sucupira	<i>Diplotripsis sp</i>	123,40

* Valor obtido no presente estudo

A Figura 4.13 mostra uma curva típica do ensaio de resistência à tração paralela às fibras para a algarobeira. O modo de ruptura pode ser observado na Figura 4.14.

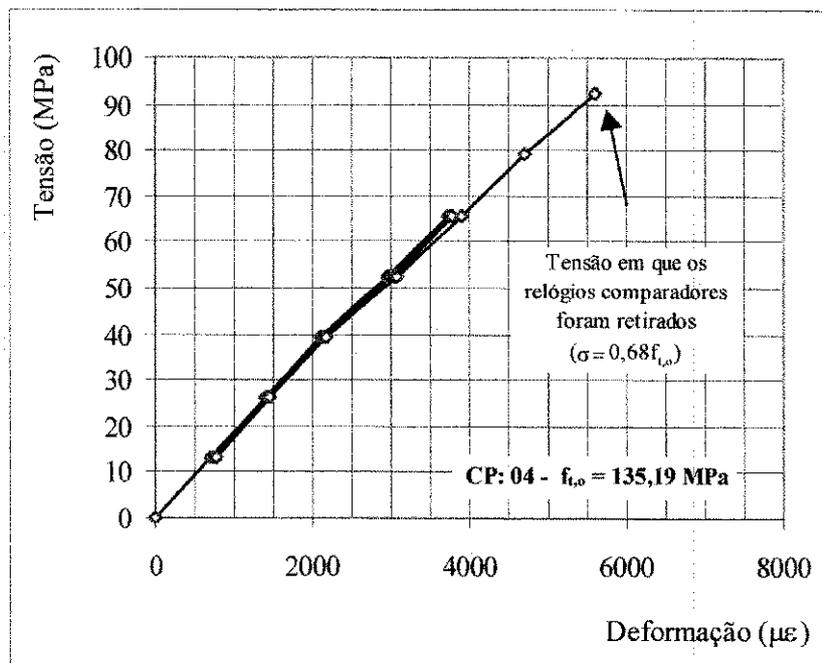


FIGURA 4.13 – Curva tensão-deformação à tração paralela às fibras típica obtida para a algarobeira – *Prosopis juliflora* (Sw) DC.

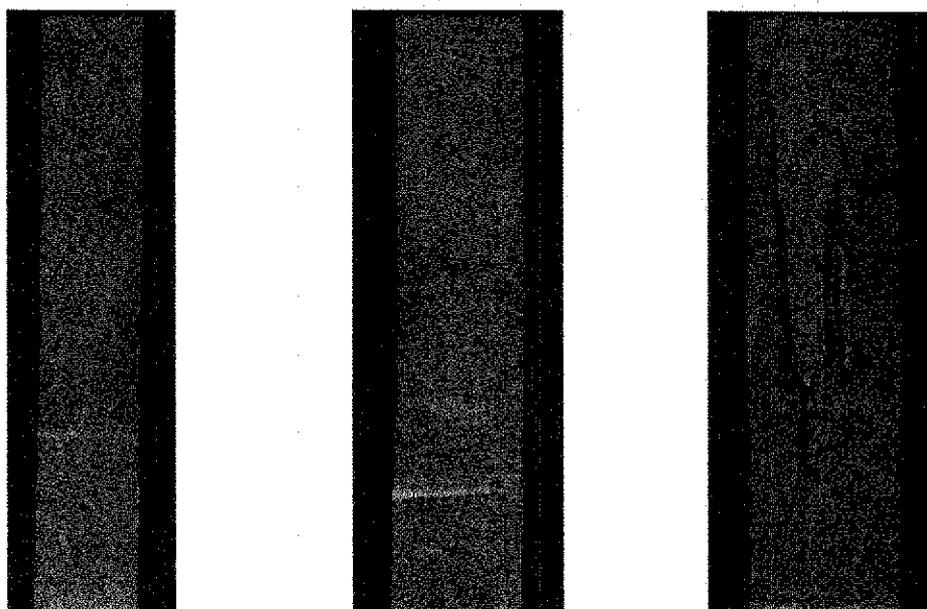


FIGURA 4.14 - Modo de ruptura observado nos ensaios de resistência à tração paralela às fibras para a algarobeira – *Prosopis juliflora* (Sw) DC.

A resistência à tração paralela às fibras da algarobeira é cerca de 70% maior que a observada no ensaio de compressão. Realizando-se o mesmo cálculo para as espécies

Jatobá e Maçaranduba realizado no LaMEM, CALIL (1997) obteve-se relações de, respectivamente, 1,69 e 1,67 que estão bastante próximas da relação obtida no presente estudo. Esse comportamento pode ser explicado em termos da micro-estrutura da madeira considerando-se que as tensões de tração atuantes tendem a estirar as fibrilas da fibro-células ao invés de comprimi-las como ocorre no ensaio de compressão. Segundo YOUNG *et al* (1998) a ruptura na tração parece ocorrer na parede secundária da fibro-célula, ruptura da camada S_1 ou cisalhamento entre as camadas S_1 e S_2 . De qualquer forma, a ruptura em tração paralela às fibras envolve a ruptura de ligações primárias fortes.

Observando a Figura 4.14, nota-se que as rupturas ocorreram no trecho central dos corpos-de-prova. Isto ocorre porque a seção transversal do corpo-de-prova no seu trecho central, de comprimento não menor do que $8\sqrt{A}$, é inferior à seção transversal das extremidades que são, portanto, mais resistentes.

A rigidez da algarobeira na tração paralela às fibras foi medida pelo valor médio do módulo de elasticidade, determinado na fase do comportamento linear-elástico, cujo valor médio foi de $E_{wt,0} = 20,62$ GPa com um CV da ordem de 11,74%. Comparando-se este valor com o obtido no ensaio de compressão paralela às fibras observa-se que a diferença entre os mesmos é de cerca de 9% o que demonstra uma boa concordância. É importante ressaltar que o CV observado no ensaio de compressão paralela foi de 18,37%. A Figura 4.15 mostra as curvas tensão-deformação típicas para a algarobeira carregadas em tração e compressão paralelas às fibras plotadas no mesmo gráfico e pode-se notar que as duas curvas praticamente coincidem no trecho linear-elástico.

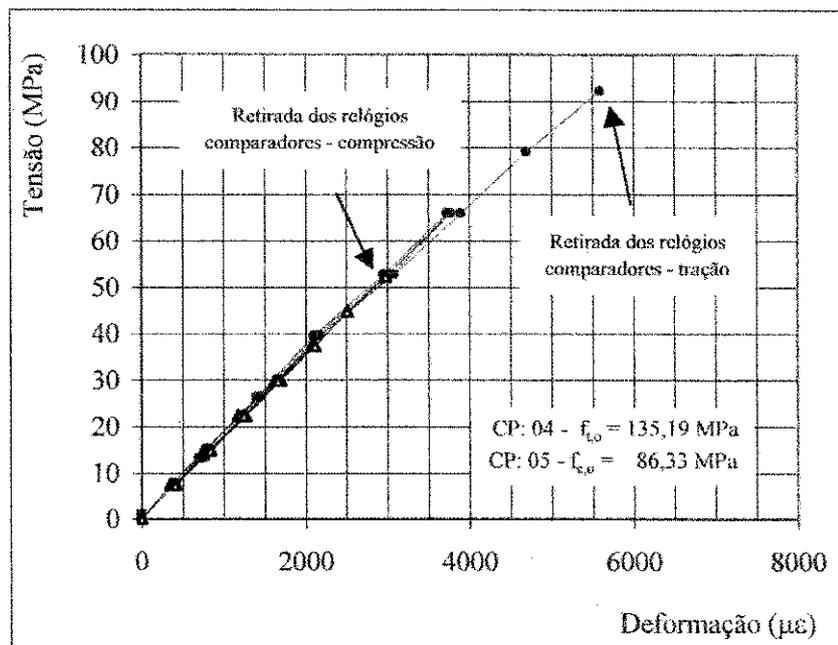


FIGURA 4.15 – Curvas tensão-deformação típicas para a algarobeira *Prosopis juliflora* (Sw) DC., carregadas em tração e compressão paralelas às fibras

4.6.4.3 Estimativa do Valor Característico da Resistência e Rigidez à Tração Paralela às Fibras.

O valor característico da resistência à tração paralela às fibras da algarobeira – *Prosopis juliflora* (Sw) DC. foi estimado pela equação 1, apresentada no Capítulo 3. O valor característico de resistência obtido foi de $f_{t0,k} = 141,00$ MPa.

O valor da rigidez foi medido pelo módulo de elasticidade determinado na fase do comportamento elástico, cujo valor foi de $E_{t0} = 20,62$ GPa.

4.6.5 Tração Normal às Fibras

Foram ensaiados 12 corpos-de-prova para a obtenção da resistência e do módulo de elasticidade à tração normal às fibras da algarobeira. O teor de umidade dos corpos-de-prova, medidos conforme o descrito na capítulo 3, foi determinado com o objetivo de se ajustar o valor da resistência à umidade padrão de 12%, conforme determina a NBR 7190/97.

A Tabela 4.16 apresenta os valores individuais, a média e o coeficiente de variação (CV) do teor de umidade dos corpos-de-prova. Foi observado um valor médio de 20,32%, com um CV de 16,58%. Embora o coeficiente de variação seja superior aos observados quando das medições da umidade do lote de algarobeiras, o valor médio continua significativamente próximo do valor obtido nos casos citados anteriormente. A estocagem do material em câmara úmida continua, na média, mantendo a umidade inicial do lote (diferença inferior a 2%).

TABELA 4.16 – Teor de umidade da algarobeira – *Prosopis juliflora* (Sw) DC., para ajuste das propriedades de resistência e de rigidez na compressão normal às fibras

Corpo-de-Prova	Massa inicial (g)	Massa seca (g)	Umidade a base seca(%)
01	30,66	26,41	16,09
02	33,20	26,64	24,63
03	35,99	30,80	16,85
04	31,54	26,59	18,62
05	33,25	26,61	24,95
06	33,13	27,12	22,16
07	33,97	27,40	23,98
08	33,45	27,23	22,84
09	32,24	27,25	18,31
10	37,61	32,41	16,04
11	30,51	25,13	21,41
12	32,12	27,23	17,99
Média			20,32
Desvio padrão			3,37
CV			16,58

4.6.5.1 Ajuste dos Valores da Resistência à Tração Normal às Fibras, a Condição de 12% de umidade.

Os valores de resistência obtidos dos doze ensaios de tração normal às fibras estão apresentados na Tabela 4.17. Seguindo-se o procedimento recomendado pela NBR 7190/97 ajustou-se esses valores para a umidade padrão de 12% e os resultados obtidos são apresentados na mesma Tabela.

TABELA 4.17 - Valores da carga de ruptura, da área inicial da seção transversal tracionada e da resistência à tração normal às fibras da algarobeira – *Prosopis juliflora* (Sw) DC., na umidade de 23,32% e ajustada* para umidade de 12%

Corpo de prova	Carga normal máxima (N)	Área inicial (cm ²)	f _{t90,0%} (U = 20,32%) (MPa)	f _{t90,12%} (U = 12 %) (MPa)
1	8200	12,54	6,54	8,17
2	8200	12,54	6,54	8,17
3	8800	12,52	7,03	8,78
4	8200	12,51	6,55	8,18
5	11800	12,53	9,42	11,77
6	10800	12,52	8,63	10,78
7	9800	12,52	7,83	9,78
8	8000	12,52	6,39	7,98
9	11100	12,54	8,85	11,06
10	8800	12,54	7,02	8,77
11	8300	12,53	6,62	8,27
12	8800	12,53	7,02	8,77
Valor médio			7,37	9,21
Desvio padrão			1,05	1,31
CV (%)			14,25	14,25

Fator de correção = 1,2496

Da Tabela 4.17 observa-se que o valor médio da resistência à tração normal às fibras da algarobeira é de 9,21 MPa, com um CV de 14,25%. Nos estudos realizados por PEREIRA et al (1979) para a determinação da resistência à tração normal às fibras dessa mesma espécie arbórea algarobeira o valor médio obtido foi de 12,80 MPa. Comparando-se este valor com o valor médio obtido no presente estudo verifica-se que ele é 28,0% mais alto. Essa diferença é bem superior à observada nos estudos da resistência à compressão paralela às fibras que foi de 8% (ver seção 4.6.2). Uma possível razão é a alta dispersão observada nos resultados obtidos por Pereira et al, que obteve valores variando de 6,67 MPa a 20,76 MPa. A diferença entre o valor máximo e mínimo do estudo de Pereira et al, fica em torno de 14,09 MPa enquanto que no presente estudo essa diferença fica em torno de 3,79 MPa.

Comparando o valor médio da resistência à tração normal às fibras da algarobeira – *Prosopis juliflora* (Sw) DC. com os obtidos para as espécies madeiras estudadas pelo LaMEM da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) que possuem resistência à tração paralela às fibras comparável com a da algarobeira, caso das espécies

Jatobá, E. Paniculata, Maçaranduba, Champagne e Sucupira, concluímos que essa essência arborea apresenta valor médio superior a das madeiras ensaiadas pelo LaMEM, conforme pode ser observado na Tabela 4.18. É importante ressaltar que valores apresentados por PFEIL (1980) para o Jatobá e Sucupira no estado verde foram de, respectivamente, 13,5 MPa e 9,0 MPa que são comparáveis aos resultados obtidos no presente estudo e, portanto, bastante superiores aos resultados obtidos no LaMEM.

TABELA 4.18 – Valores da resistência à tração normal às fibras da algarobeira - *Prosopis juliflora* (Sw) DC. e de outras madeiras estudadas no LaMEM, CALIL JUNIOR (1997)

Nome Vulgar	Nome Científico	$f_{wt,90}$ (MPa)
Algarobeira	<i>Prosopis juliflora</i> (Sw) DC.	9,21*
Jatobá	<i>Hymenaea spp</i>	3,2
E. Paniculata	<i>Eucalyptus paniculata</i>	4,7
Maçaranduba	<i>Manilkara sp</i>	5,4
Champagne	<i>Dipterys odorata</i>	2,9
Sucupira	<i>Diplotripis sp</i>	3,4

* Valor obtido no presente estudo

Como já se havia observado no caso da resistência à compressão, a orientação das fibras com relação ao carregamento aplicado exerceu uma grande influência na resistência à tração da algarobeira. Comparando-se o valor médio da resistência à tração normal às fibras (f_{t90}) com o valor médio obtido nos ensaios de compressão paralela às fibras (f_0) observa-se que o primeiro corresponde a cerca de 6,3% do segundo. O grau de anisotropia ($f_0/f_{t90} = 15,9$) manifestado pela algarobeira é, portanto, mais significativo na tração que na compressão. Anisotropia na resistência é devido, em parte, à natureza celular da madeira e, em parte, devido a estrutura e orientação das micro-fibrilas nas paredes da fibro-célula. A ligação na direção das micro-fibrilas é covalente enquanto que entre micro-fibrilas é por ponte de hidrogênio. Como a maioria das micro-fibrilas são alinhadas a um pequeno ângulo com o eixo longitudinal das fibras, será mais fácil provocar a ruptura se a carga for aplicada perpendicularmente ao eixo das fibras do que paralelamente, isto é, a ruptura por carregamento perpendicular às micro-fibrilas envolve, principalmente, a ruptura das ligações secundárias mais fracas. A Figura 4.16 mostra o modo de ruptura que se dá na seção crítica, ou seja, no trecho central de seção transversal inferior as extremidades que são, portanto mais resistentes.

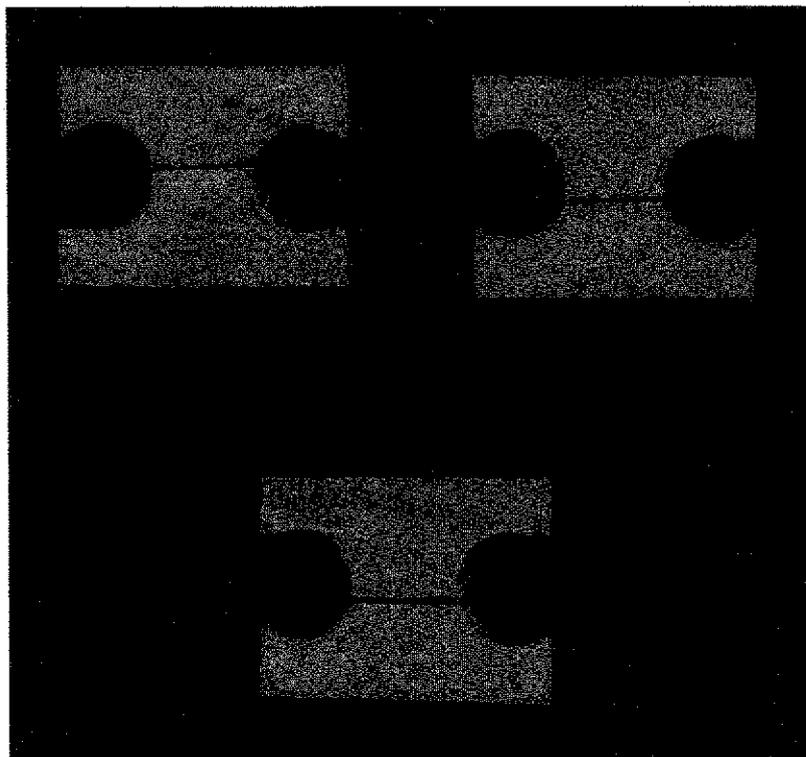


FIGURA 4.16 – Modo de ruptura observado nos ensaios de resistência à tração normal às fibras

4.6.5.2 Estimativa do Valor Característico da Resistência à Tração Normal às Fibras.

O valor característico da resistência à tração normal às fibras da algarobeira – *Prosopis juliflora* (Sw) DC. foi estimado pela equação 1, apresentada no Capítulo 3. O valor característico de resistência obtido foi de $f_{c90,k} = 8,29$ MPa.

4.6.6 Cisalhamento Paralelo às Fibras

Foram ensaiados 12 corpos-de-prova para a obtenção da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras da algarobeira. O teor de umidade dos corpos-de-prova, medidos conforme o descrito na capítulo 3, foi determinado com o objetivo de se ajustar o valor da resistência à umidade padrão de 12%, conforme determina a NBR 7190/97.

A Tabela 4.19 apresenta os valores individuais, a média e o coeficiente de variação (CV) do teor de umidade dos corpos-de-prova. Foi observado um valor médio de 19,56%, com um CV de 14,53%. Embora o coeficiente de variação seja superior aos observados quando das medições da umidade do lote de algarobeiras, o valor médio continua significativamente próximo do valor obtido nos casos citados anteriormente. A estocagem do material em câmara úmida continua, na média, mantendo a umidade inicial do lote (diferença de 2%).

TABELA 4.19 – Teor de umidade da algarobeira – *Prosopis juliflora* (Sw) DC., para ajuste das propriedades de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras.

Corpo-de-Prova	Massa inicial (g)	Massa seca (g)	Umidade a base seca(%)
01	29,66	25,48	16,40
02	34,10	27,64	23,37
03	36,99	31,80	16,32
04	32,54	27,59	17,94
05	34,12	27,77	22,87
06	34,33	28,66	19,78
07	34,97	28,40	23,13
08	34,21	28,41	20,41
09	33,39	27,23	22,62
10	38,49	33,10	16,28
11	31,61	26,68	18,48
12	33,31	28,42	17,21
Média			19,56
Desvio padrão			2,82
CV			14,53

Os valores de resistência obtidos dos doze ensaios de cisalhamento paralelo às fibras estão apresentados na Tabela 4.20. Seguindo-se o procedimento recomendado pela NBR 7190/97 ajustou-se esses valores para a umidade padrão de 12% e os resultados obtidos são apresentados na mesma Tabela.

4.6.6.1 Ajuste dos Valores da Resistência ao Cisalhamento Paralelo às Fibras, à 12% de Umidade

TABELA 4.20 - Valores da carga de cisalhamento máxima, da área inicial da seção crítica e da resistência cisalhamento paralelo às fibras da algarobeira – *Prosopis juliflora* (Sw) DC., na umidade de 19,56% e ajustada* para umidade de 12%

Corpo de prova	Carga de cisalhamento máxima (N)	Área inicial (cm ²)	F _{v0,U%} (U = 19,56%) (MPa)	F _{v0,12%} (U = 12 %) (MPa)
1	58500	25,03	23,37	28,67
2	57500	25,02	22,98	28,19
3	49500	25,02	19,78	24,27
4	57000	25,00	22,80	27,97
5	39500	25,00	15,80	19,38
6	51000	25,03	20,37	24,99
7	59250	25,02	23,68	29,05
8	50250	25,02	20,08	24,63
9	40500	25,02	16,19	19,86
10	54750	25,01	21,89	26,85
11	59250	25,03	23,67	29,04
12	53250	25,02	21,28	26,11
Valor médio			20,99	25,75
Desvio padrão				3,19
CV (%)				12,37

Fator de correção = 1,268

Da Tabela 4.20 observa-se que o valor médio da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras da algarobeira é de 25,75 MPa, com um CV de 12,37%. Nos estudos realizados por PEREIRA et al (1979) para a determinação da resistência à ao cisalhamento paralelo às fibras dessa mesma espécie arbórea algarobeira o valor médio obtido foi de 24,99 MPa. Comparando-se este valor com o valor médio obtido no presente estudo verifica-se uma diferença de apenas 3,0% nos resultados.

Comparando o valor médio da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras obtidos no presente estudo com os obtidos para as espécies madeiras Jatobá, E. Paniculata, Maçaranduba, Champagne e Sucupira estudadas pelo LaMEM da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), nota-se que essa espécie arbórea apresenta valor superior às tradicionais e conhecidas madeiras utilizadas nas construções, conforme mostra os valores apresentados na Tabela 4.21.

TABELA 4.21 – Valores da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras da algarobeira *Prosopis juliflora* (Sw) DC., e de outras madeiras estudadas no LaMEM (Calil Junior, 1997)

Nome Vulgar	Nome Científico	$f_{wt,90}$ (MPa)
Algarobeira	<i>Prosopis juliflora</i> (Sw) DC.	25,75 *
Jatobá	<i>Hymenaea spp</i>	15,70
E. Paniculata	<i>Eucalyptus paniculata</i>	12,40
Maçaranduba	<i>Manilkara sp</i>	14,90
Champagne	<i>Dipterys odorata</i>	10,70
Sucupira	<i>Diplotripis sp</i>	11,80

* Valor obtido no presente estudo

A Figura 4.17 mostra o modo de ruptura observado nos ensaios de cisalhamento paralelo às fibras. O cisalhamento paralelo às fibras envolve o deslizamento relativo das micro-fibrilas paralela ao seus eixos, exigindo a ruptura, principalmente, de ligações secundárias.

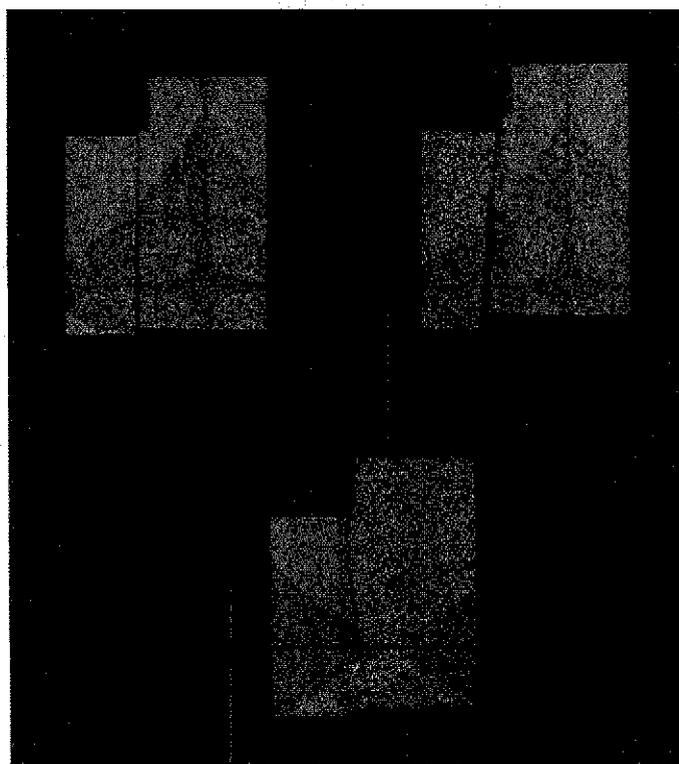


FIGURA 4.17 – Modo de ruptura observado nos ensaios de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras

4.6.6.2 Estimativa do Valor Característico da Resistência ao Cisalhamento Paralelo às Fibras.

O valor característico da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras da algarobeira – *Prosopis juliflora* (Sw) DC. foi estimado pela equação 1, apresentada no Capítulo 3. O valor característico de resistência obtido foi de $f_{c90,k} = 21,06$ MPa.

4.6.7 Embutimento Paralelo e Normal às Fibras

Foram ensaiados 12 corpos-de-prova para a obtenção da resistência ao embutimento paralelo às fibras e 12 corpos-de-prova para a obtenção da resistência ao embutimento normal às fibras da algarobeira. O teor de umidade dos corpos-de-prova, medidos conforme o descrito na capítulo 3, foi determinado com o objetivo de se ajustar o valor da resistência à umidade padrão de 12%, conforme determina a NBR 7190/97.

A Tabela 4.22 apresenta os valores individuais, a média e o coeficiente de variação (CV) do teor de umidade dos corpos-de-prova. Foi observado um valor médio de 20,03%, com um CV de 10,43%. A estocagem do material em câmara úmida continua, na média, mantendo a umidade inicial do lote (diferença inferior a 0,4%).

TABELA 4.22 – Teor de umidade da algarobeira – *Prosopis juliflora* (Sw) DC., para ajuste das propriedades de resistência ao embutimento paralelo e normal às fibras

Corpo-de-Prova	Massa inicial (g)	Massa seca (g)	Umidade a base seca(%)
01	36,24	30,57	18,55
02	35,00	29,65	18,04
03	35,53	28,90	22,94
04	35,02	29,03	20,63
05	34,38	28,00	22,78
06	38,27	32,89	16,36
07	34,31	28,33	21,11
08	36,75	30,77	19,43
09	34,85	28,44	22,54
10	36,74	31,13	18,02
11	34,83	29,10	19,69
12	34,88	29,00	20,28
Média			20,03
Desvio padrão			2,09
CV			10,43

4.6.7.1 Ajuste dos Valores da Resistência de Embutimento Paralelo e Normal às Fibras, à Condição de 12% de Umidade.

Os valores de resistência ao embutimento normal e paralelo às fibras estão apresentados na Tabela 4.23. Seguindo-se o procedimento recomendado pela NBR 7190/97 ajustou-se esses valores para a umidade padrão de 12% e os resultados obtidos são apresentados na mesma Tabela.

TABELA 4.23 - Valores da resistência de embutimento paralelo e normal às fibras da algarobeira – *Prosopis juliflora* (Sw) DC., na umidade de 20,03% e ajustada* para umidade de 12%

Corpo de prova	$f_{e0,U\%}$ (U = 20,03%) (MPa)	$f_{e0,12\%}$ (U = 12 %) (MPa)	$f_{e90,U\%}$ (U = 20,03%) (MPa)	$f_{e90,12\%}$ (U = 12 %) (MPa)
1	58,57	72,68	81,30	100,89
2	59,61	73,98	80,91	100,41
3	59,23	73,50	80,91	100,41
4	58,46	72,55	80,91	100,41
5	59,91	74,35	81,00	100,52
6	59,23	73,50	81,20	100,77
7	59,61	73,98	82,00	101,76
8	58,85	73,03	81,23	100,81
9	59,23	73,50	80,00	99,28
10	59,23	73,50	80,90	100,40
11	58,85	73,03	79,50	98,66
12	59,61	73,98	81,43	101,05
Valor médio	59,20	73,46	80,94	100,44
Desvio padrão		0,56		0,80
CV (%)		0,76		0,80

Fator de correção = 1,241

Da Tabela 4.23 observa-se que o valor médio da resistência ao embutimento paralelo e normal às fibras foram, respectivamente 80,94 MPa e 100,44 MPa com valores de coeficiente de variação inferiores a 1%. Os ensaios de embutimento foram os que maior harmonia de valores apresentou entre os ensaios realizados para caracterizar a algarobeira.

Comparando-se os valores da resistência ao embutimento com o valor da resistência à compressão simples da algarobeira, nota-se que $f_{e90} = 1,16 f_{c0}$ enquanto que $f_{e0} = 0,93 f_{c0}$. É importante observar que no ensaio de embutimento normal às fibras ocorre um carregamento de compressão perpendicular ao plano longitudinal-radial enquanto que

ensaio de embutimento paralelo às fibras o carregamento é efetuado perpendicularmente ao plano radial-tangencial. Curvas típica tensão x deformação específica de embutimento são apresentadas na Figura 4.18.

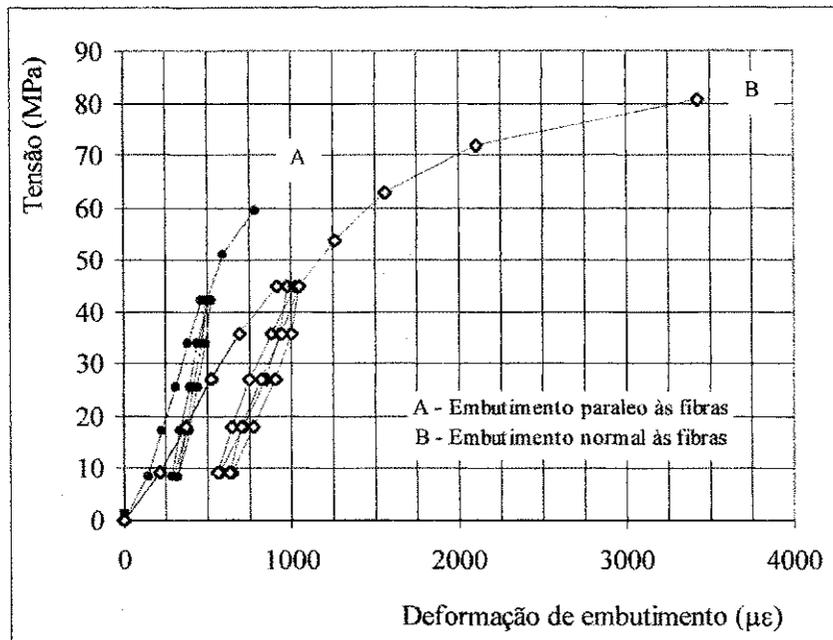


FIGURA 4.18 - Curvas típica tensão x deformação específica de embutimento

A Figura 4.19 mostra o modo de ruptura observado nos ensaios de embutimento normal e paralelo às fibras. Observe que no embutimento normal às fibras ocorre um acentuado achatamento das fibras antes de ocorrer a ruptura ao longo do plano longitudinal-radial. No caso do embutimento paralelo às fibras é possível se observar o esmagamento das fibras próximo ao contato pino/corpo-de-prova.

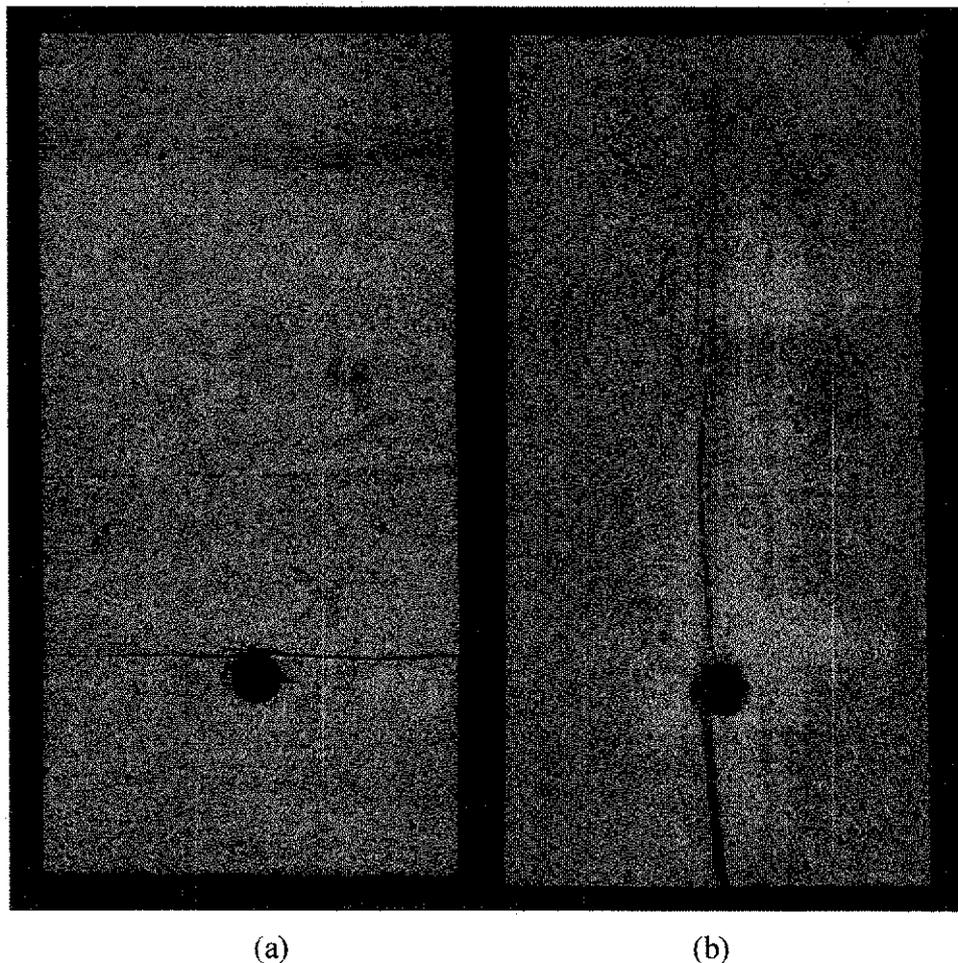


FIGURA 4.19 – Modo de ruptura observado nos ensaios de embutimento. (a) normal às fibras. (b) paralelo às fibras

4.6.7.2 Estimativa do Valor Característico da Resistência de Embutimento Paralelo e Normal às Fibras.

O valor característico da resistência de embutimento paralelo e normal às fibras da algarobeira – *Prosopis juliflora* (Sw) DC., foi estimado pela equação 1, apresentada no Capítulo 3. Os valores característicos da resistência ao embutimento paralelo e normal às fibras foram, respectivamente 79,67 MPa e 109,18 MPa. Como os valores característicos são superiores ao valor médio, tanto no embutimento paralelo como no normal às fibras, recomendamos a utilização dos valores médios para a obtenção dos valores de cálculo.

4.6.8 - Densidade Básica e Densidade Aparente

Foram ensaiados 42 corpos-de-prova para a obtenção da densidade básica e 21 corpos-de-prova para a obtenção da densidade aparente da algarobeira. As Tabelas 4.24 e 4.25 apresentam os valores individuais, a média e o coeficiente de variação dos resultados obtidos.

TABELA 4.24 – Valores da densidade básica da algarobeira – *Prosopis juliflora* (Sw) DC.

Corpo-de-prova	Massa seca (g)	Dimensões do corpo-de-prova (mm) axial			$V_{sat} \times 10^{-3} (m^3)$	$\rho_{bas} (kg/m^3)$
		radial	tangencial	axial		
1	26,26	49,52	29,33	19,97	29.004,86	905,36
2	27,66	49,46	29,33	19,97	28.969,72	959,78
3	28,47	49,47	29,24	20,26	29.306,15	971,47
4	27,16	49,55	30,11	19,75	29.466,02	921,74
5	26,53	49,65	30,22	20,01	30.003,59	884,23
6	28,24	49,52	30,13	19,83	29.587,10	954,47
7	27,77	49,67	30,07	19,67	29.378,66	928,22
8	28,43	49,63	29,65	19,40	28.547,67	995,88
9	27,47	49,42	30,22	20,14	30.078,53	913,28
10	26,44	49,53	29,84	20,24	29.914,22	883,86
11	26,00	49,61	30,13	19,93	29.790,35	872,76
12	27,10	49,73	29,63	20,39	30.044,66	901,99
13	26,37	49,56	30,09	19,82	29.556,78	892,18
14	28,55	49,50	29,97	19,52	28.958,21	985,90
15	29,61	49,72	29,96	19,82	29.559,57	1001,71
16	29,98	49,59	29,89	20,19	29.926,53	1001,77
17	30,00	49,70	29,89	20,10	29.859,21	1004,71
18	26,70	49,70	30,10	19,88	29.739,88	897,78
19	26,99	49,38	30,04	20,08	29.786,17	906,12
20	28,18	49,63	30,08	20,15	30.081,34	936,79
21	25,16	49,61	30,08	19,66	29.338,00	857,59
22	28,34	49,63	29,69	19,47	28.689,33	987,82
23	26,86	49,81	30,20	19,96	30.025,07	894,58
24	28,24	49,75	29,01	20,20	29.147,74	968,86
25	27,18	49,75	30,14	20,10	30.139,25	901,81
26	29,32	49,85	30,13	20,20	30.141,01	966,38
27	27,54	49,84	29,93	19,76	29.476,21	934,31
28	28,29	49,87	30,11	20,08	30.151,84	938,25
29	25,81	49,66	29,38	20,11	29.340,71	879,66
30	25,96	49,72	29,88	20,40	30.306,92	856,57
31	29,44	49,48	29,99	19,74	29.292,29	1005,02
32	26,99	49,61	30,33	20,16	30.334,17	889,76
33	29,46	49,68	29,78	19,76	29.234,33	1007,72
34	28,75	49,54	29,13	19,88	28.688,83	1002,13
35	27,47	49,92	30,07	20,02	30.051,91	914,08
36	28,54	49,47	30,25	19,48	29.151,19	979,03
37	26,29	49,57	29,76	19,99	29.489,31	891,51
38	27,40	49,57	30,02	19,98	29.732,07	921,56

Continuação da TABELA 4.24

39	27,57	49,42	30,16	19,68	29.333,18	939,89
40	27,44	49,81	30,17	20,33	30.551,27	898,16
41	26,64	49,23	29,93	20,06	29.557,48	901,29
42	27,12	49,62	30,04	20,35	30.333,40	894,06
Média						932,14
D.P.						46,29
CV						4,96

TABELA 4.25 - Valores da densidade aparente da algarobeira – *Prosopis juliflora* (Sw) DC.

Corpo-de-prova	$\rho_{ap.}$ (kg/m ³)
01	1.124,00
02	1.104,43
03	1.189,70
04	1.036,91
05	1.025,27
06	1.124,66
07	1.014,60
08	1.001,77
09	999,97
10	1.089,80
11	1.078,91
12	1.268,91
13	1.068,13
14	1.027,17
15	990,29
16	1.094,32
17	1.080,86
18	1.092,39
19	975,79
20	1.035,43
21	1.016,93
Valor médio	1.068,58
Desvio Padrão (DP)	70,51
Coefficiente da Variação(CV)	6,60

Foi observado um valor médio de 932,14 kg/m³, com um CV de 4,97%, para a densidade básica e um valor médio de 1068,58 kg/m³, com um CV de 6,6%, para a densidade aparente.

Comparando-se a densidade aparente da algarobeira – *Prosopis juliflora* (Sw) DC., com a densidade aparente de 23 madeiras estudadas pelo LaMEM da EESC da USP, ver Tabela 4.26, verificamos que a algarobeira apresenta-se com um valor superior a 16 delas (Angelim Pedra, Canafístula, Castelo, Cupiúba, E. Citriodora, E. Cloeziana, E. Maculata, E. Microcorys, E. Punctata, Garapa Roraima, Guaiaçara, Guaruaia, Ipê, Mandioqueira, Oiticica Amarela e Tatajuba possuindo valor inferior apenas a 7 delas (Angelim Ferro, Champagne, Catiúba, E. Paniculata, Jatobá e Maçaranduba).

TABELA 4.26 - Densidade aparente da algarobeira e de algumas espécies de madeira (dicotiledôneas), estudadas pelo LaMEM da EESC da Universidade de São Paulo, CALIL (1997)

Nome vulgar	Nome científico	ρ_{ap} (kg/m ³)
ALGAROBEIRA	<i>Prosopis juliflora</i> (Sw) DC.	1.068,58 *
Angelim Ferro	<i>Hymenolobium</i> spp	1.170,00
Angelim Pedra	<i>Dinizia excelsa</i>	694,00
Canafístula	<i>Cassia ferrugina</i>	871,00
Castelo	<i>Gossypiospermum praecox</i>	759,00
Champagne	<i>Dipterys odorata</i>	1.090,00
Cupiúba	<i>Goupia glabra</i>	838,00
Catiúba	<i>Qualea paraensis</i>	1.221,00
E. Citriodora	<i>Eucalyptus citriodora</i>	999,00
E. Cloeziana	<i>Eucalyptus cloeziana</i>	822,00
E. Maculata	<i>Eucalyptus maculata</i>	931,00
E. Microcorys	<i>Eucalyptus microcorys</i>	929,00
E. Paniculata	<i>Eucalyptus paniculata</i>	1.087,00
E. Punctata	<i>Eucalyptus punctata</i>	948,00
Garapa Roraima	<i>Apuleia leiocarpa</i>	892,00
Guaiaçara	<i>Luetzelburgia</i> spp	825,00
Guaruaia	<i>Peltophorum vogelianum</i>	919,00
Ipê	<i>Tabebuia serratifolia</i>	1.068,00
Jatobá	<i>Hymenaea</i> spp	1.074,00
Maçaranduba	<i>Manilkara</i> spp	1.143,00
Mandioqueira	<i>Qualea</i> spp	856,00
Oiticica Amarela	<i>Clarisia racemosa</i>	756,00
Sucupira	<i>Diplotripis</i> spp	1.106,00
Tatajuba	<i>Bagassa guianensis</i>	940,00

*Valor obtido no presente estudo

Os tecnologistas afirmam que madeiras de peso específico praticamente iguais não têm, necessariamente, as mesmas características mecânicas, uma vez que as suas estruturas anatômicas podem ser diferentes e essas, como se sabe, exercem influências sobre as suas propriedades. Um estudo comparativo das relações resistência/densidade para

às espécies que possuem resistência à tração e compressão paralela às fibras comparáveis às da algarobeira foi realizado e os resultados são apresentados na Tabela 4.27. Os resultados confirmam a assertiva dos tecnologistas.

TABELA 4.27 – Propriedades específicas da algarobeira - *Prosopis juliflora* (Sw) DC. e de outras madeiras estudadas no LaMEM, CALIL JUNIOR (1997).

Nome Vulgar	$f_{wt,0}$ (MPa)	$f_{wc,0}$ (MPa)	ρ_{ap} (kg/m ³)	$f_{wt,0}/\rho_{ap}$	$f_{wc,0}/\rho_{ap}$
Algarobeira	146,76*	86,66*	1068,58*	137,34*	81,10 *
Jatobá	157,50	93,13	1074,00	146,65	86,61
E. Paniculata	147,40	72,70	1087,00	135,60	66,88
Maçaranduba	138,50	82,90	1143,00	121,17	72,53
Champagne	133,50	93,20	1090,00	122,48	85,50
Sucupira	123,40	95,20	1106,00	111,57	86,07

* Valor obtido no presente estudo

4.6.9 Resumo Final dos Valores Encontrados para as Características Tecnológicas da Algarobeira – *Prosopis juliflora* (Sw) DC.

TABELA 4.28 – Resumo final dos valores encontrados para as características tecnológicas da algarobeira – *Prosopis juliflora* (Sw) DC.

Idade média das árvores (anos)						10,8
Volume total da madeira bruta (m ³)						1,008
Percentual de cerne						86,3
Percentual de alburno						9,8
Percentual de casca						3,6
Volume total da madeira trabalhada (m ³)						0,576
Ensaio	Resistência	F _{wk} (MPa)	Rigidez (GPa)	$\rho_{bás.}$ (kg/m ³)	$\rho_{ap.}$ (kg/m ³)	Umidade do lote
$f_{wc,0}$	86,69	92,96				
$f_{wt,0}$	146,76	141,00				
$f_{wc,90}$	25,01	22,78				
$f_{wt,90}$	9,21	8,29				
$f_{wv,0}$	25,75	21,06				
$f_{we,0}$	73,46	79,67				
$f_{we,90}$	100,44	109,18				
$E_{wc,0}$			22,21			
$E_{wt,0}$			20,62			
$E_{wc,90}$			7,85			
				932,14	1.068,58	19,96-%

CAPITULO 5

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Após a análise dos resultados obtidos para a algarobeira - *Prosopis juliflora* (Sw) DC., concluí-se que ela possui uma madeira de excelente qualidade, no que diz respeito as suas características tecnológicas, se equiparando às tradicionais e conceituadas madeiras de uso corriqueiro na construção civil.

Essa essência xerófila, possui alto percentual de cerne ou duramen o que a credencia, por essa característica, a ter, nesse aspecto, potencialmente, maior quantidade de material aproveitável. Devido às limitações impostas pelos equipamentos disponíveis para o corte das árvores no campo, não foi possível trabalhar árvores de maior porte e maior diâmetro, o que nos permitiria identificar, com maior exatidão, as reais potencialidades da algarobeira em termos da relação volume total de madeira bruta x volume total de madeira trabalhada.

Pelo conjunto de valores característicos obtidos para a resistência à compressão e ao cisalhamento paralelo às fibras e pelos valores médios do módulo de elasticidade à compressão, da “densidade básica” e da “densidade aparente” pode-se concluir que o comportamento da algarobeira se aproxima daquele observado para as madeiras da classe C60. A única propriedade que ficou abaixo dos valores estabelecidos pela classe C60 foi o módulo de elasticidade que, mesmo assim, atingiu 90,2% do valor requerido por essa classe de resistência. Portanto a algarobeira pode ser considerada uma madeira de classe C40 de alta performance. É importante ressaltar que madeiras tradicionais como o Ipê, Jatobá, Maçaranduba e Sucupira, caracterizadas pelo LaMEM

também não atendem o requisito de módulo de elasticidade superior a 24,5 GPa requerido pela Classe C60.

Por apresentar característica tecnológica próximas de madeiras como a espécie *Astronium urundeuva*, conhecida vulgarmente por Aroeira Preta, Aroeira do Sertão, Aroeira do Campo, Urundeuva (MG) e da espécie *Peptadenia macrocarpa* conhecida vulgarmente por Angico Preto, a algarobeira - *Prosopis juliflora* (Sw) DC. pode ser, do mesmo modo que essas outras madeiras, perfeitamente recomendada para vigamentos, obras hidráulicas, dormentes, construção civil, estacas de cerca, tacos, móveis de luxo, eixos de bolandeira e rodas de engenho.

Não foi possível evidenciar, com as toras coletadas, a possibilidade de obtenção de linhas de grande porte para uso mais nobre na construção civil (o comprimento máximo de linha trabalhada obtida foi de 2,70 m). Acredita-se, no entanto, que a algarobeira possui características suficientes para se desenvolver, tanto linheiramente como com grandes diâmetros, visto que, do povoamento de onde foram retiradas as árvores para tornar possível a elaboração desta dissertação, encontrou-se plantas que, mesmo sem serem submetidas a qualquer tipo de trato cultural, possuíam cerca de 20 m de altura e diâmetro de cerca de 1,0 m.

Sngestões para trabalhos futuros

A partir da experiência advinda do presente estudo consideramos que é importante a determinação de outras propriedades da algarobeira *Prosopis juliflora* (Sw) DC., tais como: estabilidade dimensional, fendilhamento, flexão, dureza, resistência ao impacto na flexão, cisalhamento na lâmina de cola; tração normal na lâmina de cola; resistência das emendas dentadas e biselada, que servirão de elementos comparativos das resistências entre outras diferentes espécies.

A caracterização completa da algarobeira - *Prosopis juliflora* (Sw) DC. de árvores colhidas no agreste e zona da mata do Estado da Paraíba, no sentido de se identificar o índice de influência do meio ambiente sobre as características tecnológicas da madeira, também merece investigação.

Pesquisas sobre a composição micro-estrutural e molecular da algarobeira e sobre a relação volume total da madeira bruta x volume total da madeira trabalhada advindas da algarobeira são fortemente recomendadas.

Levantamento sobre os percentuais de casca, alborno e cerne de outras espécies florestais, a fim de avaliar comparativamente o aproveitamento madeireiro dessas outras espécies com a algarobeira e concluir sobre a compensação econômica, diante da perda de madeira em função da linearidade e do ganho em volume de cerne, no tronco é considerado como um dado importante

Recomendações finais

Recomenda-se às Instituições Financeiras Governamentais condicionar a liberação de recursos para a implantação de projetos de reflorestamento, quer com a algarobeira ou com qualquer outra essência arbórea, a um acompanhamento do desenvolvimento dos povoamentos florestais com rigorosos tratos culturais, condição necessária para a exteriorização das potencialidades genéticas, responsáveis, entre outras características, pela linearidade, pelo desenvolvimento em diâmetro e a altura das plantas;

Recomenda-se ao IBAMA intensificar a fiscalização com o objetivo de impedir a ação devastadora de proprietários rurais que, de modo irracional, têm colocado em risco a continuidade do desenvolvimento dos povoamentos de algarobeiras que, do ponto de vista de suas características tecnológicas, se equiparam às tradicionais e resistentes essências arbóreas, inclusive as consideradas madeiras nobres.

CAPÍTULO 6

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. MB-26. **Ensaio Físicos e Mecânicos de Madeiras**. Rio de Janeiro: ABNT, 1940. 8 p.

_____, NBR 7190/97 **Projeto de Estruturas de Madeiras**, Rio de Janeiro. ABNT, 1997. 248 p.

AZEVEDO, Marluce A. **Estrutura de Madeira para Cobertura de Aviários no Estado da Paraíba**. Campina Grande/PB, 1999. 84p. il.

AZEVEDO, G. **Algaroba**. Natal, Ministério da Agricultura, Serviço de Acordo de fomento da Produção Animal. 1955.13p.

_____, **Algaroba**. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, Serviço de informação agrícola. 1960. 17 p.

_____, **Algaroba 2ª ed.** S. 1., SAI, 1961. 32 p. (843).

BARROS, N. A. T. de. **Substituição do Melaço de Cana-de-Açúcar pelo Fruto da Algarobeira na Alimentação de Carneiros**. Areia, PB, s. ed., 1981. Tese de Mestrado.

BAUER, L. A. FALCÃO, **Materiais de Construção**. Rio de Janeiro. Livro Técnico e Científico Editora S.A. 1979, 529 p.

- BROTEIRO, F.A – **Métodos de Ensaio Adotados pelo IPT., para Estudo de Madeiras Nacionais.** 2ª ed., São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1956 (Boletim, 31)
- BURKART, Arturo – **Las Leguminosas Argentinas (silvestres y cultivadas).** ABCE – Agency – 1952.
- CALIL, C. Jr. Set 406 – **Estruturas de Madeiras, Notas de Aulas, Publicações, EESC/USP.** 1997.
- CARVALHO, M. B.; CARVALHO, E.P. & ARRUDA, G.P. **O “Serrador” Praga da Algaroba.** Recife, I. P. A., 1968. 26 p. il. (Bol. , 33).
- DINWOODIE, J. M., **Timber Its Nature and Behaviour,** 1981, 190pp.
- FARIAS, R. R. A Algarobeira nos Estados Unidos. Problemas Gerais de Agricultura. S. L., Sai, 1955 2p (nº 9).
- GALLO, D. ; NAKANO, O. ; WIENDL, F. M. ; NETO, S. S. & CARVALHO, R. P. L. **Manual da Entomologia.** São Paulo, Ed. Agron. Ceres, 1970. 858 p.
- GERMEK, E. **Diferenças entre Alfarrobeira e Algarobeira.** Inform. Veter. BAYER, (5) s. D. 26 p.
- GOMES, P. A **Algarobeira.** Rio de Janeiro, SIA, 1961. 49 p (Nº 865).
- PEREIRA, A.J. do Rêgo; VASCONCELOS, J.M. Cabral de; TAVARES, S. **Características Tecnológicas de Madeiras do Nordeste do Brasil : Nova Contribuição.** 1976- SUDENE Recursos Vegetais 6.
- PIZA Jr. S. T. **Um novo Proscopiideo do Nordeste Brasileiro (Orthoptera).** Ver. Da Agric, 52 (1) : 1-3, maio . 1977.

PONTES, J. J. Algaroba (Prosopis juliflora (Sw) DC), um Hospedeiro de *Meloidogyne hapla*, Chitwood, 1949. Bol. da Soc. Cearense de Agron.

VALDIVIA, S.V. El Algarobo, una Espécie Florestal Prometedora para los Trópicos Áridos. Perú, Ministério de Agricultura, 1972. 4p. il. (Boletim de Divulgação, 32).

YOUNG, J. F., at al. **The Science And Technology of Civil Engineering Materials-** Willaan Hall, Series Editor, 1998. 384pp.