



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Victor Vinicius de Oliveira Ferreira

**CARACTERIZAÇÃO DE ESPÉCIES FLORESTAIS DA CAATINGA
PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL**

Natal
2018

Victor Vinicius de Oliveira Ferreira

**CARACTERIZAÇÃO DE ESPÉCIES FLORESTAIS DA CAATINGA
PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Dra. Edna Moura Pinto

Natal
2018

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Sistema de Bibliotecas - SISBI
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Central Zila Mamede

Ferreira, Victor Vinicius de Oliveira.

Caracterização de espécies florestais da Caatinga para a construção civil / Victor Vinicius de Oliveira Ferreira. - 2018. 202 f.: il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Natal, RN, 2018.

Orientador: Prof.^a Dr.^a Edna Moura Pinto.

1. Construção civil - Dissertação. 2. Madeira - Dissertação. 3. Caatinga - Dissertação. I. Pinto, Edna Moura. II. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 69:574

VICTOR VINICIUS DE OLIVEIRA FERREIRA

**CARACTERIZAÇÃO DE ESPÉCIES FLORESTAIS DA CAATINGA
PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação, em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Edna Moura Pinto – Presidente

Prof. Dr. José Neres da Silva Filho – Examinador Interno

Profa. Dra. Rosimeire Cavalcante dos Santos – Examinador Externo (EAJ/UFRN)

Natal, 21 de março de 2018.

CARACTERIZAÇÃO DE ESPÉCIES FLORESTAIS DA CAATINGA PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL

Victor Vinicius de Oliveira Ferreira

Orientadora: Profa. Dra. Edna Moura Pinto

RESUMO

Dentre os biomas brasileiros a Caatinga é um dos que possui potencial a ser explorado para a utilização de madeira na construção civil, ainda que suas espécies arbóreas tenham por características porte médio/pequeno, fustes com diâmetros pequenos e tortuosos. Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo caracterizar as espécies Angico, Jurema-preta, Mororó e Pereiro oriundas do bioma Caatinga visando seu uso na construção civil. As amostras foram extraídas de quarenta e oito árvores, sendo doze de cada espécie. As espécies foram retiradas da Fazenda Riacho do Cabra localizada no Município de Santa Cruz-RN. O desdobro foi realizado na Escola Agrícola de Jundiá (EAJ) no Município de Macaíba-RN e os ensaios de caracterização foram realizados na Universidade de São Paulo (USP) em São Carlos-SP. Foram coletados em campo e, posteriormente, analisados os dados dendrológicos como diâmetro de base, diâmetro a altura do peito, altura do fuste e altura total das árvores selecionadas. A caracterização foi composta pelo ensaio de densidade básica e aparente, estabilidade dimensional, resistência a compressão e a tração paralela às fibras e resistência ao cisalhamento de acordo com NBR 7190 (ABNT, 1997). Os dados foram analisados em conformidade com a NBR 7190 (ABNT, 1997), calculando

as resistências características, os valores da média e o desvio padrão das variáveis. O teste de Correlação de Pearson foi utilizado e adotado o nível de significância de 5%. As aplicações da madeira na construção civil foi realizado de acordo com o IPT (2013) e IPT/SUDAM (1981), utilizando os critérios de classificação de Nahuz (1974) e Nogueira (1991). Foram indicados sistemas e elementos estruturais e componentes construtivos para utilização dessas madeiras. As espécies apresentaram valores de propriedades mecânicas e físicas que as credenciam a serem empregadas na construção civil leve. Houve um número significativo de correlações entre as propriedades, destacando as relações entre a densidade básica e aparente e as propriedades de estabilidade dimensional do Angico, Jurema-preta e Pereiro. Desta forma, as propriedades físicas e os valores de resistência e rigidez estudadas foram representativos para todas as espécies, evidenciando a sua utilização na construção civil em alguns sistemas e elementos estruturais e componentes construtivos.

Palavras-chave: Madeira; Construção Civil; Caatinga.

CHARACTERIZATION OF FOREST SPECIES OF CAATINGA FOR CIVIL CONSTRUCTION

Victor Vinicius de Oliveira Ferreira

Adviser: Profa. Dra. Edna Moura Pinto

ABSTRACT

Among the Brazilian biomes, the Caatinga is one that has potential to be exploited for its use in wood in construction, although its tree species have medium/short height characteristics and tortuous stems with small diameters. Thus, the present study aims to characterize the Angico, Jurema-preta, Mororó and Pereiro species originating from the Caatinga biome for use in civil construction. The samples were extracted from 48 trees, 12 of each species. The species were taken from the Riacho do Cabra Farm, located in the Municipality of Santa Cruz-RN. The wood splitting was carried out at the Escola Agrícola de Jundiá (EAJ) in the municipality of Macaíba-RN and the characterization tests were carried out at the University of São Paulo (USP) in São Carlos-SP. Dendrological data such as the base diameter, diameter at breast height, stem height and total height of selected trees were collected and analyzed. The characterization corresponded to tests of basic and apparent density, dimensional stability, compressive strength, parallel traction to the fibers and shear strength according to NBR 7190 (ABNT, 1997). The data were analyzed according to the NBR 7190 norm (ABNT, 1997), calculating the characteristic strengths, the mean values and the standard deviation of the variables. The Pearson correlation test was used and the level of significance was set at 5%. Wood applications in construction were carried

out according to the IPT (2013) and IPT/SUDAM (1981), using the Nahuz (1974) and Nogueira (1991) classification criteria. Systems and structural elements and constructive components were indicated for the use of these woods. The species presented mechanical and physiological property values that accredited them to be used in light civil construction. There were a significant number of correlations between the physical properties, highlighting the relationships between the basic and apparent density and the dimensional stability properties of Angico, Jurema-preta and Pereiro. Thus, the physical properties and the studied resistance and rigidity values were representative for all species, evidencing their use in civil construction in some systems and structural and constructive elements.

Keywords: Wood; Civil Construction; Caatinga.

Dedico este trabalho
aos meus pais, Maria Goretti e
Sebastião Marques.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pela vida e por proporcionar saúde, força e coragem para vencer os obstáculos;

Aos meus pais, Maria Goretti e Sebastião Marques, por toda paciência, dedicação, incentivo, educação e lições de vida;

A minha namorada, Candice Simões, pelo apoio incondicional, companheirismo, carinho e paciência. Por sempre está comigo em cada etapa deste trabalho. Sem você este trabalho não seria possível;

A minha orientadora, Profa. Dra. Edna Pinto, por toda a paciência, incentivo e orientação desta pesquisa;

A Falconiere Oliveira, pelas contribuições realizadas ao longo do desenvolvimento deste trabalho;

A Gustavo Ferreira de Souza da Fazenda Riacho do Cabra, por todo auxílio, apoio e comprometimento para a realização desta pesquisa;

A José Ribeiro Neto pela ajuda na atividade de campos, por está sempre disposto a ajudar e por todos os ensinamentos compartilhados;

A Geraldo Simões pelo transporte das amostras da Fazenda Riacho do Cabra para o Laboratório de Estudos da Madeira (LABEM) da UFRN;

A Profa. Dra. Rosimeire Cavalcante e EAJ/UFRN pelo apoio e ajuda no desdobramento e transporte do material para São Carlos/SP;

Ao Prof. Dr. Calil Junior pelos conhecimentos compartilhados, pelo apoio e por abrir as portas do Laboratório de Madeira e de Estruturas de Madeiras (LaMEM) da Universidade de São Paulo (USP), São Carlos/SP, para realização dos ensaios;

A toda equipe do Laboratório de Madeira e de Estruturas de Madeiras da USP, Luis Bragatto, Jaime Galindo, Samuel Sá, Roberto Galindo, Silvio Ferro, Arnaldo Souza e Aparecido Galindo, pela recepção e apoio na realização dos ensaios;

Aos professores do programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (PEC)
por colaborar com seus conhecimentos para a minha formação acadêmica;

A banca de defesa por todas as contribuições para melhoria desta pesquisa;

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE TABELAS	xiii
LISTA DE EQUAÇÕES	xiv
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	xv
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 Justificativa.....	2
1.2 Objetivos da pesquisa	3
1.2.1 Objetivo geral	3
1.2.2 Objetivo específico	3
1.3 Estrutura do trabalho.....	4
CAPÍTULO 2 – REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO.....	5
2.1 A madeira na construção civil	5
2.2 Origem da madeira comercializada no Brasil.....	8
2.3 Propriedades da madeira para a construção civil	9
2.3.1 Umidade.....	10
2.3.2 Densidade	12
2.3.3 Estabilidade dimensional.....	14
2.3.4 Resistência mecânica	15
2.3.4.1 Resistência a compressão	16
2.3.4.2 Resistência a tração.....	16
2.3.4.3 Cisalhamento	17
2.4 Classificação da madeira na construção civil.....	17
2.5 Sistemas construtivos e elementos estruturais em madeira	20
2.5.1 Sistemas construtivos	20
2.5.2 Componentes ou elementos de sistemas construtivos	26
2.6 A Caatinga	31
2.6.1 Características das espécies arbóreas da Caatinga	36
2.6.2 Uso das espécies de madeira da Caatinga na construção civil	42
2.6.3 Descrição das espécies da Caatinga objeto de estudo.....	44
CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA.....	50
3.1 Seleção das espécies florestais da Caatinga estudadas	50
3.2 Coleta e avaliação dendrológicas das espécies.....	52
3.3 Desdobro.....	54
3.4 Ensaio físicos e mecânicos	56
3.4.1 Ensaio para determinação do teor de umidade.....	57
3.4.2 Ensaio de densidade básica e aparente	57
3.4.3 Ensaio de estabilidade dimensional	60
3.4.4 Ensaio de compressão paralela às fibras.....	61
3.4.5 Ensaio de tração paralela às fibras	64
3.4.6 Ensaio de cisalhamento	65
3.5 Análise dos dados.....	66
3.5.1 Análise descritiva	67

3.5.2	Análise estatística	67
3.6	Crítérios para classificação das propriedades	68
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES		70
4.1	Dados dendométricos coletados em campo	70
4.2	Caracterização física.....	72
4.2.1	Densidade básica e aparente.....	72
4.2.2	Estabilidade dimensional.....	75
4.3	Caracterização mecânica.....	76
4.3.1	Resistência a compressão paralela às fibras	76
4.3.2	Resistência à tração paralela às fibras.....	82
4.3.3	Resistência ao cisalhamento.....	87
4.4	Classificação	90
4.5	Correlações.....	92
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÃO.....		99
5.1	Limitações da pesquisa.....	100
5.2	Sugestões para trabalhos futuros	100
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		102
ANEXO 1- DADOS E GRÁFICO TENSÃO X DEFORMAÇÃO DAS AMOSTRAS NO ENSAIO DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS		114
ANEXO 2 - DADOS E GRÁFICO TENSÃO X DEFORMAÇÃO DAS AMOSTRAS NO ENSAIO DE RESISTÊNCIA A TRAÇÃO PARALELA ÀS FIBRAS.....		150

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Sistema pilar e viga com elementos em MLC	21
Figura 2.2 Tipos de treliça: (a) treliça de banzo inclinado para uma água; (b) treliça de banzo inclinado para duas águas; (c) treliça bowstring; (d) treliça belfast; (e) treliças de banzos paralelos	23
Figura 2.3 Sistema Wood Frame.....	23
Figura 2.4 Sistema Wood Frame.....	23
Figura 2.5 Sistema Gridshell	24
Figura 2.6 Detalhe das ligações do sistema Gridshell.....	25
Figura 2.7 Sistema Estrutura Lamelar	26
Figura 2.8 Detalhe das ligações do sistema Estrutura Lamelar	26
Figura 2.9 Elementos estruturais em MLC	27
Figura 2.10 Detalhe da peça em MLC.....	28
Figura 2.11 Elementos estruturais em madeira maciça serrada	29
Figura 2.12 Elementos estruturais em madeira roliça	30
Figura 2.13 Mapa Bioma da Caatinga.....	31
Figura 2.14 Consumo de lenha	33
Figura 2.15 Abrigo temporário executado com madeira da Caatinga	43
Figura 2.16 Construção com madeira da Caatinga	43
Figura 3.1 Território de coleta das espécies estudadas no município de Santa Cruz – Rio Grande do Norte	51
Figura 3.2 Mensuração do diâmetro da base das árvores da Caatinga no município de Santa Cruz/RN	53
Figura 3.3 Armazenamento das amostras coletadas	54
Figura 3.4 Confecção do corpo de prova para o ensaio de tração paralela às fibras.	55
Figura 3.5 Corpos de prova das espécies da Caatinga: (a) corpo de prova para o ensaio de tração e compressão paralela às fibras; (b) corpo de prova para o ensaio de cisalhamento.	55
Figura 3.6 Máquina Universal Amsler	56
Figura 3.7 Corpos de prova para o ensaio de densidade.....	58
Figura 3.8 Diagrama de Kollmann.....	59
Figura 3.9 Corpos de prova para o ensaio de estabilidade dimensional	61
Figura 3.10 Ensaio de resistência a compressão paralela às fibras.....	64
Figura 3.11 Ensaio de resistência a tração paralela às fibras	65
Figura 3.12 Ensaio de resistência ao cisalhamento	66
Figura 4.1 Resultado do ensaio de densidade básica (g/cm ³).....	74
Figura 4.2 Resultado do ensaio de densidade aparente (g/cm ³).....	74
Figura 4.3 Resistência a compressão paralela às fibras	78
Figura 4.4 Módulo de elasticidade a compressão paralela às fibras	81
Figura 4.5 Resistência à tração paralela às fibras.....	84
Figura 4.6 Módulo de elasticidade à tração paralela às fibras	87
Figura 4.7 Resistência ao cisalhamento.....	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 Classes de resistência das dicotiledôneas	10
Tabela 2.2 Classes de umidade	11
Tabela 2.3 Requisitos técnicos para classificação da madeira	19
Tabela 2.4 Nomenclatura e dimensões de peças de madeira serrada	29
Tabela 2.5 Densidade básica de espécies da Caatinga em g/cm ³	40
Tabela 3.1 Classes de resistência das dicotiledôneas	67
Tabela 3.2 Classificação da densidade aparente	68
Tabela 3.3 Classificação da retratibilidade e variação volumétrica	68
Tabela 3.4 Classificação da resistência a compressão paralela às fibras e ao cisalhamento	69
Tabela 3.5 Classificação da resistência a tração paralela às fibras e do módulo de elasticidade a tração e a compressão paralela às fibras	69
Tabela 4.1 Análise da dendrometria das espécies estudadas.	70
Tabela 4.2 Resultados do ensaio de densidade básica e aparente	73
Tabela 4.3 Resultados do ensaio de estabilidade dimensional	76
Tabela 4.4 Resultados do ensaio a compressão paralela às fibras	77
Tabela 4.5 Resistência característica a compressão paralela às fibras	77
Tabela 4.6 Resultados do módulo de elasticidade do ensaio a compressão paralela às fibras.....	80
Tabela 4.7 Resultados do ensaio a tração paralela às fibras	83
Tabela 4.8 Resistência característica a tração paralela às fibras.....	83
Tabela 4.9 Resultados do módulo de elasticidade do ensaio a tração paralela às fibras	86
Tabela 4.10 Resultados do ensaio de cisalhamento	88
Tabela 4.11 Resistência característica ao cisalhamento	88
Tabela 4.12 Classificação das propriedades.....	90
Tabela 4.13 Classificação do uso na construção civil	91
Tabela 4.14 Correlações entre as propriedades mecânicas e da densidade aparente	93
Tabela 4.15 Correlações entre as propriedades físicas	95

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 3.1	57
Equação 3.2	58
Equação 3.3	59
Equação 3.4	60
Equação 3.5	60
Equação 3.6	60
Equação 3.7	60
Equação 3.8	60
Equação 3.9	60
Equação 3.10	61
Equação 3.11	62
Equação 3.12	63
Equação 3.13	63
Equação 3.14	63
Equação 3.15	64
Equação 3.16	65
Equação 3.17	66
Equação 3.18	67

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ΔV – Variação Volumétrica

ε – Deformação Específica

$\varepsilon_{r,1}$, $\varepsilon_{r,2}$ e $\varepsilon_{r,3}$ - Retração na Direção Axial, Radial e Tangencial, Respectivamente;

$\varepsilon_{i,1}$, $\varepsilon_{i,2}$ e $\varepsilon_{i,3}$ - Inchamento na Direção Axial, Radial e Tangencial, Respectivamente;

ρ_{bas} – Densidade Básica

ρ_{apa} – Densidade Aparente

$\sigma_{50\%}$ e $\sigma_{10\%}$ - tensão a 50% e 10% da tensão máxima

$\varepsilon_{50\%}$ e $\varepsilon_{10\%}$, deformação específicas correspondentes às tensões de $\sigma_{50\%}$ e $\sigma_{10\%}$.

A - Área

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

cm – Centímetro

DAP – Diâmetro a Altura do Peito

DB – Diâmetro da Base

EAJ – Escola Agrícola de Jundiaí

E_{co} – Módulo de Elasticidade a compressão paralela às fibras

E_{to} – Módulo de Elasticidade a tração paralela às fibras

E_{12} – Módulo de Elasticidade a 12% de Umidade

E_m – Valor médio do Módulo de Elasticidade

f_{co} – Resistência a compressão paralela às fibras

f_{t0} – Resistência a tração paralela às fibras

f_v – Resistência ao Cisalhamento

f_{12} – Resistência a 12% de Umidade

f_k – Valor Característico da Resistência

f_m – Valor médio da Resistência

$F_{m\acute{a}x}$ - Força Máxima Aplicada no Corpo de Prova

g/cm^3 - gramas por centímetro cúbico

H_f – Altura de Fuste

H_t – Altura total

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IMAZON - Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia

IPT - Instituto De Pesquisas Tecnológicas
LaMEM – Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeiras
m – Metro
mm - Milímetro
m² - Metro quadrado
m_i – Massa Inicial
m_s - Massa Seca da Madeira
m₁₂ - Massa da Madeira a 12% de Umidade
MDF - *Medium Density Fiberboard*
MLC – Madeira Laminada Colada
MMA – Ministério do Meio Ambiente
MME – Ministério de Minas e Energia
MPa – Megapascal
OSB - *Oriented Strand Board*
SBF - Sistema Brasileiro Florestal
SUDAM - Superintendencia do Desenvolvimento da Amazônia
U% – Umidade
U_{amb} – Umidade Relativa do ambiente
U_{eq.} – Umidade de Equilíbrio da Madeira
V_{sat} - Volume Saturado da Madeira
V_{seca} – Volume da Madeira Seca
V₁₂ - Volume da Madeira a 12% de Umidade
WWF - *World Wildlife Fund*

CAPÍTULO 1

Introdução

A madeira é um dos materiais com bons índices de sustentabilidade utilizado na construção civil e menos agressiva ao meio ambiente quando comparada ao aço e ao concreto (WWF, 2018). Além de precisar de pouca energia na fabricação de peças, a madeira armazena o gás carbônico produzido durante toda a sua vida até ser deteriorada ou queimada, (CALIL JUNIOR *et al.*, 2003; FALK, 2010). Cerca de 47% da emissão do dióxido de carbono (CO₂) da Terra são oriundos da construção civil e a utilização da madeira frente ao aço e ao concreto pode diminuir em até 31% essa emissão, uma vez que, cerca de uma tonelada de dióxido de carbono (CO₂) são armazenadas em um metro cúbico de madeira (WWF, 2018).

As propriedades organolépticas da madeira, como, textura, cor, desenho, odor, brilho e peso, de cada espécie tornam-na atrativa e agradável em determinados ambientes. Assim como suas propriedades físicos-mecânicas de densidade, dureza, estabilidade dimensional, trabalhabilidade e resistências mecânicas (MARTINS, 2010). A madeira é um material relativamente fácil de trabalhar com ferramentas simples, sendo possível a confecção de uma grande diversidade de seções e formas (MELLO, 2007).

No Brasil, a primeira publicação sobre os estudos referentes a madeira foi lançada em 1905. Trata-se do Manual de Resistência dos Materiais (LAHR, 1983). Constata-se porém que a literatura nacional ainda se mantém bastante escassa no que se refere às técnicas construtivas em madeira e que o desenvolvimento da tecnologia em madeira, no Brasil, encontra-se muito aquém do seu grande potencial para construção (MELLO, 2007, MEIRELLES *et al.*, 2007).

Esse potencial está ainda mais distante do ideal quando se refere ao uso da madeira oriunda da caatinga. O bioma Caatinga possui uma grande biodiversidade e altos índices de endemismo (MACIEL, 2010). As principais explorações da vegetação

ocorrem por meio da extração de lenha, pastagem nativa para criação dos rebanhos bovinos, caprinos e ovinos e parte do sistema de agricultura itinerante. (SAMPAIO, 2010). Milhares de pequenos produtores rurais dependem da produção de lenha e de carvão vegetal para sobreviver, principalmente durante as estiagens e os períodos pré-safra (PAUPITZ, 2010).

Além do fornecimento de lenha, os árvores de maior porte tendem a ser extraídas para a construção de casas, cercas e currais das fazendas de gado (MACIEL, 2010). Apesar de conhecido o uso de algumas espécies de madeiras da Caatinga na construção civil, prevalece a escolha de espécies oriundas da floresta Amazônica (OLIVEIRA, 2016).

No presente estudo foi enfatizado a potencial aptidão estrutural de quatro espécies da Caatinga o Angico (*Anadenanthera colubria*), Jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*), Mororó (*Bauhinia cheilantha*) e Pereiro (*Aspidosperma pyrifolium*). Tais espécies têm aplicações conhecidas na construção civil dos quais podemos citar a título de conhecimento os mourões, estacas além de carvão, medicina caseira, restauração florestal, sistemas agroflorestais, atrair abelhas e etc (MAIA, 2012).

A indicação de utilização de qualquer espécie de madeira enquanto elemento estrutural requer o conhecimento de suas propriedades mecânicas, as quais são determinadas por meio da realização de ensaios padronizados (LOGSDON, 2007; ZANGIACOMO *et al.*, 2013).

A literatura existente sobre as propriedades de interesse para uso construtivo é dispersa, e se concentra em abordagens voltadas às disciplinas agroflorestais, sendo a biomassa e extrativos os focos principais. Para os estudos da biomassa da madeira uma das propriedades físicas essenciais é a densidade básica (OLIVEIRA, 2015). Devido a sua relação direta, essa propriedade torna-se um indicativo de valores de resistência mecânica (BATISTA *et al.*, 2010).

1.1 Justificativa

Embora a madeira da Caatinga indique propriedades favoráveis para sua utilização na composição de sistemas, elementos estruturais e componentes construtivos, são necessários maiores investimentos em pesquisas para a devida

caracterização e indicação de seu usos para as diferentes espécies. Este trabalho contribui para o fomento de novos usos da madeira, além daqueles relacionados à produção de energia, contribuindo para vencer a lacuna de conhecimentos sobre essas espécies, e propiciando, conseqüentemente, potenciais benefícios econômicos e sociais aos proprietários rurais por meio de seu emprego em pequenas edificações e valorização no preço de comercialização, entre outros.

Sistemas e elementos estruturais e componentes construtivos podem ser adaptados para as particularidades da Caatinga, de acordo com as espécies arbóreas e o poder socioeconômico. De tal modo que o uso de espécies de madeiras amazônicas possam ser substituídas por madeiras oriundas da Caatinga.

Além disso, a disseminação da caracterização da Caatinga de acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997) será inovadora e complementar. O conhecimento das propriedades físicas e mecânicas possibilitam um uso mais racional na construção civil.

Desta forma, este trabalhado busca difundir o uso da madeira e o potencial da Caatinga na construção civil. Conhecendo as propriedades físico-mecânica e as características peculiares das espécies arbóreas da Caatinga é possível destinar tecnicamente o uso para a construção civil. Tal indicação pode racionalizar a madeira desse bioma, diminuir o custo final da obra, valorizar as espécies nativas da Caatinga e gerar renda para os produtores rurais.

1.2 Objetivos da pesquisa

1.2.1 Objetivo geral

Caracterizar as espécies Angico, Jurema-preta, Mororó e Pereiro oriundas do bioma Caatinga visando seu uso na construção civil.

1.2.2 Objetivo específico

1. Identificar as espécies da Caatinga tradicionalmente utilizadas na construção civil;

2. Coletar e analisar os dados dendrológicos como diâmetro de base, diâmetro a altura do peito, altura do fuste e altura total das árvores selecionadas;
3. Indicar os possíveis sistemas, elementos estruturais e componentes construtivos para utilização da madeira da Caatinga;
4. Realizar caracterização por meio dos ensaios de umidade, densidade aparente, resistência à compressão paralela às fibras, resistência à tração paralela às fibras, resistência ao cisalhamento de acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997);
5. Classificar as aplicações da madeira na construção civil de acordo com o IPT (2013) e IPT/SUDAM (1981), utilizando os critérios de classificação de Nahuz (1974) e Nogueira (1991);
6. Correlacionar valores do ensaio de densidade com os valores das propriedades mecânicas, resistência a compressão paralela às fibras com as demais propriedades mecânicas, resistência a tração paralela às fibras com o módulo de elasticidade a tração paralela às fibras e os valores dos ensaios mecânicos e físicos entre si.

1.3 Estrutura do trabalho

A dissertação está dividida em 5 capítulos. O primeiro trata-se da introdução, composta pela justificativa e os objetivos. O segundo corresponde à revisão bibliográfica, reunindo elementos sobre a construção civil no Brasil, propriedades da madeira, sistemas e elementos construtivos em madeira, características gerais da Caatinga e das espécies estudadas. O terceiro é a metodologia e especifica o delineamento científico, além da estruturação da análise descritiva e estatística da pesquisa. No quarto capítulo estão expostos os resultados e discussões do levantamento dendrométrico, dos ensaios físicos-mecânicos, das correlações entre propriedades e a classificação das madeiras para a construção civil. No último capítulo são apresentadas as conclusões, limitações da pesquisa e as sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

Revisão Bibliográfica

2.1 A madeira na Construção Civil

Há milênios a madeira é utilizada como matéria prima pelo homem por meio de diversos recursos que auxiliaram na construção da sociedade, principalmente no que concerne à construção civil. De acordo com Di Mauro (2013), esse material é empregado em caráter permanente ou temporário, auxiliando nas etapas de construção.

Apesar da relevância histórica da madeira no desenvolvimento da sociedade, segundo Lahr (1983), foi apenas no século XVI que foram encontrados os primeiros manuscritos sobre a importância desse elemento no desenvolvimento social e da construção civil. Os registros de tais estudos foram de autoria de Galileu Galilei e determinaram as bases para o cálculo da tensão de flexão em vigas de madeira (LAHR, 1983).

Considerando a evolução do conhecimento das propriedades físicas e mecânicas da madeira, Lahr (1983) destacou a viabilidade do uso desse material para vários problemas práticos de engenharia. Tais problemas envolvem estruturas com tesouras contendo diagonais normais e invertidas; pórticos e arcos maciços ou treliçados; tesouras para arquibancadas com ou sem esteias, para coberturas de médio a grande porte; pontes com vigas principais de seções uni, bi e quadricirculares, pontes com vigas principais treliçadas, armada, protendida; estruturas especiais para armazenamento de cereais a granel e cimbramento. Além disso, a madeira também é usada de forma estrutural em instalações esportivas, centros comerciais, salas de exposições, marquises, pérgolas, reabilitação de edifícios históricos e etc; contribuindo para o projeto arquitetônico, devido a estética, leveza, isolamento, proteção contra fogo ou calor (ORBE *et al.*, 2010).

Diante disso, Calil Junior *et al.* (2003), descreveram as múltiplas finalidades desse material, destacando seu consumo na construção civil, nas indústrias

(moveleira, embalagens, bebidas, brinquedos, fósforos, lápis e papel), meios de transportes (barcos, carroças, vagões de trem e dormentes) e instrumento musicais.

Conforme observado, o conhecimento e o emprego da madeira na construção civil é antigo e vantajoso. Porém, no Brasil, os benefícios relacionados a sua vantagem, na maioria das vezes são desconhecidos, devido à forte tradição em construção de alvenaria até a falta da valorização nos cursos de arquitetura e engenharia (MEIRELLES *et al.*, 2008).

Ao longo do tempo as construções em madeira contribuíram em diversas formas resolvendo problemas como o déficit habitacional brasileiro, por meio de sua versatilidade e disponibilidade (ZANGIÁCOMO, 2007). Entretanto, foram associadas à moradia de baixo custo e de pequena durabilidade, devido as intempéries, incêndios e ataques de agentes xilófagos. Além da associação do seu uso ao desmatamento de forma predatória das florestas (MEIRELLES *et al.*, 2008). Desse modo, houve preferência para a construção em concreto/alvenaria sendo esse último bastante arraigado em nossas tradições desde a colonização, trazida pelos portugueses (MEIRELLES *et al.*, 2007; DI MAURO e DEMARZO, 2014).

A pesquisa de Batista (2007) evidenciou essa tradição, onde várias casas, em madeiras, deram lugar a casas de alvenaria na década de 70 e 80, no Município de Curitiba/PR. O autor atribuiu essa transição a uma deficiência da arquitetura em madeira no Brasil, ao desinteresse dos profissionais da construção civil e das universidades sobre este assunto e ao receio de utilização pela sociedade brasileira.

Silva *et al.* (2016) observaram uma resistência para utilização dos sistemas estruturais em madeira, onde 80% dos entrevistados preferiam morar em casa de alvenaria do que em casa construída pelo sistema *Wood Frame*, por não terem conhecimento sobre esse sistema. Além disso, mesmo após esclarecimentos gerais sobre o sistema *Wood Frame* as pessoas continuaram preferindo o sistema convencional em alvenaria. Portanto, trata-se de fatores que vão além dos resultados de limitações técnicas.

A madeira se destaca por apresentar aspecto de conforto visual e térmico (absorve 40 vezes menos calor que a alvenaria de tijolos), plasticidade no projeto, rapidez de montagem, durabilidade, fácil trabalhabilidade e boa relação resistência/peso (MEIRELLES *et al.*, 2007; MOLINA e CALIL JUNIOR, 2010). Trata-se de um material natural e renovável, que precisa de pouca energia para sua

produção. A emissão de CO₂ na atmosfera gerada na produção da madeira é menor comparada aos outros materiais utilizados na construção civil, como o aço e o cimento (CALIL JUNIOR *et al.*, 2003; MARTINS, 2010; FALK, 2010; MEIRELLES *et al.*, 2012).

Quando submetida ao fogo, a madeira não apresenta distorção devido a carbonização no seu perímetro externo, ficando o seu interior praticamente intacto, diferentemente do que é observado com o aço (PINTO, 2001; CALIL JUNIOR *et al.*, 2003). Portanto, em termos estruturais, quando comparada a outros materiais utilizados em construção civil, a madeira apresenta um excelente comportamento em situação de incêndio (MOLINA e CALIL JUNIOR, 2010).

Os sistemas estruturais em madeira têm por característica a rapidez na execução, pois o canteiro de obras possui praticamente serviços de montagem já que o manuseio do referido produto é versátil e de fácil trabalhabilidade (CALIL JUNIOR *et al.*, 2003). Silva *et al.* (2016) compararam o tempo de execução de um sistema convencional de alvenaria de 33,00 m² com o sistema *Wood Frame*, seguindo o mesmo protocolo de construção e observaram que o sistema convencional levou em torno de 4 a 6 meses para conclusão, enquanto o sistema *Wood Frame* demorou 30 dias.

Para se executar uma estrutura em madeira em um tempo otimizado, independente do sistema estrutural escolhido, é necessário um corpo técnico qualificado em todas as etapas da obra. Segundo Calil Junior *et al.* (2003) os carpinteiros geralmente não são preparados para executar tais tarefas. Logo, a falta de profissionais capacitados para o processamento dos elementos em madeira e a resistência cultural de nossa sociedade a esse material são os principais obstáculos a serem superados para implementar o crescimento de construções em madeira no Brasil.

O estudo de Martins (2010) enfatizou que a utilização da madeira requer conhecimento técnico e científico específicos por ser um material complexo. Por isso é necessário conhecer bem suas características para poder empregar da melhor forma. Porém, na maioria dos cursos de Engenharia Civil e Arquitetura existe pouca ênfase nas disciplinas voltadas ao estudo da madeira. A formação dos profissionais é com limitado conhecimento técnico nessa área acentua-se bem mais do que outras áreas do conhecimento e além disso há um número alarmante de profissionais que não procuram se especializar, gerando um efeito cascata, pois contribui, fortemente,

para o não uso dos materiais que contêm a madeira em sua estrutura e, assim, fazendo-a alçar o cargo de material secundário no setor construtivo (CALL JUNIOR *et al.*, 2003). Para mudar essa situação no Brasil, Meirelles *et al.* (2008) acredita que é necessário investir em pesquisa e em desenvolvimento da indústria de componentes em madeira, além de conscientizar a sociedade para o uso dos sistemas de construção em madeira.

2.2 Origem da madeira comercializada no Brasil

Por possuir a segunda maior reserva florestal no mundo com 5.160.000 km², correspondendo a 60,7% do território nacional (PORTAL BRASIL, 2012), o Brasil tem potencial para dominar, desenvolver e impulsionar o crescimento das construções empregando os sistemas estruturais em madeira. Porém, esse potencial é pouco explorado e segundo Meirelles *et al.* (2007) a tecnologia das construções em madeira existentes no Brasil foi perdida, juntamente com os mestres carpinteiros oriundos da Europa.

De acordo com o Sistema Brasileiro Florestal (2017) a Região Norte é o maior fornecedor de produtos madeireiros e não madeireiros para as demais regiões do Brasil e exterior. No ano de 2009 o Brasil absorveu 79% da madeira tropical processada na Amazônia. O estado de São Paulo e a Amazônia Legal¹ se destacaram por serem os maiores mercados de consumo, com 17% cada. Seguidos da Região Sul, Sudeste (exceto São Paulo) e o Nordeste (exceto o Maranhão) com o consumo de 15%,14% e 12%, respectivamente. A região Centro-Oeste (exceto Mato Grosso) consumiu 4% (SBF e IMAZON, 2010).

Entre o período de 2007 e 2009 o Estado do Rio Grande do Norte foi responsável pelo consumo de 2,61% da madeira serrada oriundas dos estados da Amazônia Legal. O Município do Natal recebeu 120.645 m³ desta madeira, sendo o 11º município do Brasil dentre 50 que mais receberam madeira da Amazônia Legal (IBAMA, 2010). Essa predominância é notória no estudo realizado por Oliveira (2016),

¹ A Amazônia Legal inclui todo o Bioma Amazônia, áreas de cerrado e campos naturais, abrangendo todos os Estados do Norte brasileiro (Acre, Amazonas, Amapá, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins), o Mato Grosso e parte do Maranhão (SBF, 2010).

demonstrando que na grande Natal 92% da madeira consumida são provenientes da região Norte, 4% do Rio Grande do Sul e os outros 4% são oriundas do estado do Maranhão. Ficou evidenciada a inexistência de comercialização nas madeiras de espécies nativas da Caatinga.

Em 2016, 76,08% da produção de produtos madeireiros e não madeireiros foram oriundos de floresta plantada (SFB, 2017). As florestas plantadas são composta, basicamente, pelas espécies exóticas *Pinnus* e *Eucalyptus* que se adaptaram muito bem ao Brasil. A indústria da construção civil é um dos grandes consumidores desses produtos, principalmente, quando surgiram produtos como o *Medium Density Fiberboard* (MDF) e *Oriented Strand Board* (OSB) (VALVERDE *et al.*, 2004; GAMA *et al.*, 2016).

2.3 Propriedades da madeira para a Construção Civil

A indicação de espécies de madeiras para qualquer finalidade na construção civil necessita da viabilidade de sua utilização por meio de propriedades adequadas, dimensões, formas, defeitos proibidos ou aceitáveis (IPT, 2013). A NBR 7190 (ABNT, 1997) destaca que para dimensionar elementos estruturais em madeira é necessário conhecer a umidade, a densidade, a resistência e a rigidez. A umidade e a densidade, juntamente com a variação dimensional, são propriedades fundamentais para indicação adequada do uso mais conveniente das espécies (CALIL JUNIOR *et al.*, 2003).

A caracterização tecnológica composta por características gerais (cor, cheiro, grã e textura), teor de umidade, densidade, estabilidade dimensional, durabilidade, trabalhabilidade e comportamento térmico, acústico, elétrica, mecânico e à secagem são fundamentais para se entender o comportamento da madeira sob diferentes solicitações, determinar as suas propriedades e possíveis utilizações na construção civil (MELLO, 2007).

Zangiacomo *et al.* (2013) ressaltaram a necessidade de conhecer as propriedades físicas e mecânicas da madeira, por meio de ensaios padronizados, para o correto emprego com vistas à segurança, funcionalidade, durabilidade e economia.

As madeiras são classificadas como materiais ortotrópicos, ou seja, têm propriedades mecânicas únicas e independentes nos três eixos perpendiculares entre si, o longitudinal, radial e tangencial. O eixo longitudinal corresponde à direção paralela às fibras, o eixo radial é perpendicular aos anéis de crescimento e o eixo tangencial é perpendicular às fibras e tangente aos anéis de crescimento (KRETCHMANN, 2010). Devido as propriedades serem condicionadas por sua estrutura anatômica, a NBR 7190 (ABNT, 1997) diferencia os seus valores de acordo com as três direções principais. Ressalta-se que as propriedades entre as direções radial e tangencial raramente tem importância prática (PFEIL e PFEIL, 2003).

As espécies florestais da Caatinga pertencem ao grupo das dicotiledôneas. A NBR 7190 (ABNT, 1997) enquadram as árvores desse grupo em quatro classes de resistência, conforme Tabela 2.1. As classes de resistência tem por objetivo o emprego de madeiras com propriedades padronizadas, orientando a escolha do material para elaboração de projetos estruturais (ABNT NBR 7190, 1997).

Tabela 2.1 Classes de resistência das dicotiledôneas

Classes	f_{c0k} (MPa)	f_{vk} (MPa)	$E_{c0,m}$ (MPa)	$\rho_{bas,m}$ (kg/m³)	ρ_{apa} (kg/m³)
C20	20	4	9.500	500	650
C30	30	5	14.500	650	800
C40	40	6	19.500	750	950
C60	60	8	24.500	800	1000

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997). Legenda: f_{c0} , Resistência característica a compressão paralela às fibras; f_v , Resistência característica ao cisalhamento, $E_{c0,m}$ Média do módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras; $\rho_{bas,m}$, densidade básica; $\rho_{apa,12}$, Densidade Aparente.

2.3.1 Umidade

O teor de umidade na madeira tem grande importância e influência direta nas propriedades de resistência e elasticidade, já que a madeira é um material higroscópico, ou seja, absorve umidade quando o ambiente está úmido e perde umidade quando o ambiente está seco. A umidade gera vários desafios de utilização na engenharia, portanto, merece primordial atenção (MELLO, 2007; GLASS e ZELINKA, 2010; CALIL JUNIOR *et al.*, 2003; PFEIL e PFEIL, 2003).

Devido a esta influência, a NBR 7190 (ABNT, 1997) estabelece que os projetos de estruturas de madeira devem ser realizados admitindo-se uma das classes de umidade especificada na Tabela 2.2. Essas classes de umidade tem a finalidade de ajustar as propriedades de resistência e rigidez em função das condições ambientais onde permanecerão as estruturas, além de auxiliar na escolha de métodos de tratamentos preservativos das madeiras.

Tabela 2.2 Classes de umidade

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

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997)

A umidade de equilíbrio apresenta variação em função da região que se encontra, por isso é importante ter o controle da umidade da madeira para evitar problemas ocasionados de suas alterações dimensionais (MELLO, 2007).

A madeira apresenta três fases de umidade: saturada (“verde”), ponto de saturação e umidade de equilíbrio.

São denominadas madeiras saturadas ou “verdes” quando há elevada umidade presente. Geralmente ocorre nas árvores vivas ou recém-abatidas, variando muito com as espécies e estação do ano. Isso ocorre devido à presença de água no sistema radicular, ou seja, seiva bruta e seiva elaborada. O teor de umidade pode variar de 30% a mais de 200% e geralmente é maior no alburno do que no cerne (CALIL JUNIOR *et al.*, 2003; PFEIL e PFEIL, 2003; GLASS e ZELINKA, 2010).

Após a árvore ser abatida e exposta ao meio ambiente, a mesma perde a água livre ou água de capilaridade continuamente, por meio da evaporação das moléculas de água, atingindo o ponto de saturação das fibras ou ponto de saturação. O teor de umidade do ponto de saturação é entre 20% e 30%. Durante a perda da água livre as propriedades físicas e mecânicas não mudam em função do teor de umidade (CALIL JUNIOR *et al.*, 2003; GLASS e ZELINKA, 2010). A NBR 7190 (ABNT, 1997). Tem-se como referência o ponto de saturação a 25% e admite que a resistência e a rigidez sofram pequenas variações para umidade acima de 20%.

Com menor velocidade, a madeira continua perdendo a água de capilaridade até alcançar o nível de umidade de equilíbrio. Para atingir esse estágio é necessário o equilíbrio, dependendo da espécie, entre a temperatura e a umidade relativa do ar. A NRB 7190/1997 estabelece em 12% a umidade de equilíbrio da madeira, em um ambiente com temperatura a 20 °C e umidade relativa do ar a 65%. Ressalta-se, que a saída da água livre não interfere na estabilidade dimensional, nas propriedades de resistência e de elasticidade. Dessa forma, espera-se que o processamento final da madeira para o uso ocorra em níveis de umidade inferiores ao ponto de saturação (CALIL JUNIOR *et al.*, 2003). Por meio da estufa é possível atingir os valores inferiores a umidade de equilíbrio.

Calil Junior *et al.* (2003) destacaram que quanto menor a umidade da madeira, maiores serão as vantagens pra seu uso, tais como redução do custo de transporte, por ficar mais leve; redução da movimentação dimensional, permitindo a obtenção de peças cujo desempenho será potencialmente mais adequado; possibilidade de melhor performance de acabamentos como tintas, vernizes e produtos ignífugos, aplicados na superfície das peças; redução da probabilidade de ataques de fungos; aumento da eficácia da impregnação da madeira contra a demanda biológica e elevação dos valores numéricos correspondentes às propriedades de resistência e elasticidade.

2.3.2 Densidade

Para Calil Junior *et al.* (2003) uma das propriedades físicas fundamentais para escolha do emprego de uma espécie de madeira é a densidade. Além de poder estimar o peso próprio da estrutura, a densidade tem uma relação direta com a resistência (quanto maior a densidade, maior é a quantidade de madeira por volume e maior é a resistência).

A NBR 7190 (ABNT, 1997) define dois tipos de densidade, a densidade básica e aparente. A densidade básica é definida como o quociente da massa seca pelo volume saturado e a densidade aparente é a razão entre a massa pelo volume com teor de umidade a 12%.

A densidade básica é bastante empregada nos inventários florestais e na caracterização da madeira para a uniformidade e comparação dos resultados. Trata-

se de uma relação imaginária que não representa uma característica física real da madeira (REZENDE, 1997).

Santos *et al.* (2013) expuseram a importância da densidade como indicadora de espécies com potenciais usos energéticos, associada com a produtividade volumétrica e poder calorífico. Segundo Oliveira (2015) a densidade básica é um dos principais índices de qualidade da madeira, estando relacionada com o conteúdo calórico e estimulando o interesse para a queima de madeiras pesadas.

Diferente da densidade básica, a densidade aparente é uma propriedade física real determinada por meio da umidade à 12%, que é o valor médio da umidade de equilíbrio universal da madeira com o ambiente (REZENDE, 1997). Portanto, o peso próprio de uma estrutura é determinado de acordo com a densidade aparente da espécie.

Considerando a natureza típica da madeira decorrente de sua estrutura anatômica, é difícil a aplicação das definições de densidade absoluta e relativa (CALIL JUNIOR *et al.*, 2003). A estrutura típica da madeira também influencia na variação de densidade significativa entre espécies, dentro das espécies e dentro da mesma árvore nas direções radiais e longitudinais, aumentando em função da idade (PANSKIN e ZEEUW, 1980; JAMMAL FILHO, 2011).

Latorraca e Albuquerque (2000) consideraram a densidade aparente como uma das propriedades físicas mais importantes devido sua associação com a maioria das demais propriedades. Por ser de fácil determinação e apresentar boa correlação com as propriedades mecânicas da madeira, a densidade aparente é uma das propriedades físicas mais estudadas no mundo (PANSKIN e ZEEUW, 1980).

Dias *et al.* (2000) relataram que a densidade aparente se relaciona diretamente com a resistência à compressão paralela às fibras; resistência à tração paralela às fibras; resistência ao cisalhamento; resistência convencional no ensaio de flexão estática; dureza paralela às fibras e dureza normal às fibras, exceto, para a resistência à tração normal às fibras e resistência ao fendilhamento.

Segundo Lima *et al.* (1996), as espécies de madeira que apresentaram maiores densidades são as mais resistentes aos esforços mecânicos. Porém, as estruturas anatômicas podem influenciar na resistência aos esforços mecânicos. O eucalipto, que pertence à classe das coníferas, apresentou uma intensa influência da densidade na resistência mecânica (LOBÃO *et al.*, 2004).

A densidade pode ser alterada devido às características da própria espécie, por influência externa, como variações ambientais e intervenções silviculturais (LATORRACA e ALBURQUEQUE, 2000). Para Calil Junior *et al.* (2003) a presença de nós, resinas e extratos podem aumentar o valor da densidade, sem contribuir para o aumento da resistência.

Latorraca e Albuquerque (2000) também destacaram as variações da densidade e das propriedades da madeira conforme o raio de crescimento, havendo uma diferença entre o lenho juvenil e adulto. A partir da medula para a casca da árvore, verifica-se o aumento da massa específica e espessura das paredes celulares em anéis sucessivos. A densidade tende a aumentar com a idade, juntamente com as espessuras das paredes celulares e comprimento da célula e tende a diminuir a sua largura. Os anéis posteriores vão assumindo gradualmente as características da madeira adulta.

Com isso, o conhecimento da densidade básica ou aparente das espécies arbóreas da Caatinga é um dos parâmetros fundamentais para selecionar as espécies com possíveis características para uso na construção civil.

2.3.3 Estabilidade dimensional

As propriedades de retração e de inchamento da madeira caracterizam a estabilidade dimensional. Por ser um material anisotrópico, esses fenômenos acontecem nas três direções principais da madeira: axial, radial e tangencial, em proporções diferentes (ABNT NBR 7190, 1997; CALIL JUNIOR *et al.*, 2003; GLASS e ZELINKA, 2010)

A estabilidade dimensional está diretamente ligada à presença de água na madeira, onde a mesma incha quando ganha umidade e encolhe quando perde. A madeira é considerada estável quando apresenta umidade acima do ponto de saturação. As variações dimensionais se manifestam abaixo do ponto de saturação, devido às cadeias de celulose e as microfibrilas se afastarem ou se aproximarem de acordo com a quantidade de água presente (GLASS e ZELINKA, 2010; CALIL JUNIOR *et al.*, 2003).

As variações dimensionais podem resultar em surgimento de defeitos. Calil Junior *et al* (2003) destacaram que a diferença entre as porcentagens de retração nas direções radial e tangencial é um dos principais fatores para o aparecimento de trincas, rachaduras, empenhamento, encanoamentos, torcimentos, entre outros defeitos oriundos das ações da secagem. Tais direções apresentam as maiores porcentagens de retração. Essa propriedade pode ser influenciada pela densidade, dimensões e taxa de secagem (GLASS e ZELINKA, 2010).

A Braúna apresentou a maior porcentagem de retração tangencial no estudo de Lima *et al.* (1996), com 6,42%. As espécies Pereiro com 3,73% e Arapiraca com 3,21% obtiveram os menores valores. Com relação a retração radial destacaram-se o Pau branco, o Feijão brabo e o Angico manso com as maiores porcentagens, 3,34%, 3,23% e 3,23%, respectivamente. A Arapiraca com 2,18%, seguidos da Aroeira 2,27% e do Angico Brabo com 2,35% apresentaram os menores valores de retração radial. A retração volumétrica seguiu o resultado da retração radial, com o Pau branco apresentando o maior valor com 11,54% e a espécie Arapiraca obteve a menor porcentagem com 7,91%.

Para a espécie Sabiá, Nascimento (1998) encontrou os seguintes valores de retratibilidade 2,7%, 4,7% e 0,5%, nas direções radial, tangencial e axial, respectivamente.

2.3.4 Resistência mecânica

A NBR7190:1997 define resistência como a aptidão da matéria suportar tensões. Por ser um material heterogêneo e complexo, as propriedades de resistência e rigidez da madeira são influenciadas pela disposição dos elementos anatômicos (CALIL JUNIOR *et al.*, 2003; MELLO, 2007). No caso das espécies arbóreas da Caatinga que são do grupo das dicotiledôneas, as fibras são as responsáveis pela resistência mecânica. É na direção das fibras (axial ou longitudinal) que a madeira possui maiores valores de resistência e elasticidade (CALIL JUNIOR *et al.*, 2003).

2.3.4.1 Resistência a Compressão

Existem dois tipos de resistência à compressão na madeira, a paralela e a perpendicular às fibras. Na primeira situação, o valor da resistência é bem superior pois as forças agem paralelamente à direção das fibras, utilizando essa propriedade principalmente para se dimensionar pilares (MELLO, 2007). Na resistência a compressão perpendicular às fibras a força atuam na direção normal ao comprimento, provocando seu esmagamento. Por isso, sua resistência é em torno de 25% do valor da resistência a compressão paralela às fibras (CALIL JUNIOR *et al.*, 2003).

O módulo de elasticidade é determinado a partir do ensaio da resistência a compressão. Esse ensaio é tão importante que em função dele pode-se estimar os demais valores de resistência e rigidez da madeira de acordo com as relações da caracterização simplificada da resistência da madeira da NBR 7190 (ABNT, 1997).

Utilizando a Norma nº 373:1957 da *British Standard (BRITISH STANDARD INSTITUTION, 1957)*, Lima *et al.* (1996) determinaram a resistência a compressão paralela às fibras de algumas espécies da Caatinga. Os valores médios observados para a madeira a 15% de umidade foram satisfatórios. A Jurema-Preta com 87,00 MPa foi a espécie que apresentou a maior resistência, seguido da Violeta (68,74 MPa), Angico brabo (57,97 MPa), Aroeira (57,97 MPa), Angico manso (51,03 MPa), Pau branco (50,50 MPa) e Braúna (49,84 MPa). O Pereiro apresentou a menor resistência com 47,05 MPa.

No estudo de Nascimento (1998) o Sabiá apresentou 49,20 MPa de resistência a compressão paralela às fibras. Os ensaios foram realizados baseados nas normas NBR 11.941 – MB 1269, e NBR 6230 – MB 26.

2.3.4.2 Resistência a tração

Assim como na resistência a compressão, existem dois tipos de resistência à tração na madeira, a resistência paralela e a perpendicular às fibras. Na resistência paralela às fibras a madeira apresentam alta resistência (superior a resistência a compressão) e baixa deformação. A ruptura ocorre por deslizamento entre as fibras ou por ruptura de suas paredes (CALIL JUNIOR *et al.*, 2003).

A madeira tem baixa resistência e deformação quando solicitada aos esforços de tração perpendicular às fibras, devido os esforços atuarem na direção perpendicular às fibras, tendendo a separá-las. Por isso, deve-se evitar situações que conduzam a madeira para ser submetida a esta forma de solicitação (CALIL JUNIOR *et al.*, 2003).

Nascimento (1998) determinou a resistência a tração normal do Sabiá, que apresentou uma resistência de 6,90 MPa.

2.3.4.3 Cisalhamento

A resistência ao cisalhamento tende a ser diferente a depender do plano de atuação das tensões. A de maior resistência ocorre quando o plano de atuação é perpendicular à direção das fibras, porém, provavelmente a peça romperá antes por compressão normal às fibras. Quando o esforço de cisalhamento ocorrer paralelo às fibras, a peça tende a romper por cisalhamento horizontal. Se a direção das tensões for no sentido radial da árvore, existe uma tendência das fibras rolarem umas sobre as outras, chamado de cisalhamento *rolling* (CALIL JUNIOR *et al.*, 2003). Segundo Mello (2007) o cisalhamento horizontal é o mais crítico devido à separação e o escorregamento entre as células de madeira.

Lima *et al.* (1996) encontraram bons valores médios de resistência ao cisalhamento para as madeiras secas ao ar, variando de 15,25 MPa a 19,08 MPa. As espécies Angico Brabo e Jurema-Preta tiveram os melhores e praticamente os mesmos resultados, com 19,08 MPa e 19,06 MPa, respectivamente. O Pereiro obteve o pior valor com 15,25 MPa. Na pesquisa de Nascimento (1998), o Sabiá apresentou resistência ao cisalhamento de 12,50 MPa.

2.4 Classificação da madeira na construção civil

A classificação da madeira de acordo com suas características físicas e mecânicas são fundamentais para aproveitar ao máximo seu potencial. Segundo Carreira (2012) a classificação contribui para o aumento na segurança das estruturas e para o uso racionalizado, pois quando as madeiras são classificadas de forma

correta, é possível utilizar peças de melhor qualidade nas posições de maior solicitação da estrutura e as de qualidade inferior nas de baixa solicitação.

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT (2013) classifica o uso da madeira na construção civil em três grupos:

- Construção civil pesada
 - Externa: Estruturas pesadas, estacas marítimas, trapiches, pontes, obras imersas, postes, cruzetas, escoras, estacas, dormentes ferroviários, pontaletes, portas, torres de observação, vigas, caibros e pranchas;
 - Interna: Carpintaria resistente em geral, tesouras, terças, vigas, treliças, estruturas, colunas, cruzetas, tábuas, caibros e ripas.
- Construção civil leve
 - Externa: e uso temporário: Moirões, pontaletes, andaimes, vigas, tábuas, caibros, caixilhos, guarnições, ripas, sarrafos, formas para concreto;
 - Interna:
 - Decorativa: Tábuas, lambris, painéis, molduras, perfilados, guarnições, rodapés, sarrafos;
 - Estrutural: Vigas, caibros, ripas, sarrafos, alçapões;
 - Esquadrias: Portas, folha de porta, venezianas, caixilhos, batentes, janelas, sarrafos;
 - Utilidade geral: Tábuas, sarrafos, ripas, cordões, forros, guarnições, arremate meia cana, rodapés, corrimãos.
- Assoalho: são madeiras usadas em pisos, tábuas corridas, tacos, tacões, blocos, estrados.

Com base no estudo do IPT (2013) e no estudo de parceria entre SUDAM e IPT (1981) é possível classificar as madeiras. Estes estudos propuseram requisitos técnicos necessários para definição dos principais usos das madeiras duras tropicais, que estão expostos na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 Requisitos técnicos para classificação da madeira

Classificação do Uso		Propriedades Necessárias
Construção Civil Pesada	Externa	<ul style="list-style-type: none"> • Massa específica (alta); • Propriedades mecânicas (altas a muito altas); • Duráveis ou tratáveis; • Boa fixação mecânica.
	Interna	<ul style="list-style-type: none"> • Massa específica (alta); • Resistência ao cisalhamento (alta); • Resistência convencional na flexão e resistência à compressão paralela às fibras (alta a muito alta); • Qualidade de desdobro (moderado a fácil); • Fixação mecânica (boa).
Construção Civil Leve	Externa	<ul style="list-style-type: none"> • Massa específica (média a baixa); • Resistência convencional na flexão (alta); • Retratibilidade (média a muito baixa); • Duráveis ou tratáveis; • Fixação mecânica (regular a muito boa); • Trabalhabilidade (regular a muito boa); • Qualidade de desdobro (moderada a fácil).
	Interna - Decorativa	<ul style="list-style-type: none"> • Retratibilidade (média a muito baixa); • Acabamento (regular a bom); • Qualidade de secagem ao ar (fácil a moderadamente difícil); • Aparência e cor (boa qualidade); • Condutividade (média a baixa); • Fixação mecânica (regular a muito boa).
	Interna – Utilidade Geral	<ul style="list-style-type: none"> • Massa específica (média a leve); • Retratibilidade e acabamento (regular a bom); • Qualidade de desdobro (fácil a muito fácil); • Qualidade de secagem ao ar (moderadamente difícil a fácil).
	Interna – Estrutural	<ul style="list-style-type: none"> • Massa específica média); • Resistência convencional na flexão e resistência ao cisalhamento (média a muito alta); • Fixação mecânica (regular a boa); • Qualidade de secagem (moderadamente difícil a muito fácil); • Qualidade de desdobro (moderada a muito fácil).
Assoalhos Domésticos	-	<ul style="list-style-type: none"> • Massa específica (média ou alta); • Dureza (alta a muito alta); • Resistência à compressão paralela as fibras (alta a muito alta); • Retratibilidade (média a muito baixa); • Trabalhabilidade (regular a boa); • Acabamento (bom); • Qualidade de desdobro (moderada a muito fácil); • Qualidade de secagem (moderadamente difícil a fácil).

Fonte: Elaboração própria, segundo os estudos de SUDAM e IPT (1981).

2.5 Sistemas construtivos e elementos estruturais em madeira

Os sistemas construtivos em madeira constituem uma opção viável para a habitação por serem resistentes, com diferencial competitivo técnico, mercadológico e comprometido com o meio ambiente (MOLINA e CALIL JUNIOR, 2010). Existem diferentes sistemas e elementos construtivos em madeiras disseminadas pelo mundo compatível com concreto, aço e alumínio, principalmente nos países Europeus, Estados Unidos da América (EUA), Canadá e Japão (OLIVEIRA, 2016). No entanto, o Brasil encontra-se defasado dessas tecnologias, apesar do grande potencial madeireiro nacional (ESPÍNDOLA, 2010).

Em consonância com o objetivo desse trabalho, buscou-se elencar sistemas construtivos compatíveis com as características peculiares da madeira da Caatinga, que por possuírem pequeno diâmetro e fuste curto, têm indicação de seu uso restrito a alguns sistemas e elementos construtivos. A seguir serão abordados os sistemas e elementos construtivos que podem ser adequados para emprego da madeira desse bioma, desde o mais simples até o mais complexo.

2.5.1 Sistemas construtivos

- **Pilar e viga**

É o método construtivo mais empregado no Brasil e em países com pouco desenvolvimento tecnológico no setor de construção em madeira, principalmente com o uso em madeira serrada de maneira artesanal (BATISTA, 2007; MELLO, 2007). O comportamento do sistema pilar e viga é similar as estruturas em concreto armado onde os pilares e vigas têm função estrutural, funcionando como pórticos, transferindo os esforços para a fundação.

É um sistema bastante flexível, que permitem independência entre a estrutura e as vedações proporcionando inúmeras composições arquitetônicas com diferentes materiais. Sua execução é facilitada devido aos poucos elementos necessários a sua montagem (MELLO, 2007).

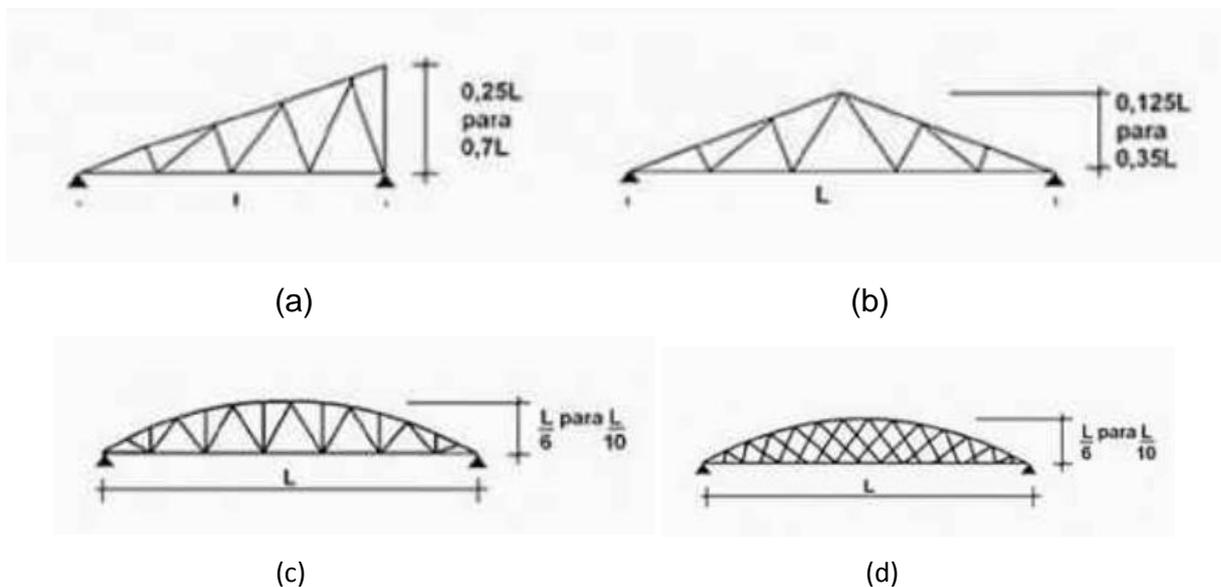


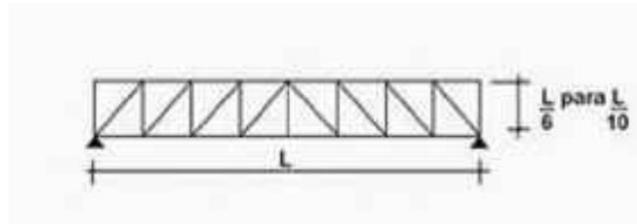
Figura 2.1 Sistema pilar e viga com elementos em MLC
Fonte: Carpinteria (2018)

- **Treliças em coberturas**

Segundo Calil Junior e Dias (1997) o sistema treliçado em coberturas em madeira é, provavelmente, mais comum do que qualquer outro material estrutural. Os mesmos autores afirmam que as treliças possuem função de receber e transferir as cargas dos pontos de aplicações (usualmente das terças) para os pontos de apoio.

Considerando a arquitetura, tipo e comprimento das telhas, condições de apoio, vão e economia, escolhe-se o tipo de treliça a ser empregada (CALIL JUNIOR e MOLINA, 2010). As treliças podem ser de banzo inclinado pra uma ou duas águas, treliça bowstring, belfast ou de banzos paralelos, conforme figura 2.2.





(e)

Figura 2.2 Tipos de treliça. (a) treliça de banzo inclinado para uma água; (b) treliça de banzo inclinado para duas águas; (c) treliça bowstring; (d) treliça belfast; (e) treliças de banzos paralelos.

Fonte: Calil Junior e Dias (1997)

As cargas devem ser aplicadas nos nós das treliças, evitando momentos secundários. Com isso, os elementos da treliça serão submetidos apenas aos esforços normais. Para Calil Junior e Molina (2010) as terças das treliças bowstring devem ser colocadas entre os nós, deliberadamente, criando um momento secundário para anular o momento causado pelo produto da carga axial tangencial e a excentricidade do banzo.

- **Wood Frame**

O sistema *Wood Frame* é um sistema construtivo industrializado, que utiliza madeira reflorestada tratada de baixa densidade. É formado pela combinação da madeira de reduzida seção (espessura de 40 mm, largura de 90 mm e espaçamento de 400 mm ou 600 mm) com painéis que compõem pisos, paredes e cobertura combinados e/ou revestidos com outros materiais, tais como o gesso e a *Oriented Strand Board* (OSB), conferindo rigidez, forma, sustentação à edificação, além de conforto térmico, acústico e proteção contra intempéries e fogo. Esse sistema é tão resistente quanto às edificações em concreto armado (MOLINA e CALIL JUNIOR, 2010; SILVA *et al.*, 2016).

O *Wood Frame*, segundo o estudo de Silva *et al.* (2016) apresenta a melhor relação custo-benefício comparado ao sistema construtivo tradicional de alvenaria. Não é sem motivo que ele tem sido o mais utilizado mundialmente para construção residencial em madeira de até cinco pavimentos. Nos EUA por exemplo, 95% das casas são nessa modalidade construtiva (MOLINA e CALIL JUNIOR, 2010; LEITE e

LAHR, 2015). No Brasil esse sistema está sendo implementado e é visto como promissor em um mercado carente de soluções sustentáveis. Segundo Molina e Calil Junior (2010), a primeira casa construída neste sistema no Brasil foi em 2001, na cidade de Viamão no Rio Grande do Sul.



Figura 2.3 Sistema *Wood Frame*
Fonte: Construção Mercado (2018)



Figura 2.4 Sistema *Wood Frame*
Fonte: Atos Arquitetura (2018)

- **Gridshell**

O *Gridshell* é um sistema estrutural complexo e tridimensional composto por peças de madeira com pequenas dimensões (ripas) contínuas fixadas por pinos em suas intersecções compondo uma malha. Após a fixação, a malha é flexionada formando curvas de acordo com a configuração desejada, quando então tem os nós enrijecidos resultando em uma estrutura. A execução desse sistema deverá ser realizada com material leve, deformável e com resistência apropriada para suportar as cargas de atuação após a construção (KUNZ e PRAUCHNER, 2015).

Para Kunz *et al.* (2016) o grande atrativo do sistema Gridshell é possibilitar a execução de superfícies curvas a partir de elementos retos. Esse sistema apresenta um interessante desempenho estrutural para grandes vãos. Porém, a modelagem e a execução são complexas o que pode ser um entrave para o uso desse sistema no Brasil.



Figura 2.5 Sistema Gridshell
Fonte: *Gridshell.it* (2018)



Figura 2.6 Detalhe das ligações do sistema Gridshell

Fonte: *Carpenter Oak e Woodland (2018)*

- **Estruturas Lamelares**

Este sistema chegou ao Brasil no século XX com a finalidade de cobrir ambientes com grandes áreas como galpões industriais, ginásios, auditórios, pavilhões de exposição, garagens, depósitos, igrejas, salões de clube e etc. (FERREIRA, 1999). Cesar (1991) atribuiu esta chegada a vinda de engenheiros e de mão de obra europeia, que transferiram seus conhecimentos para os carpinteiros brasileiros.

As estruturas lamelares de madeira são constituídas por peças relativamente curtas e de pequena espessura, denominadas lamelas, que se interligam formando uma malha losangular tridimensional leve, com conforto visual e eficiente comportamento estático. Essas estruturas são destinadas a coberturas e podem ter formatos cilíndrico, parabólico, em quatro águas e em cúpula (FERREIRA, 1999).

Segundo Ferreira (1999) as principais vantagens desse sistema é a industrialização das construções, devido a padronização das lamelas; a possibilidade de utilização de peças de comprimento reduzido; a aplicação da vedação diretamente sobre a estrutura; a fácil e rápida montagem do sistema; o fato de requerer mão de obra de fácil treinamento e a abóbada lamelar apresentar bela superfície interna.



Figura 2.7 Sistema Estrutura Lamelar
Fonte: *Tripadvisor* (2018)

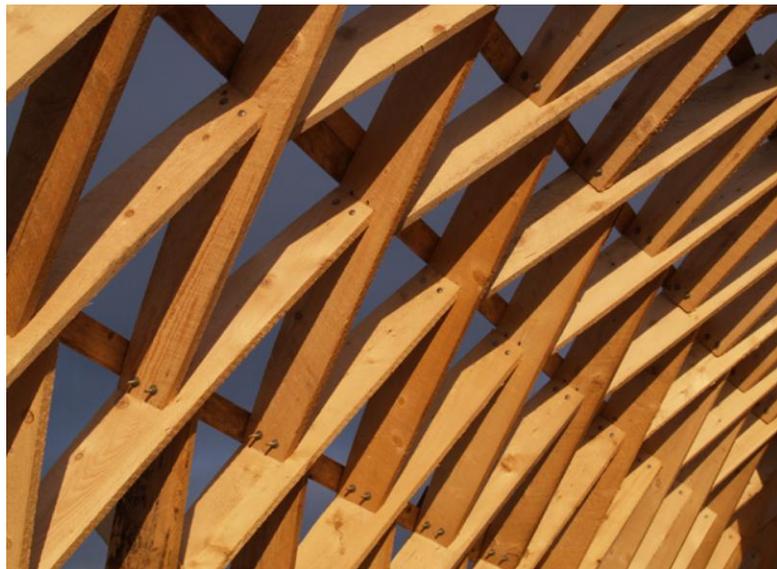


Figura 2.8 Detalhe das ligações do sistema Estrutura Lamelar
Fonte: *Dalcoastal studio* (2018)

2.5.2 Componentes ou elementos de sistemas construtivos

- **Madeira Laminada Colada (MLC)**

A MLC é um material engenheirado constituído por peças laminadas, com espessura em torno de 2,00 cm, e coladas entre si de modo que as fibras fiquem paralelas. As lamelas buscam diminuir os defeitos da madeira e deixar o elemento estrutural mais homogêneo e isotrópico possível (MARTINS, 2010; CARPINTERIA,

2016). A MLC pode ser empregada como elemento estrutural curvo ou reto em pequenas passarelas, escadas, abrigos e em grandes estruturas, podendo atingir vãos de até 100 m (CARPINTERIA, 2016; CAVALHEIRO, 2014).

A análise de adesão da cola entre as lâminas é fundamental para executar um elemento estrutural em MLC. Cavalheiro (2014) destacou que é necessário analisar fatores anatômicos, físicos ou químicos dos materiais utilizados. Um desses fatores é a massa específica da madeira empregada, uma vez que, o número de vazios, a porosidade e a permeabilidade tendem a ser menores quanto menor for a massa específica, conseqüentemente, haverá uma maior aderência entre a resina e madeira. Para uma madeira com alta massa específica, a aderência das lâminas por cola fica fragilizada. Além desses fatores que influenciam na ligação das peças em MLC, existem outros como extrativos da madeira, rugosidade da superfície, temperatura de colagem, pressão na adesão, teor de umidade e variação da temperatura no ambiente (CAVALHEIRO, 2014).



Figura 2.9 Elementos estruturais em MLC
Fonte: Carpinteria (2018)



Figura 2.10 Detalhe da peça em MLC
Fonte: *Build with BMC*

- **Madeira Serrada**

A madeira serrada é resultado do processamento mecânico de toras (incluindo as operações de desdobro, esquadramento, destopo das peças e o pré-tratamento), transformando em peças quadrangulares ou retangulares, de menor dimensão (IPT, 2009).

A madeira serrada é o elemento estrutural mais utilizado na construção civil no Brasil, sendo intensamente empregada em estruturas de coberturas (MELLO, 2007). Na grande Natal 77% da madeira comercializada para a construção é madeira serrada (OLIVEIRA, 2016).

Na Tabela 2.4 estão representadas às nomenclaturas e dimensões dos produtos de madeira serrada de acordo com as normas que as regulamentam NBR 7203 (ABNT, 1982) – Madeira Serrada e Beneficiada, NBR 14807 (ABNT, 2002) – Peças de madeira serradas e a NBR 7190 (ABNT, 1997).

Tabela 2.4 Nomenclatura e dimensões de peças de madeira serrada

NORMAS			
Nome da peça	NBR 7203 (ABNT, 1982)	NBR 14807 (ABNT, 2002)	NBR 7190 (ABNT, 1997)
	Esp (cm) / Larg (cm)	Esp (cm) / Larg (cm)	Esp. mínima (cm)
Pranchões	>7,0 / > 20,0	7,1 – 16,1 / >16,1	-
Prancha	4,0 – 7,0 / > 20,0	3,9 – 7,0 / > 16,1	-
Viga	>4,0 / 11,0 – 20,0	4,0 – 8,0 / 8,1 – 16,0	5,0
Vigota	4,0 – 8,0 / 8,0 – 11,0	-	5,0
Caibro	4,0 – 8,0 / 5,0 – 8,0	4,0 – 8,0 / 5,0 – 8,0	2,5
Tábua	1,0 – 4,0 / >10,0	1,0 – 3,7 / >10,0	-
Sarrafo	2,0 – 4,0 / 2,0 -10,0	2,1 – 3,9 / 2,0 – 9,9	2,5
Ripa	<2,0 / <10,0	1,0 – 2,0 / 2,0 – 5,0	-

Fonte: NBR 7203 (ABNT, 1982), NBR 14807 (ABNT, 2002) e NBR 7190 (ABNT, 1997). Legenda: Esp., espessura; Larg., largura.

Observa-se que a NBR 7203 (ABNT, 1982) e NBR 14807 (ABNT, 2002) divergem com relação às dimensões para pranchão, prancha, viga, tábua, sarrafo e ripa. A espessura mínima adotada pela NBR 7190 (ABNT, 1997) se contrapõe aos limites especificados pela NBR 7203 (ABNT, 1982) e NBR 14807 (ABNT, 2002). Essas divergências observadas geram transtornos para o setor industrial (OLIVEIRA *et al.*, 2008).



Figura 2.2 Elementos estruturais em madeira maciça serrada

Fonte: Carpinteria (2018)

- **Madeira roliça**

Outro elemento estrutural adotado pelos sistemas construtivos é a peça de madeira roliça (MELLO, 2007). A principal vantagem desse elemento comparada as peças serradas é a baixa energia consumida para seu processamento que compreende desde o corte da árvore a comercialização. Além disso, esse tipo de madeira apresenta alto rendimento no desdobramento, estimado entre 85% a 90%, enquanto a madeira serrada tem rendimento entre 40% a 50%. Por não cortar as fibras longitudinalmente, mantendo a madeira em sua estrutura original, as peças apresentam boa resistência mecânica (ZANGIÁCOMO, 2007; BRITO, 2010; TERIBELE, 2011).



Figura 2.3 Elementos estruturais em madeira roliça
Fonte: Eucatratu_s_(2018)

Partel (2006) apresentou as características sustentáveis da madeira roliça das quais podem viabilizar o seu uso em pequenos diâmetros, como o potencial e maior aproveitamento da madeira nas etapas de manejo florestal; adequação a diversos sistemas estruturais e construtivos; baixos consumos de energia e de resíduos gerados no processo de produção; possibilidade de desmontagem, aproveitamento dos resíduos no processo de transformação e viabilidade econômica.

2.6 A Caatinga

A Caatinga corresponde a um dos maiores biomas brasileiros abrangendo parte dos estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia, Maranhão e o norte de Minas Gerais. Com uma imensa variedade de vida e um acentuado grau de endemismo, a Caatinga é o único bioma 100% brasileiro (MMA, 2017; ALVES *et al.*, 2009). Esse bioma cobre 11% do território nacional, com área de aproximadamente 844.453 km² e 95% do território do Rio Grande do Norte (MMA, 2011). O clima semiárido, também chamando de “Polígono das Secas”, tem como principais características baixos índices pluviométricos anuais (entre 250 mm e 800 mm). Por se situar entre a Linha do Equador e o Trópico de Capricórnio (em torno de 3° a 18° sul), dispõe de abundante intensidade luminosa, todo o ano. As altitudes são relativamente baixas. Portanto, apresenta clima quente, com temperatura entre 24 e 30 °C. A baixa umidade do ar e solo seco também são características predominantes da Caatinga (SAMPAIO, 2010; MAIA, 2012).



Figura 2.4 Mapa Bioma da Caatinga

Fonte: IBAMA (2008)

As plantas e animais desse bioma possuem particularidades diversas para sobreviver às condições adversas da região. Alguns desses atributos fundamentais para a sobrevivência correspondem a alta diversidade e heterogeneidade das espécies; porte baixo de todos os seres (plantas e animais); proteção do solo pelas folhas e plantas; proteção da água superficial onde observa-se a vegetação mais alta

nas margens dos rios, córregos e riachos, evitando o aquecimento e a evaporação excessiva da água e a adaptação das espécies nativas às condições da semiáridade (MAIA, 2012).

A vegetação da Caatinga tem papel fundamental nas atividades socioeconômicas e de sobrevivência de cidades e comunidades da região. Os estudos Mendes (1997), Maia (2012) e Barbosa (2015) destacam vários empregos possíveis das espécies arbóreas da Caatinga, tais como a produção de lenha, carvão, estacas, mourões, escoramentos e madeira para pequenas construções. Além dos produtos não madeireiros, como a extração de óleo, cera, borracha, resina, forragem, caça, tanino, fármacos, cosméticos, perfumes, fibras e frutos. Atualmente existe um paradigma sobre Caatinga, que comumente é rotulada como um ecossistema pobre em espécies e endemismos, o “patinho feio” dos ecossistemas brasileiros em que só há seca (SIQUEIRA FILHO, 2012). Porém, este bioma é extremamente rico e fornece um leque de utilizações para a sociedade, com um enorme potencial para ser explorada.

Dos vários produtos obtidos por meio das espécies arbóreas da Caatinga, os principais são a lenha e o carvão, usados para geração de energia (energia da biomassa) (PAREYN, 2010). No ano de 2016, 19,64% das lenhas e 6,45% do carvão extraídos no Brasil (extração vegetal e silvicultura) foram originários da Região Nordeste. O Estado do Rio Grande do Norte forneceu em 2016, 925.657 m³ de lenha e 1.803 t de carvão, sendo 6,87% da lenha e 3,16% do carvão por meio da silvicultura (IBGE, 2016).

Como maior consumidor desse produto destaca-se o setor industrial cerâmico brasileiro, onde 50,1% da energia consumida foi oriunda da lenha no ano de 2015 (MME, 2016). Por meio da lenha, do carvão e dos produtos florestais não madeireiros, a vegetação da Caatinga sustenta a economia da região (MMA, 2011). No Estado do Rio Grande do Norte, a indústria cerâmica se destaca economicamente como sendo a principal e muitas vezes a única atividade para alguns municípios (RIO GRANDE DO NORTE, 2000).

Em outras regiões do Nordeste também há esta dependência econômica, como no Estado de Pernambuco, onde a produção de lenha e carvão gera em torno de 9.000 empregos diretos e outros 9.000 indiretos. Tais empregos incluem

trabalhadores sem-terra (lenhadores), pequenos e médios produtores, transportadores e etc (PAREYN, 2010).

Lima júnior *et al.* (2015) destacaram a grande dependência do Nordeste com os produtos energéticos oriundos da Caatinga. De acordo com o Rio Grande do Norte (2000) o Estado tem elevada dependência da energia de biomassa produzida por meio da lenha e do carvão, sendo utilizados no setor domiciliar, industrial e comercial. No Estado, a lenha é atrativa e competitiva por possuir um preço inferior aos dos demais combustíveis, o que a torna a principal fonte de energia (CARNEIRO *et al.*, 2013). Em um estudo realizado na região Seridó, as espécies Jurema-preta e Mororó se destacaram como as que produziram mais energia por m³ (SANTOS *et al.*, 2013).

De acordo com o MME (2016), entre os anos de 1970 a 2014, dos quatro maiores setores consumidores de lenha (residencial, industrial, agropecuário e transformação – produção de carvão vegetal e geração elétrica), o setor residencial sofreu um maior declínio no consumo. O setor industrial e de transformação tiveram um pequeno aumento no consumo; houve oscilação no setor de transformação; enquanto que o setor agropecuário se manteve constante, conforme (Figura 2.13).

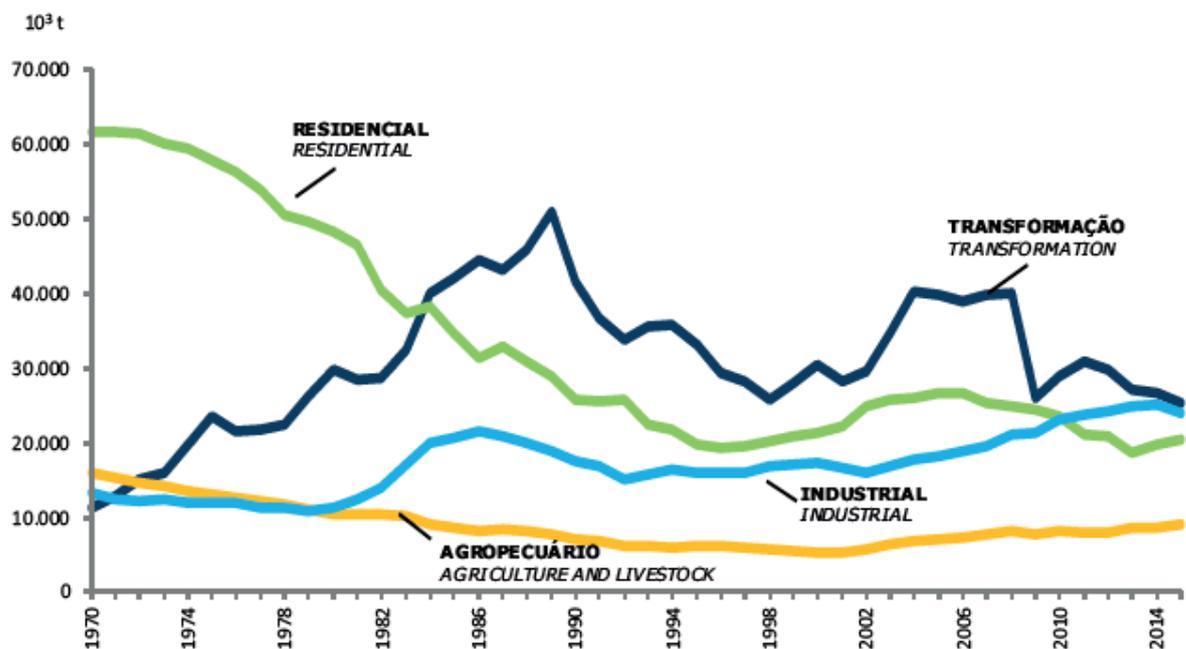


Figura 2.14 Consumo de lenha
Fonte: MME (2016)

Para Pareyn (2010) a exploração das espécies arbóreas da Caatinga ocorre basicamente sob três formas:

- Desmatamento legal, autorizado pelos órgãos competentes, para fins de uso alternativo do solo (agricultura, pastagem);
- Manejo florestal sustentável, autorizado pelos órgãos competentes, para fins de produção madeireira;
- Desmatamento ilegal, para fins de uso alternativo do solo e produção madeireira.

Existe o predomínio da exploração por desmatamento, ilegal ou legal, devido a pouca área de manejo florestal (RIEGELHAUPT *et al.*, 2010b). A abundância da oferta ilegal de lenha e carvão a baixos preços potencializa o consumo desses produtos contribuindo para o desmatamento ilegal desse bioma (PAREYN, 2010).

Continuando com o ritmo de exploração e devastação de forma inadequada, futuramente, ocorrerá a condição de deserto. Haverá a falta de vida vegetal e animal, perda de fertilidade e energia vital do solo, aumento dos extremos de temperatura, poucos dias com enchentes, longas secas e até a ocorrência de tempestade de areia (MAIA, 2012).

Uma alternativa tecnicamente viável para amortizar a desertificação e impedir o processo de degradação da Caatinga é por meio do Manejo Florestal Sustentável. O manejo tem como objetivo a preservação da vegetação com cortes rasos, em um ciclo de 15 anos, com eventuais restrições a árvores isoladas. A recuperação do local desmatado se dá naturalmente por rebrota de cepas (MEUNIER, 2014). Deve-se averbar 20% de sua superfície como reserva legal e manter, em torno, de 5% adicional como Áreas de Preservação Permanente – em terrenos de alta declividade, beira de corpos d'água e etc. (RIEGELHAUPT *et al.*, 2010b). Por meio da manutenção da sustentabilidade produtiva, o manejo movimenta a economia da região e pode, simultaneamente, desenvolver outras atividades produtivas, tais como: apicultura, produtos florestais não-madeireiras, etc. (PAREYN, 2010; MAIA, 2012).

O manejo florestal e os objetivos da conservação do bioma Caatinga se completam (RIEGELHAUPT *et al.*, 2010b). A resiliência da vegetação, sua diversidade e a elevada quantidade de árvores são fatores que favorecem a aplicação do plano de manejo da Caatinga (MMA, 2011). Porém, o manejo florestal ainda não está disseminado na sociedade, sofrendo com o desconhecimento de diversos públicos,

que questionam a sua sustentabilidade e confundem com o desmatamento puro e simples (RIEGELHAUPT *et al.*, 2010a).

De acordo com Pareyn (2010), a prática do manejo florestal poderá ser estimulada mediante as seguintes medidas:

- Fortalecimento da fiscalização para controlar e reduzir a produção e o comércio ilegal de produtos florestais;
- Promoção mediante isenção de taxas, pagamento de serviços ambientais e incentivos fiscais, tanto para o proprietário das florestas, como para o consumidor do produto florestal, que adote esta prática;
- Fortalecimento de assistência técnica específica aos pequenos proprietários e aos assentamentos rurais;
- Agilização da análise e aprovação dos planos de manejo pelos órgãos competentes, por meio da priorização efetiva dos processos e emissão de autorizações preliminares, nos casos em que ocorrerem pendências administrativas;
- Apoio à regularização fundiária das propriedades com interesse em implementar o manejo florestal.

Segundo Maia (2012) é possível usufruir de vários produtos ofertados pela Caatinga por meio do manejo, como a madeira, mel, caça, cascas, forragem, frutas e etc., sem que haja uma concorrência entre eles. Com isso, a população sertaneja fica estabilizada, segura e com qualidade de vida. As indústrias também poderão se fortalecer contribuindo para o meio ambiente e para o desenvolvimento econômico (SANTOS *et al.*, 2013).

Santos *et al.* (2013) também destacaram o estudo da potencialidade energética da Caatinga em áreas sob manejo florestais, com o propósito de amenizar a degradação do bioma por meio de alternativas que possam minimizar impactos e assegurar a sustentabilidade do uso da lenha e do carvão vegetal perante outros combustíveis fósseis.

2.6.1 Características das espécies arbóreas da Caatinga

Devido às adaptações necessárias para sobrevivência, as espécies arbóreas da Caatinga apresentam algumas propriedades peculiares, como a alta capacidade de regeneração por brotação de tocos e cepas; rápida resposta e alta taxa de crescimento em períodos úmidos; caducifólia² e redução do metabolismo em períodos secos (RIEGELHAUPT *et al.*, 2010a).

Para Pereira Filho e Bakke (2010), na maioria dos levantamentos realizados na Caatinga existe a predominância das espécies lenhosas pioneiras. Destacaram-se a jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*) e o Marmeleiro (*Croton sonderianus*), seguidas das espécies, a Catingueira (*Caesalpinia pyramidalis*), o Mororó (*Bauhinia cheilantha*) e o Mofumbo (*Combretum leprosum*).

Fabricante e Andrade (2007) estabeleceram como espécies mais abundantes e importantes: o Marmeleiro, a Catingueira, o Xique-xique (*Pilosocereus gounellei*), o Pinhão-bravo (*Jatropha molíssima*) e a Favela (*Cnidocolus phyllacanthus*).

No estudo de Barbosa *et al.* (2007) as espécies apontadas como dominantes foram a Catingueira, Marmeleiro, Mofumbo, Pinhão-bravo, Pereiro (*Aspidosperma pyriforme*), Maniçoba (*Manihot catingae*), Jurema-preta, Imburana (*Commiphora leptophloeos*) e Jurema-branca (*Piptadenia stiuilacea*).

A Catingueira e o Pereiro foram às espécies que apresentaram as maiores densidades populacionais (RODAL *et al.*, 2008). Silva *et al.* (2014) ainda destacam a Jurema-preta e o Marmeleiro como espécies que apresentaram alta frequência de árvores na Caatinga.

Na pesquisa de Santos *et al.* (2017a), três espécies se sobressaíram das demais apresentando os maiores números de indivíduos. O Marmeleiro, a Catingueira e a Jurema vermelha totalizaram 64,5% das espécies.

As pesquisas realizadas no Rio Grande do Norte por Amorim *et al.* (2005) e Santos *et al.* (2016) apontaram as espécies com maiores densidades populacionais: Jurema-preta, Pereiro, Marmeleiro, Jurema-branca e Catingueira. Santos *et al.* (2017b) concluíram que a família fabaceae é a mais numerosa, com destaque para o Mororó, a Jurema de imbira (*Mimosa ophthalmocentra*) e a Catingueira. Além dessa

² Caducifólia é uma planta que, numa certa estação do ano, perde suas folhas.

família, houve a predominância de outras espécies representadas pelo Mofumbo e pelo Pereiro.

Com relação as dimensões dessas espécies, as pesquisas indicam que a vegetação apresenta três estratos principais de dimensões específicas, o arbóreo, o arbustivo e o herbáceo, variando de 8 a 12 metros, 2 a 5 metros e abaixo de 2 metros, respectivamente. Existe o predomínio da Caatinga arbustiva e relativamente aberta (WWF, 2017; SAMPAIO, 2010). No estudo de Fabricante e Andrade (2007), a maioria das amostras inventariadas apresentaram idade de 43 anos, altura entre 1 a 2 metros e caule com 30 cm de diâmetro. A pesquisa de Santos *et al.* (2016) realizada com árvores com 20 anos evidenciou apenas 9% das espécies com idade de 20 anos com diâmetro maior que 10 cm.

Em duas áreas de Caatinga arbórea, Rodal *et al.* (2008) estudaram árvores com diâmetro maior do que 3 cm e encontraram altura e diâmetro máximo médio diferentes. Na primeira área 20,80% das espécies tinham altura maior do que 9,0 m e 14,00% possuíam diâmetro maior do que 27,00 cm. Na segunda área 6,60% das espécies tinham altura superior a 9,00 m e 3,00% apresentaram diâmetro superior a 27,00 cm.

No estudo de Silva *et al.* (2017) árvores com diâmetros igual ou superior a 5 cm foram selecionadas. A Leucena (*Leucaena leucocephala*) apresentou um diâmetro a altura do peito (DAP) médio de 14,08 cm e altura total média de 12,93 m, sendo superiores aos valores encontrados para a espécie Aroeira (*Myracrodruon urundeuva*), que foram 10,00 cm e 8,20 m, respectivamente.

O diâmetro médio da espécie Cumarú (*Ambunara cearenses*) (13,44 cm) foi superior ao diâmetro médio da espécie Jurema-branca (9,10 cm), as árvores estudadas tinham diâmetros maiores ou igual a 5 cm (AZEVEDO *et al.*, 2010). Barros (2009) realizou as medições do diâmetro em espécies com 6,5 anos e identificou o Angico (*Anadenanthera colubrina*) com a maior média de 6,15 cm, seguido pelas espécies sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*) e jurema-preta com média de 4,08 cm e 3,88 cm, respectivamente.

No estudo realizado por Amorim *et al.* (2005) com espécies de diâmetros maiores do que 3 cm destacaram-se o Pereiro, que obteve o maior valor de diâmetro (36,9 cm) e a maior altura (9,5 m); Jurema-branca com diâmetro de 15,2 cm e altura

de 8,6 m; Jurema-preta com diâmetro de 20,9 cm e altura de 6,0 m e Catingueira com diâmetro de 19,7 cm e altura de 7,0 m.

Das oito espécies estudadas por Santos *et al.* (2013) em uma vegetação nativa manejada com 20 anos, o Pereiro e a Catingueira apresentaram diâmetro médio a cima de 30 cm, com 32,8 cm e 31,2 cm, respectivamente. Quatro espécies apresentaram diâmetro médio entre 20 e 30 cm: Jurema-preta (28,4 cm); Imburana (27,1 cm); Mororó (25,3 cm) e Jurema-branca (21,4 cm). As espécies que obtiveram os menores valores de diâmetro médio foram Marmeleiro (16,6 cm) e Mofumbo (16,5 cm). Todas as espécies analisadas possuíam 15 anos.

Em um ambiente de regeneração no Rio Grande do Norte, dentre 10 famílias estudadas por Santos *et al.* (2017a) foram encontradas para as árvores com diâmetro a altura do peito (DAP) maior ou igual a 6 cm, alturas totais variando de 1,40 m a 7,00 m, sendo 70,50% das espécies correspondendo a um intervalo de 2,3 m a 4,3 m. O diâmetro a altura do peito predominante foi de 2,5 cm a 8,5 cm.

Santos *et al.* (2017b) encontraram valores próximos ao estudo de Santos *et al.* (2017a) utilizando o mesmo critério de exclusão. A altura teve uma variação predominante de 2,63 m a 4,4 m, com altura máxima de 8,00 m e altura média de 3,6 m. O diâmetro a altura do peito variou de 2,50 cm a 25,00 cm, a maioria das espécies apresentaram DAP entre 5,00 cm a 10,00 cm.

Maia (2012) destaca a ausência de pesquisa e estudo sobre a ecologia, a fenologia em todas as espécies da Caatinga, além de evidenciar o pouco conhecimento dos técnicos e cientistas sobre este bioma. Portanto, o número de estudos ainda é considerado deficitário (LIMA, 2011). Alves *et al.* (2009) também enfatizaram sobre a necessidade de ampliar as pesquisas sobre a Caatinga para suprir as carências de informações e, assim, ter dados atualizados e estudos contínuos para não prejudicar o desenvolvimento da conservação do bioma.

Os maiores enfoques das pesquisas sobre as espécies arbóreas da Caatinga são para a geração de energia por meio da biomassa, sendo a densidade básica uma propriedade essencial nesses estudos. A seguir, foi realizado um levantamento sobre a densidade das espécies da Caatinga.

Existem vários métodos para a determinação da densidade básica como a balança hidrostática ou o máximo teor de água; o método de Pilodyn; método de imersão em água; técnica de atenuação da radiação gama (TARG) e método nuclear

utilizando o Raio-X. Todos esses métodos apresentaram resultados confiáveis (BRUDER, 2012).

A metodologia adotada na determinação do volume saturado pela NBR 7190 (ABNT, 1997) para a determinação da densidade básica diverge de todos os estudos citados anteriormente. A NBR 7190 (ABNT, 1997) adota que o volume saturado seja determinado pelas dimensões finais do corpo de prova. Para Trugilho (1990) a metodologia adotada pela NBR 7190 (ABNT, 1997) tende a subestimar a densidade básica, obtendo menor precisão e fornecendo dados mais dispersos. Já os métodos utilizando o princípio de Arquimedes mostraram resultados mais precisos, iguais estatisticamente e que não sofrem influência das dimensões dos corpos de prova.

Seguindo os métodos recomendados no boletim nº 31 do IPT-SP, Lima *et al.* (1996) encontraram altos valores de densidade aparente para umidade a 15%. Cerca de 80% das espécies estudadas apresentaram valores superiores a 0,85 g/cm³. A Jurema-preta obteve o maior valor (0,99 g/cm³), seguido da Violeta (*Dalbergia cearenses* Ducke) (0,98 g/cm³), Angico brabo (*Anadenanthera colubrina*) (0,97 g/cm³), Aroeira (0,97 g/cm³) e Angico manso (*Anadenanthera macricarpa* (Benth) Brenan) (0,96g/cm³). A Arapiraca (*Pithecellobium parvifolium* (Willd.) Benth) e o Pereiro (*Aspidosperma pyrifolium* Mart.) foram as espécies que apresentaram os piores resultados, 0,77 g/cm³ e 0,68 g/cm³, respectivamente.

Dentre as espécies estudadas por Ramos *et al.* (2008), Vitório (2013) e Oliveira *et al.* (2015) a grande maioria tem seu uso conhecido na construção civil e apresentou alta densidade básica, um indicativo útil na escolha para uso na construção civil. Na Tabela 2.5 estão as espécies que se destacaram na pesquisa desses autores.

Tabela 2.5 Densidade básica de espécies da Caatinga em g/cm³

Nome Botânico	Nome Vulgar	Ramos (2008)	Vitório (2013)	Oliveira (2015)
<i>Libidibia ferrea</i> (Mart. Ex. Tul.) L.P. Queiroz	Jucá		0,80	0,65
<i>Bauhinia cheilantha</i> (Bong.) Steud.	Mororó	0,71	0,79	0,67
<i>Anadenanthera colubrina</i>	Angico	0,72	0,79	0,61
<i>Piptadenia stipulacea</i> (Benth.) Burke	Jurema-branca	0,66	0,74	0,57
<i>Aspidosperma pyrifolium</i> Mart.	Pereiro		0,74	0,65
<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir	'Jurema-preta	0,78	0,74	
<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão	Aroeira	0,68	0,73	
<i>Mimosa ophthalmocentra</i> Mart. Ex Benth.	Jurema-branca	0,69	0,71	
<i>Schinopsis brasilienses</i> Engl.	Braúna	0,72	0,71	
<i>Cynophalla flexuosa</i> (L.) J.Presl	Feijão-branco		0,69	0,56
<i>Croton sonderianus</i> Mull.Arg.	Marmeleiro	0,70	0,67	
<i>Ziziphus joazeiro</i> Mart.	Juazeiro	0,71	0,67	0,55
<i>Caesalpinia pyramidalis</i> Tul	Catingueira	0,73	0,65	0,65

Fonte: estudos de Ramos (2008), Vitório (2013) e Oliveira (2015)

Silva *et al.* (2017) determinaram um valor médio de densidade básica de 0,74 g/cm³ para a espécie *Leucena* e de 0,60 g/cm³ para a *Aroeira*. Lima (2007) estudou 19 espécies que apresentaram uma variação da densidade básica média de 0,29 g/cm³ (*Pinhão-bravo*) a 0,83 g/cm³ (*Jurema-branca*). Outras pesquisas científicas complementam os estudos sobre as espécies, dentre eles, Silva *et al.* (2009) estudaram a anatomia e a densidade básica da madeira *Catingueira*, observando elevada densidade básica (0,84 – 1,01 g/cm³).

Dentre oito espécies da Caatinga estudada por Santos *et al.* (2013) destacaram-se as espécies *Mororó* e *Jurema-preta* com os maiores valores para

densidade básica de 0,97 g/cm³ e 0,90 g/cm³, respectivamente. Cinco espécies apresentaram uma boa densidade básica, a Catingueira (0,79 g/cm³), a Jurema-branca (0,76 g/cm³), Mofumbo (0,68 g/cm³), Marmeleiro (0,66 g/cm³) e Pereiro (0,62 g/cm³). A espécie Imburana apresentou o menor valor de 0,29 g/cm³.

A Jurema-Preta se destacou no estudo de Barros (2009) apresentando o maior valor de densidade média (0,93 g/cm³). O mesmo estudo ressalta os valores de densidade básica média encontrado para as espécies Sabiá (0,84 g/cm³), Angico (0,74 g/cm³) e Cumarú (0,60 g/cm³).

No estudo de Paes (2013) a Jurema-Preta também apresentou densidade básica maior do que o Angico, 0,88 g/cm³ e 0,78 g/cm³, respectivamente. Gonçalves *et al.* (2010) encontraram valores menores de densidade básica média para a espécie Sabiá (0,78 g/cm³).

Na pesquisa de França (2015) as espécies Catingueira e Jurema-Preta apresentaram os maiores valores de densidade básica, 0,88 g/cm³ e 0,84 g/cm³, respectivamente. A espécie Mofumbo (*Combretum leprosum*) também se destaca pelo seu valor de densidade básica, 0,76 g/cm³. O menor valor de densidade básica foi da espécie Pau-mocó (*Luetzelburgia auriculata*) 0,22 g/cm³.

Silva *et al.* (2011) encontraram uma elevada densidade básica para as espécies Jureminha (*Mimosa ophthalmocentra*) e jurema-preta. Houve variação da densidade básica na região próxima a medula (Jureminha (0,94-1,06 g/cm³) e Jurema-Preta (0,98-1,03 g/cm³)) e na casca (Jureminha (0,92-0,95 g/cm³) e Jurema-Preta (0,91-0,99 g/cm³)). Na pesquisa de Oliveira *et al.* (2006) a espécie Jurema-Preta apresentou densidade básica média de 0,91 g/cm³, maior do que o valor da densidade básica de 0,77 g/cm³ exposto por Araújo *et al.* (2004).

Por se tratar de um material heterogêneo, existe uma variação nos resultados dos ensaios físicos e de resistência mecânica em diferentes partes da árvore. Na direção radial podem existir diferenças de características físico-mecânicas, explicada pelos anéis de crescimento. Melo *et al.* (2006) estudaram a variação da densidade básica na direção radial de 7 espécies encontrando variações e menor valor da densidade básica no interior da árvore (na região da medula) em 71,43% das espécies. Dentre as espécies analisadas, destacam-se a Jurema-preta e o Sabiá que obtiveram os maiores valores médios de densidade básica com variação no sentido radial de 0,96 a 1,02 g/cm³ e 0,98 a 1,02 g/cm³, respectivamente.

Nascimento (1998) encontrou densidade de $1,04 \text{ g/cm}^3$ para o Sabiá. Medeiros Neto *et al.* (2012) estudaram as madeiras das espécies Catingueira e Pau-d'aco (*Handroanthus impertiginosus* (Mart. Ex. DC.) Mattos) e encontraram valores de densidade básica média alta, $1,05 \text{ g/cm}^3$ e $0,99 \text{ g/cm}^3$, respectivamente.

Azevedo *et al.* (2010) compararam as densidades básicas de duas espécies da Caatinga: a Jurema-Branca ($0,91 \text{ g/cm}^3$) e a Cumarú ($0,63 \text{ g/cm}^3$). Usando a análise metodológica para as mesmas espécies, Almeida *et al.* (2015) encontraram resultados semelhantes. A espécie Jurema-Branca teve uma densidade básica média de $1,00 \text{ g/cm}^3$ e a Cumarú de $0,63 \text{ g/cm}^3$.

Machado Neto *et al.* (2015) analisaram a densidade básica de seis espécies da Caatinga encontrando valores médios de $0,79 \text{ g/cm}^3$, com destaque para a Catingueira, Mofumbo e Jurema-Preta com densidades básicas médias de $1,11 \text{ g/cm}^3$, $1,05 \text{ g/cm}^3$ e $0,86 \text{ g/cm}^3$, respectivamente. A espécie Pau-Mocó (*Luetzelburgia auriculata* (Allemão) Ducke) obteve a menor densidade média de $0,37 \text{ g/cm}^3$.

2.6.2 Uso das espécies de madeira da Caatinga na construção civil

Dentre os poucos estudos sobre o uso da madeira da Caatinga na construção civil, destacam-se Lima (2011) e Barbosa (2015). Tais autores listaram um total de 29 espécies, entre elas Angico, Jurema-preta, Mororó e Pereiro, por meio de produtos como estacas, mourões, ripas, caibros, linhas, porta, entre outros. Nas figuras 2.3 e 2.4 é possível notar o emprego da madeira da caatinga roliça, de forma rústica.



Figura 2.15 Abrigo temporário executado com madeira da Caatinga
Fonte: Arquivo pessoal



Figura 2.16 Construção com madeira da Caatinga
Fonte: Arquivo pessoal

No estudo de Silva *et al.* (2013), o Marmeleiro se destaca como a espécie mais versátil e mais citada no uso de caibro, ripa, linha e vara. Para a confecção de portas destaca-se a espécie Cumarú. As espécies Sabiá, Aroeira e Angico têm seu uso conhecido como estaca e a espécie Cajueiro (*Anacardium occidentale L.*) é usada na produção de mourões.

Em outro estudo etnobotânico, Silva *et al.* (2014) observaram que dentre as 40 espécies registradas no trabalho, 57% têm seu uso conhecido nas construções rurais e domésticas, com destaque para as espécies Aroeira, Pereiro e Quixabeira (*Sideroxylon obtusifolium*) consideradas as mais importantes pela alta versatilidade.

Entre suas diversas potencialidades, é possível vislumbrar seu emprego na confecção de painéis. Em um trabalho sobre painéis OSB realizado por Nascimento *et al.* (2015) foram analisadas as propriedades físicas e mecânicas de três espécies de madeira da Caatinga, o marmeleiro, a jurema-branca e a Catanduva (*Piptadenia miniliformis Benth*) obtendo resultados de densidade aparente satisfatórios. O marmeleiro apresentou densidade de 0,66 g/cm³, jurema-branca com densidade de 0,73 g/cm³ e Catanduva com 0,64 g/cm³. Já para as espécies Angico e Jurema-preta a densidade aparente encontrada foi de 1,06 g/cm³ e 1,10 g/cm³, respectivamente (NASCIMENTO, 2013).

A madeira da caatinga vem sendo usada tradicionalmente na composição de construções rurais. Tais práticas associadas com a procura pelas espécies utilizadas auxiliou na indicação inicial para investigação sobre as propriedades mecânicas das espécies estudadas nesse trabalho.

2.6.3 Descrição das espécies da Caatinga objeto de estudo

As espécies Aroeira (*Astronium urundeuva*) e Braúna (*Schinopsis brasiliensis*) por serem protegidas por lei (portarias do IBAMA Nº 83 de 1991 e Nº 37-N de 1992) foram prontamente descartadas deste trabalho.

Logo, para este estudo foram selecionadas quatro espécies, com base em indicativos de seu uso tradicional e em resultados de pesquisas sobre suas propriedades, são elas: o Angico, a Jurema-preta, o Pereiro e o Mororó. Baseadas nos estudos de Maia (2012) e Lima (2012), a seguir estão descritas informações básicas sobre as espécies do presente estudo:

- **ANGICO (*Anadenanthera colubria*)**

O Angico possui vários sinônimos, os sinônimos botânicos destacam-se *Acacia cebil* Griseb.; *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan; *Piptadenia macrocarpa* Benth.; *Piptadenia macrocarpa* Benth. Var. *cebil* (Griseb.) Chod. & Hass. Os sinônimos populares são angico-amarelo, angico-brabo, angico-branco, angico-bravo, angico-castanho, angico-cedro, angico-do-carçoço, angico-de-casca, angico-de-cortume, angico-do-banhado, angico-do-campo, angico-do-mato, angico-dos-montes, angico-fava, angico-jacaré, angico-mama-de-porco, angico-manso, angico-preto, angico-preto-rajado, angico-rajado, angico-rosa, angico-verdadeiro, angico-vermelho, brincos-de-saguí, brincos-de-sauí, cambuí-ferro, curupaí, guarapiraca, guaracaia, paricá. O Angico pertence à família Fabaceae e subfamília Mimosoideae.

Essa espécie é uma árvore pioneira ou secundária inicial, de rápido crescimento, por meio de sementes, estaquia e rebrotação do toco. Tem altura comumente de até 10 m, diâmetro da altura do peito entre 20 e 30 cm, com o tronco formando projeções lenhosas cônicas, adensadas ou esparsas. Quando recém-cortada apresenta coloração castanho-amarelada passando a castanho-avermelhada e escurecendo para vermelho-queimado. Destaca-se a apresentação de abundantes veios ou manchas arroxeadas quando recém-cortadas e produzem um belo desenho na madeira.

Suas principais utilidades englobam:

- Madeira: De excelente qualidade, grande durabilidade para a construção civil (vigas e assoalhos) e naval; para a confecção de dormentes e para uso em marcenaria e carpintaria; para mourões, portas, janelas, móveis, postes, construções rurais, tacos, obras hidráulicas e expostas, carretas, batentes, esquadrias, barrotes, caixotarias, embalagens grossas, ripas, esteios, revestimento de galerias, faqueados, tornearia, carrocerias, calhas para água, carroças e rodas de engenho, tabuados, eixos de bolandeiras. Fornece lenha e carvão de boa qualidade. É considerada excelente para produção de álcool e coque. Não é adequada para fabricação de celulose e papel.
- Alimentação humana: O tronco exsuda goma-resina amarelada, sem sabor e cheiro, similar a goma arábica, apreciada como alimento.
- Medicina caseira: Casca, resina, flores e folhas têm propriedades medicinais.

- Planta ornamental: Floresce exuberantemente todos os anos. As flores cobrem toda a árvore e exalam excelente perfume, o que a torna muito ornamental e própria para a arborização de parques e praças.
- Restauração florestal: Apresenta rápido crescimento, podendo ser aproveitada com sucesso para reflorestamento de áreas degradadas acompanhado de outras espécies da região.
- Sistemas agroflorestais: Boa árvore para quebra-ventos, pelo rápido crescimento, enriquecimento do solo e atração de abelhas na estação seca. Usada para sombreamento de pastagens.
- Abelhas: Fornecem pólen e néctar às abelhas na época mais seca do ano.
- Forragem: As folhas verdes ou murchas são tóxicas ao gado, em consequência do elevado teor de tanino, mas são palatáveis para caprinos e ovinos. Em forma de feno ou secas, constituem boa forragem para todos os animais. Os frutos também servem de forragem.
- Inseticida: Um sumo preparado das folhas de angico fermentadas pode ser usado no combate de lagartas e formigas-de-roça.
- Aplicações industriais: A casca e as sementes, ricas em tanino, podem ser empregadas para curtir couros e, ao mesmo tempo, lhes dar um colorido vermelho por seu alto teor, também, em pigmentos. A goma-resina tem aplicações industriais e também pode ser usada como cola caseira.

- **JUREMA-PRETA (*Mimosa tenuiflora*)**

Pertencente à família Fabaceae e a subfamília Mimosoideae. A Jurema-preta possui quatro sinônimos botânicos e três sinônimos populares, *Mimosa hostilis* (Mart.) Benth.; *Mimosa limana* Rizzini; *Acacia tenuiflora* Willd; *Acacia hostilis* Mart. e calumbi, jurema, tepezcohuite (México), respectivamente.

É uma planta pioneira com propagação por sementes e brotação do toco com alburno castanho-avermelhado-escuro e cerne amarelado. É muito pesada, de textura média, grã direita, de alta resistência mecânica e grande durabilidade natural. A altura fica entre 2,5 m a 10,0 m, diâmetro a altura do peito pode atingir 30 cm e o tronco pode ser ereto ou levemente inclinado.

As suas principais utilidades são:

- Madeira: Muito resistente, empregada para obras externas, como mourões, estacas e pontes; para pequenas construções, rodas, peças de resistência, móveis rústicos. Fornece excelente lenha e carvão de alto valor energético.
- Medicina caseira: O pó da casca, as folhas e a casca da raiz têm propriedades medicinais.
- Veterinária popular: O efeito cicatrizante serve também nos animais domésticos e a planta é usada em lavagens contra parasitas.
- Restauração florestal: Planta pioneira e rústica. É especialmente indicada para a recuperação do solo, combater a erosão e para a primeira fase de restauração florestal de áreas degradadas.
- Abelhas: Espécie muito importante para fornecimento de néctar e pólen para as abelhas, especialmente durante o período seco.
- Forragem: As folhas e vagens são procuradas pelo gado bovino, caprino e ovino.
- Aplicações industriais: Usada em produtos cosméticos nos EUA, Itália e Alemanha, em loções para o couro cabeludo, sabonete, shampoo e condicionador. A casca é empregada para curtir couros.

- **MORORÓ (*Bauhinia cheilantha*)**

O Mororó também conhecido por mororó-verdadeiro, pata-da-vaca, unha-de-vaca e mão-de-vaca, tem nome botânico de *Bauhinia cheilantha* (Bong.) Steud e seus sinônimos botânicos são *Bauhinia aromática* Ducke e *Pauletia cheilantha* Bong. Pertence à família Fabaceae e subfamília Caesalpinioideae.

Esta espécie possui o menor diâmetro dentre as espécies estudadas, em torno de 8 a 10 cm. A altura total varia de 1,5 a 5 m. A madeira tem coloração castanho-clara e é resistente à decomposição. A propagação é feita por sementes.

As principais utilidades da planta são:

- Madeira: Resistente à decomposição, usada nas construções de cercas, para lenha e carvão;
- Medicina caseira: As flores, a casca e as folhas têm propriedades medicinais;

- Planta ornamental: Para cercas vivas em divisas de propriedades;
- Restauração florestal: Indicada para recuperação do solo, proteção contra a erosão e para a primeira fase de restauração florestal de áreas degradadas;
- Sistemas agroflorestais: Pode ser usada para enriquecimento de pastagens arbóreas, acelerar a recuperação do solo em capoeiras e na caatinga degradada;
- Forragem: As folhas constituem boa forragem para bovinos, caprinos e ovinos.

- **PEREIRO (*Aspidosperma pyriformium*)**

O Pereiro é da família da Apocynaceae. Seu nome botânico é *Aspidosperma pyriformium* Mart. e seus sinônimos botânicos são *Aspidosperma bicolor* Mart.; *Aspidosperma refractum* Mart.; *Aspidosperma guaraniticum* Malme, *Aspidosperma martii* Silva Manso, *Aspidosperma molle* Mart., *Aspidosperma populifolium* A. DC. O Pereiro também pode ser chamado por pau-pereiro, pereiro-branco (na Bahia (BA)), pereiro-de-saia (Piauí (PI)), pereiro-preto, pereiro-vermelho (Minas Gerais (MG)), peroba-rosa e trevo.

A altura total é de 7 m a 8 m, com diâmetro a altura do peito podendo atingir 30 cm. O tronco é bem desenvolvido e ereto e a madeira tem coloração amarelo-claro ou creme, ora com manchas avermelhadas, ora com faixas acastanhadas, moderadamente pesada, macia e fácil de trabalhar. Sua textura é fina e uniforme, resistente e muito durável. Sua propagação é por intermédio de sementes e rebrotação do toco.

Suas principais utilidades englobam:

- Madeira: Para trabalhos de marcenaria e carpintaria, como cadeiras e outros móveis, portas, janelas, tacos para piso, lambris, esquadrias, caibros e ripas, estaca de cerca, carvão e lenha; têm elevado poder calorífico;
- Medicina caseira: A casca tem propriedade medicinal. É usado em banhos nas febres intermitentes;
- Veterinária popular: Usado no tratamento de ectoparasitoses dos animais domésticos;

- Planta ornamental: Empregada para paisagismo em geral, inclusive na arborização urbana;
- Restauração florestal: Especialmente indicado para recuperação de solos erodidos e na primeira fase de (re)florestamentos mistos, com finalidade de restauração da vegetação de áreas degradadas;
- Sistemas agroflorestais: Pode ser empregado para a composição de faixas arbóreas entre plantações;
- Abelhas: Contribui com néctar e pólen na dieta das abelhas;

CAPÍTULO 3

Metodologia

Trata-se de um estudo transversal e analítico, com a realização de pesquisa bibliográfica, avaliação dendrológica e ensaios laboratoriais das espécies extraídas da reserva de manejo da Fazenda Riacho do Cabra localizada no município Santa Cruz/RN. O desdobro da madeira foi realizado na marcenaria da Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias da Escola Agrícola de Jundiáí(EAJ)/ Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), município de Macaíba/RN e a realização dos ensaios de caracterização ocorreram na Universidade de São Paulo (USP) de São Carlos/SP. O delineamento e execução da coleta e ensaios seguiu orientação da NBR 7190 (ABNT, 1997). Foi realizado a caracterização mínima da NBR 7190 (ABNT, 1997), composta pelo ensaio de resistência a compressão paralela às fibras, ensaio de resistência a tração paralela às fibras, ensaio de resistência ao cisalhamento e densidade básica e aparente, além do ensaio de estabilidade dimensional.

3.1 Seleção das espécies florestais da Caatinga estudadas

Para o desenvolvimento deste trabalho foram selecionadas quatro espécies da Caatinga: Angico (*Anadenanthera colubria*), Jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*), Mororó (*Bauhinia cheilantha*) e Pereiro (*Aspidosperma pyrifolium*). Os critérios para seleção envolveram o uso conhecido dessas espécies na construção civil, seu adequado valor de densidade básica e a ampla densidade populacional das mesmas na região de coleta de acordo com o plano de manejo da Fazenda Riacho do Cabra.

Foram coletadas 12 árvores, de forma aleatória, de cada espécie. As amostras foram coletas em talões ainda não exploradas da Caatinga na Fazenda Riacho do Cabra, portanto, possuindo idades desconhecidas. Durante a coleta, a representação territorial de cada árvore foi registrada por meio de GPS Garmin eTrex (Figura 3.1). As árvores com bifurcação ao nível do solo foram consideradas como árvores separadas.

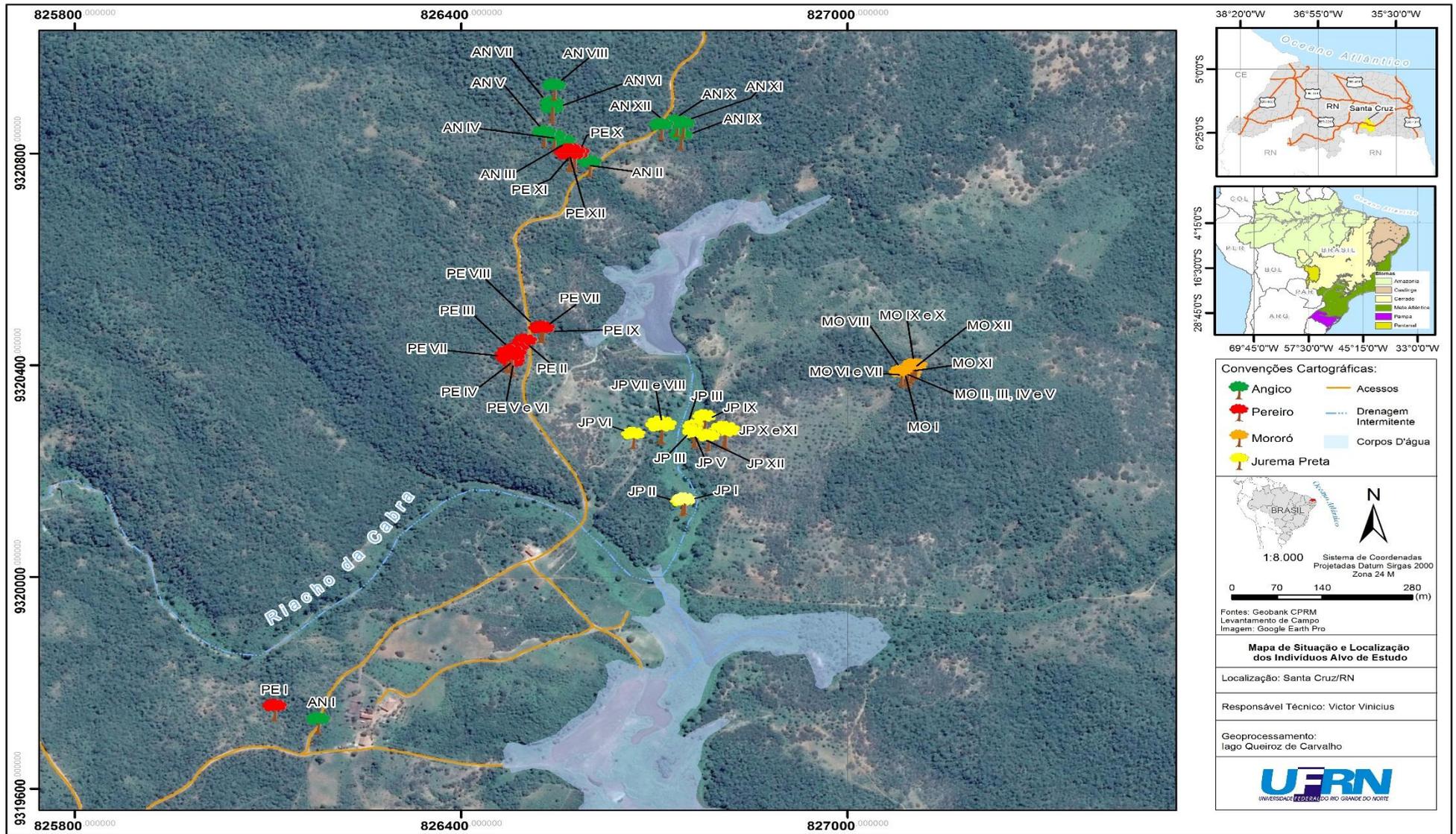


Figura 3.1 Território de coleta das espécies estudadas no município de Santa Cruz – Rio Grande do Norte
 Fonte: Elaboração própria.

3.2 Coleta e avaliação dendrológicas das espécies

A coleta das amostras foi realizada na Fazenda Riacho do Cabra, localizada no Município de Santa Cruz/RN, no período de 27 a 28/07/2017. A fazenda possui área total de 667,17 hectares, sendo 458,62 hectares de plano de manejo florestal destinado à extração de lenha para energia.

De acordo com o plano de manejo da Fazenda Riacho do Cabra, o clima da região é semiárido com precipitação menor que a evaporação. A precipitação volumétrica anual no Município de Santa Cruz é de 500,00 mm normal, já o período chuvoso corresponde aos meses de março a maio. A temperatura máxima é 32 °C, com a média, em torno de 25,6 °C e umidade relativa em torno dos 70%.

Conforme o plano de manejo, a vegetação é arbustiva arbórea fechada, caracterizada por possuir um porte médio de 5,0 m de altura, com alto grau de cobertura do solo e presença de sub-bosque. Entre as espécies mais comuns encontradas na área são observadas a Amorosa (*Piptadenia obliqua*), Angico (*Anadenanthera macrocarpa*), Aroeira (*Myracrodruon urundeuva*), Braúna (*Schinopsis brasiliensis*), Catingueira (*Caesalpinia pyramidalis*), Imburana (*Busera leptophloeos*), Jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*), Marmeleiro (*Cróton hemiargyreus*), Pereiro (*Aspidosperma dasycarpon*), Pau Leite (*Euphorbia phosphorea*) e Quixabeira (*Bumelia sertorum*).

As árvores foram abatidas utilizando motosserra e foram transportadas em toras com cerca de 1,30 m de comprimento. Os dados dendrométricos coletados em campo foi o diâmetro da base (DB), o diâmetro a altura do peito (DAP), a altura do fuste (Hf) e altura total (Ht), utilizando fita centimétrica e trena aberta com fita de vidro de 12,5 mm por 30 m da DISMA, representados na Figura 3.2.



Figura 3.2 Mensuração do diâmetro da base das árvores da Caatinga no município de Santa Cruz/RN

Fonte: Arquivo pessoal.

A determinação dos diâmetros foi realizada por ser uma das variáveis mais importantes na quantificação volumétrica, avaliação de biomassa ou estudo de crescimento. O diâmetro a altura do peito é a medida do diâmetro a uma altura de 1,30 m do solo, sendo largamente difundida na atividade florestal por ser uma altura que facilita o trabalho e manuseio dos instrumentos de medição (CUNHA, 2004). As medidas dos diâmetros basearam-se na hipótese que o fuste das árvores aproxima-se do diâmetro de um círculo.

A altura é outra variável importante. A partir dela pode-se obter o volume da árvore, auxilia no ordenamento da produção, pode servir como indicador de qualidade e subsidiar a caracterização expedida do povoamento (floresta alta, floresta nova, floresta nova, entre outros) (CUNHA, 2004). As alturas foram obtidas com a árvore abatida de forma direta, da base até o início da copa (altura do fuste) e da base até seu topo (altura total).

Após a coleta das 48 árvores, as toras foram armazenadas por aproximadamente 1 mês em um galpão coberto localizado na própria fazenda para que ocorresse o processo de secagem da madeira (Figura 3.3).



Figura 3.3 Armazenamento das amostras coletadas
Fonte: Arquivo pessoal.

3.3 Desdobro

O desdobro das amostras foi realizado na marcenaria da Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias da Escola Agrícola Jundiáí (EAJ) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), no período de 21 a 25 de agosto de 2017. Após o período de secagem, as espécies coletadas na Fazenda Riacho do Cabra foram transportadas para a EAJ. Foram utilizadas as máquinas desempenadeira, esquadrejadeira, motosserra e serra de disco para confeccionar os corpos de prova para o ensaio de compressão, tração paralela às fibras e de cisalhamento (Figura 3.4 e 3.5). As dimensões para os corpos de prova obedeceram à padronização da NBR 7190 (ABNT, 1997). A confecção do corpo de prova para o ensaio de densidade básica e aparente, estabilidade dimensional e a redução da seção central do corpo de prova de tração foi realizado apenas na etapa 3 do estudo, na USP. Após tal processo, as amostras foram devidamente embaladas e enviadas via Sedex para o município de São Carlos/SP.



Figura 3.4 Confeção do corpo de prova para o ensaio de tração paralela às fibras.

Fonte: Arquivo pessoal.



(a)

(b)

Figura 3.5 Corpos de prova das espécies da Caatinga: (a) corpo de prova para o ensaio de tração e compressão paralela às fibras; (b) corpo de prova para o ensaio de cisalhamento.

Fonte: Arquivo pessoal.

A espécie Mororó foi enviada para o local dos ensaios em forma de toras com comprimento máximo de 1,05 m (limite estabelecido pela transportadora). Posteriormente, foram confeccionados os corpos de prova para o ensaio de compressão paralela às fibras e cisalhamento.

3.4 Ensaio físicos e mecânicos

Os ensaios foram realizados no LaMEM (Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeiras), do SET (Departamento de Engenharia de Estruturas), da EESC (Escola de Engenharia de São Carlos) na Universidade de São Paulo (USP) localizado no município de São Carlos/SP, no período de 11 a 29 de setembro de 2017.

Para atingir a massa seca foi utilizada uma estufa com temperatura máxima de $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, um paquímetro com precisão de 0,01 mm e uma balança com precisão de 0,01 g para a realização dos ensaios físicos. Os ensaios mecânicos foram realizados por meio da Máquina Universal Amsler com capacidade para 250 KN (Figura 3.6). Para determinação do módulo de elasticidade utilizou-se relógios comparadores Mitutoyo, com precisão de 0,01 mm para o ensaio de compressão paralela às fibras, e de 0,001 mm para o ensaio de tração paralela às fibras.



Figura 3.6 Máquina Universal Amsler

Fonte: Arquivo pessoal

Os ensaios de caracterização seguiram os preceitos da NBR 7190 (ABNT, 1997). Foram realizados os ensaios de caracterização, composto pelo ensaio de umidade, densidade aparente, resistência à compressão paralela às fibras, resistência à tração paralela às fibras e resistência ao cisalhamento. Foram ensaiados 12 corpos

de prova por espécie para cada ensaio, exceto para o ensaio de densidade básica, estabilidade dimensional e resistência tração paralela às fibras do Mororó que não foi realizado devido as limitações dimensionais da espécie que inviabilizou a confecção das amostras, totalizando 252 ensaios.

O Anexo B da NBR 7190 (ABNT, 1997) estabelece que o módulo de elasticidade deve ser determinado no terceiro ciclo de carregamento. Porém, o estudo de Morales (2002) realizado no LaMEM, demonstrou que os módulos de elasticidades no segundo e no terceiro ciclo de carregamento são estatisticamente iguais. Portanto, o terceiro ciclo de carregamento proposto pela NBR 7190 (ABNT, 1997) pode ser suprimido dos ensaios sem qualquer prejuízo para os resultados.

3.4.1 Ensaio para determinação do teor de umidade

Segundo a NBR 7190 (ABNT, 1997), o ensaio para determinação do teor de umidade serve de ajuste das propriedades mecânicas de resistência e rigidez e também tem a função de orientar o método de prevenção para a durabilidade da madeira. Para esse ensaio, foram utilizados corpos de prova de seção transversal com 2,0 cm x 3,0 cm e comprimento, ao longo das fibras, de 5,0 cm.

Após determinar a massa inicial (m_i) do corpo de prova com precisão de 0,01g, o mesmo foi colocado em uma estufa com temperatura máxima de $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 48 h. Com os valores da massa inicial (m_i) e da massa seca (m_s), o teor de umidade $U(\%)$ é dado por:

$$U(\%) = \frac{m_i - m_s}{m_s} \times 100 \quad (3.1)$$

Onde:

m_i , massa inicial da madeira;

m_s , massa da madeira seca.

3.4.2 Ensaio de densidade básica e aparente

Foram determinados dois tipos de densidade, a básica e aparente. Os corpos de prova tinham seção transversal retangular de 2,0 cm x 3,0 cm e comprimento, ao longo das fibras, de 5,0 cm (Figura 3.7).



Figura 3.7 Corpos de prova para o ensaio de densidade

Fonte: Arquivo pessoal.

Para a NBR 7190 (ABNT, 1997), a densidade básica é a massa específica definida pela razão entre a massa seca e o volume saturado, dada por:

$$\rho_{bas} = \frac{m_s}{V_{sat}} \quad (3.2)$$

Onde (m_s) é a massa seca da madeira e (V_{sat}) é o volume saturado da madeira. Para a determinação do volume saturado, os corpos de prova foram colocados submersos em água até atingir massa constante ou com no máximo uma variação de 0,5% em relação à medida anterior. Em seguida foram medidas as dimensões com um paquímetro e determinadas o seu volume saturado. Após o passo anterior, as amostras foram colocadas na estufa por 48h. Ao final deste tempo, com uma balança, foi realizada a medida da massa seca.

A NBR 7190 (ABNT, 1997) considera que a densidade aparente é a massa específica definida pela razão entre a massa e o volume dos corpos de prova com teor de umidade de 12% (Equação 3.3). Portanto, para realização deste ensaio é necessário que a umidade da amostra entre em equilíbrio com o ambiente.

$$\rho_{apa} = \frac{m_{12}}{V_{12}} \quad (3.3)$$

Onde (m_{12}) é a massa da madeira a 12% de umidade e (V_{12}) é o volume da madeira a 12% de umidade. A densidade aparente da espécie Mororó foi determinada com os corpos de prova do ensaio a resistência a tração.

É praticamente impossível condicionar uma amostra a exatos 12% de umidade com a finalidade de obter sua densidade e demais propriedades (CALIL JUNIOR *et al.*, 2003). Portanto, para corrigir o valor da densidade de um corpo de prova para a umidade a 12% foi utilizado o diagrama de Kollmann (Figura 3.8). Ressalta-se que a NBR 7190 (ABNT, 1997) não faz nenhuma menção a respeito do procedimento a ser seguido a fim de corrigir a densidade aparente para a umidade de referência de 12%.

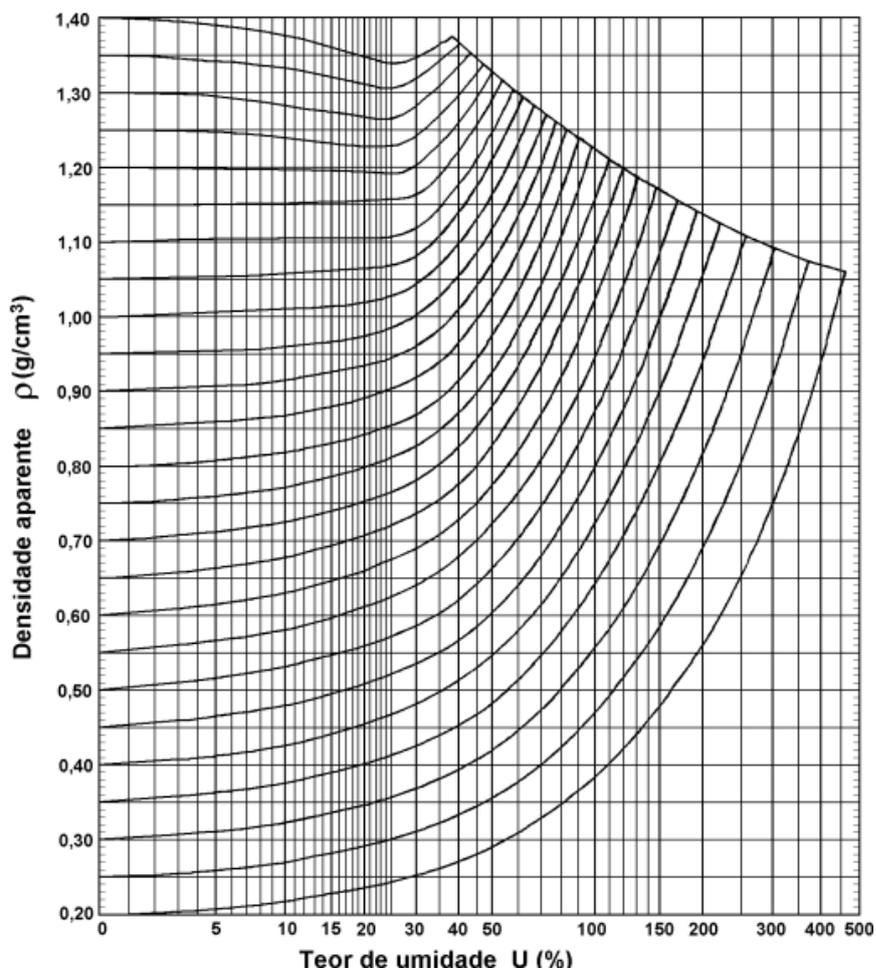


Figura 3.8 Diagrama de Kollmann

Fonte: Kollmann e Coté (1968)

3.4.3 Ensaio de estabilidade dimensional

Foi determinada a retração e o inchamento nas três direções principais da madeira, a axial (1), radial (2) e tangencial (3), das espécies Angico, Jurema-preta e Pereira. O ensaio para a espécie Mororó não foi realizado, devido seu pequeno diâmetro que inviabilizou a confecção dos corpos de prova. Os corpos de prova para realização desse ensaio são iguais aos corpos de prova de densidade. O ensaio seguiu os seguintes passos:

- i – Saturar os corpos de prova até se estabilizar;
- ii – Medir as doze arestas dos corpos de prova;
- iii - Calcular a média das medidas de acordo com o eixo principal da madeira para a determinação das dimensões da peça saturada ($L_{1,sat}$, $L_{2,sat}$ e $L_{3,sat}$, dimensão ao longo do eixo axial, radial e tangencial, respectivamente);
- iv – Colocar os corpos de prova na estufa até ficarem secos;
- v - Medir as doze arestas dos corpos de prova;
- vi - Calcular a média das medidas de acordo com o eixo principal da madeira para a determinação das dimensões da peça seca ($L_{1,seca}$, $L_{2,seca}$ e $L_{3,seca}$, dimensão ao longo do eixo axial, radial e tangencial, respectivamente);
- vii – Determinar as deformações específicas de retração (ϵ_r) e de inchamento (ϵ_i) para cada uma das direções preferenciais, em função das respectivas dimensões da madeira saturada e seca, por meio das seguintes expressões:

$$\epsilon_{r,1} = \left(\frac{L_{1,sat} - L_{1,seca}}{L_{1,sat}} \right) \times 100 \quad (3.4)$$

$$\epsilon_{r,2} = \left(\frac{L_{2,sat} - L_{2,seca}}{L_{2,sat}} \right) \times 100 \quad (3.5)$$

$$\epsilon_{r,3} = \left(\frac{L_{3,sat} - L_{3,seca}}{L_{3,sat}} \right) \times 100 \quad (3.6)$$

$$\epsilon_{i,1} = \left(\frac{L_{1,sat} - L_{1,seca}}{L_{1,seca}} \right) \times 100 \quad (3.7)$$

$$\epsilon_{i,2} = \left(\frac{L_{2,sat} - L_{2,seca}}{L_{2,seca}} \right) \times 100 \quad (3.8)$$

$$\epsilon_{i,3} = \left(\frac{L_{3,sat} - L_{3,seca}}{L_{3,seca}} \right) \times 100 \quad (3.9)$$

Sendo:

$\epsilon_{r,1}$, $\epsilon_{r,2}$ e $\epsilon_{r,3}$, retração na direção axial, radial e tangencial, respectivamente;

$\epsilon_{i,1}$, $\epsilon_{i,2}$ e $\epsilon_{i,3}$, inchamento na direção axial, radial e tangencial, respectivamente;

$L_{1,sat}$, $L_{2,sat}$ e $L_{3,sat}$, dimensões da madeira saturada na direção axial, radial e tangencial, respectivamente;

$L_{1,seca}$, $L_{2,seca}$ e $L_{3,seca}$, dimensões da madeira seca na direção axial, radial e tangencial, respectivamente;

viii – Determinar variação volumétrica em função das dimensões do corpo de prova nos estados saturado e seco, por meio das seguintes expressões:

$$\Delta V = \left(\frac{V_{sat} - V_{seca}}{V_{seca}} \right) \times 100 \quad (3.10)$$

Onde:

$$V_{sat} = L_{1,sat} \times L_{2,sat} \times L_{3,sat};$$

$$V_{seca} = L_{1,seca} \times L_{2,seca} \times L_{3,seca}.$$



Figura 3.9 Corpos de prova para o ensaio de estabilidade dimensional

Fonte: Arquivo pessoal.

3.4.4 Ensaio de compressão paralela às fibras

No ensaio de compressão paralela às fibras, foram determinadas a resistência e a rigidez. Para isso, foram confeccionados corpos de prova com seção quadrada de 5 cm e comprimento de 15 cm ao longo das fibras. O ensaio seguiu os seguintes passos:

- i - Rompimento um corpo de prova para estimar o valor de ruptura;
- ii – Medição a seção resistente com um paquímetro e calcular sua área (A);
- iii – Pesagem a amostra a ser ensaiada (m_i);
- iv – Colocação de dois relógios comparadores Mitutoyo, com precisão de 0,01 mm, em faces opostas. Os relógios são fixados por meio de duas cantoneiras metálica com distância de 10 cm.
- v – Compressão da peça com uma taxa de carregamento de 10 MPa/min;
- vi – Realização da medida dos relógios quando a carga atingir 0,1 da ruptura estimada;
- vii – Realização de uma nova leitura dos relógios quando a carga atingir 0,5 da ruptura estimada;
- viii – Segurar o carregamento a 0,5 da ruptura estimada, esperar 30 segundos e realizar uma nova medida dos relógios;
- ix – Aliviar a carga, voltando para 0,1 da ruptura estimada e anota-se os valores marcados pelos relógios;
- x – Segurar o descarregamento a 0,1 da ruptura estimada, esperar 30 segundos e realizar uma nova medida dos relógios;
- xi - Compressão do corpo de prova a uma taxa de 10 MPa/min e anotar as medidas dos relógios a cada 0,1 da ruptura estimada até a 0,7 da ruptura estimada;
- xii – Anotar o valor dos relógios a 70% da ruptura estimada, retirar os relógios e romper o corpo de prova ($F_{c0,máx}$);
- xiii – Colocação do corpo de prova rompido na estufa por 48 h;
- xiv – Pesagem o corpo de prova seco (m_s), e determinar sua umidade por meio da Equação 3.1;
- xv – Determinação da resistência ($f_{wc,0}$ ou f_{c0}) por meio da Equação 3.11;

$$f_{c0} = \frac{F_{c0,máx}}{A} \quad (3.11)$$

Onde:

f_{c0} , resistência a compressão paralela às fibras;

$F_{c0,máx}$, força máxima de compressão aplicada no corpo de prova;

A, área resistente.

xvi – Determinação da rigidez por meio do módulo de elasticidade no 2º ciclo de carregamento, Equação 3.12:

$$E_{c0} = \frac{\sigma_{50\%} - \sigma_{10\%}}{\varepsilon_{50\%} - \varepsilon_{10\%}} \quad (3.12)$$

Sendo:

E_{c0} , módulo de elasticidade a compressão paralela às fibras;

$\sigma_{50\%}$ e $\sigma_{10\%}$, tensão de compressão a 50% e 10% da tensão máxima (f_{c0});

$\varepsilon_{50\%}$ e $\varepsilon_{10\%}$, deformações específicas correspondentes às tensões de $\sigma_{50\%}$ e $\sigma_{10\%}$.

xvii – Correção do resultado da resistência e do módulo de elasticidade. Se a umidade for entre 10% e 20%, utilizar a Equação 3.13 e 3.14;

$$f_{12} = f_{u\%} \left[1 + \frac{3(U\% - 12)}{100} \right] \quad (3.13)$$

Onde:

f_{12} , resistência a 12% de umidade;

$f_{u\%}$, resistência a umidade no momento do ensaio;

$U\%$, Umidade no momento do ensaio.

$$E_{12} = E_{u\%} \left[1 + \frac{2(U\% - 12)}{100} \right] \quad (3.14)$$

Onde:

E_{12} , módulo de elasticidade a 12% de umidade;

$E_{u\%}$, módulo de elasticidade a umidade no momento do ensaio;

$U\%$, Umidade no momento do ensaio.

A espécie Mororó foi ensaiada como elemento roliço, seu pequeno diâmetro impossibilitou a confecção do corpo de prova para madeira serrada. De acordo com NBR 7190 (ABNT, 1997) o comprimento do corpo de prova deve ser três vezes o lado da seção transversal. Respeitando essa relação e considerando o diâmetro do Mororó, a altura do corpo de prova dessa espécie ficou pequena, o que inviabilizou a colocação dos relógios comparadores. Portanto, não houve a medida do Módulo de elasticidade para esta espécie.



Figura 3.10 Ensaio de resistência a compressão paralela às fibras
Fonte: Arquivo pessoal

3.4.5 Ensaio de tração paralela às fibras

O ensaio de tração paralela às fibras seguiu os mesmos procedimentos do ensaio de compressão paralela às fibras, para resistência e rigidez. Para este ensaio os corpos de prova foram confeccionados de acordo com o item B.9.3 da norma NBR 7190 (ABNT, 1997) (Figura 3.11).

As expressões 3.15 e 3.16 determinam o valor da resistência ($f_{wt,0}$ ou f_{t0}) e do módulo de elasticidade, respectivamente.

$$f_{t0} = \frac{F_{t0,m\acute{a}x}}{A} \quad (3.15)$$

Onde:

f_{t0} , resistência a tração paralela às fibras;

$F_{t0,m\acute{a}x}$, força máxima de tração aplicada no corpo de prova;

A, área resistente.

$$E_{t0} = \frac{\sigma_{50\%} - \sigma_{10\%}}{\varepsilon_{50\%} - \varepsilon_{10\%}} \quad (3.16)$$

E_{t0} , módulo de elasticidade a tração paralela às fibras;
 $\sigma_{50\%}$ e $\sigma_{10\%}$, tensão de tração a 50% e 10% da tensão máxima (f_{t0});
 $\varepsilon_{50\%}$ e $\varepsilon_{10\%}$, deformações específicas correspondentes às tensões de $\sigma_{50\%}$ e $\sigma_{10\%}$.

vii – Corrigir os resultados de resistência para umidade entre 10% e 20%, utilizando as Equações 3.13 e 3.14.



Figura 3.11 Ensaio de resistência a tração paralela às fibras
 Fonte: Arquivo pessoal.

3.4.6 Ensaio de cisalhamento

A partir do ensaio de cisalhamento foi determinado a sua resistência ao cisalhamento. Os corpos de prova foram especificados de acordo com o item B.12.3 da norma NBR 7190 (ABNT, 1997). O ensaio seguiu os seguintes procedimentos:

- i – Medição da seção resistente com um paquímetro e calcular sua área (A_{v0});
- ii - Pesagem da amostra a ser ensaiada (m_i);

- iii – Colocação do corpo de prova na máquina, que começa a cisalhar com uma taxa de carregamento de 2,5 MPa/min até a ruptura ($f_{v,0}$);
- iv – Colocação do corpo de prova rompido na estufa por 48 h;
- v – Pesagem do corpo de prova seco (m_s), e determinar sua umidade pela expressão 3.2;
- vi – Determinação da resistência ($f_{wv,0}$ ou f_{v0}) por meio da Equação 3.18

$$f_{V,0} = \frac{F_{V0,m\acute{a}x}}{A_{V0}} \quad (3.17)$$

f_{v0} , resistência ao cisalhamento;

$F_{v0,m\acute{a}x}$, força máxima de cisalhamento aplicada no corpo de prova;

A_{v0} , área resistente.

- vii - Correção dos resultados de resistência para umidade entre 10% e 20%, utilizando a Equação 3.13.



Figura 3.12 Ensaio de resistência ao cisalhamento

Fonte: Arquivo pessoal.

3.5 Análise dos dados

Para análise de dados foi utilizada a estatística descritiva e analítica. Os dados da estatística descritiva foram tabulados pelo software Excel – 2013.

3.5.1 Análise descritiva

Inicialmente todos os resultados dos ensaios foram corrigidos para o teor de umidade de referência de 12%

Foram calculados os valores das médias e o desvio padrão dos dados coletados em campo e dos ensaios. Foi estabelecida uma relação entre a altura do fuste pela altura total para determinar a porcentagem que o fuste representa da árvore, uma vez que o fuste é a parte mais atrativa para a construção civil.

As propriedades físicas e os módulos de elasticidade foram estimados pela média dos valores obtidos nos ensaios. As resistências características foram obtidas pela expressão (3.18). Com o resultado da resistência característica a compressão paralela às fibras as espécies foram enquadradas na classe de resistência das dicotiledôneas da NBR 7190 (ABNT, 1997) (Tabela 3.18).

$$f_{WK} = \left(2 \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{\frac{n}{2}-1}}{\frac{n}{2}-1} - f_{\frac{n}{2}} \right) 1,1 \quad (3.18)$$

Os resultados foram colocados em ordem crescente $f_1 \leq f_2 \leq \dots \leq f_n$, desprezando-se o valor mais alto se o número de corpos de prova for ímpar. Não se tomando para f_{WK} valor inferior a f_1 , nem a 0,7 do valor médio (f_m).

Tabela 3.1 Classes de resistência das dicotiledôneas

DICOTILEDÔNEAS					
Classes	$f_{c0,k}$ MPa	f_{vk} MPa	$E_{c0,m}$ MPa	$\rho_{bas,m}$ Kg/m ³	ρ_{apa} Kg/m ³
C20	20	4	9500	500	650
C30	30	5	14500	650	800
C40	40	6	19500	750	950
C60	60	8	24500	800	1000

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997). Valores na condição padrão de referência, U = 12%

3.5.2 Análise estatística

Os dados estatísticos foram analisados por meio do programa Statistical Package for the Social Sciences– SPSS, versão 20. O Teste de normalidade Shapiro-Wilk foi empregado. Os dados apresentaram distribuição normal; dessa

forma, foi utilizado o teste de Correlação de Pearson e o coeficiente de correlação de Pearson (r), foi classificado como: correlação fraca (0 - 0,20), regular (0,21 – 0,40), moderada (0,41 – 0,60), boa (0,61 – 0,80) e forte (maior que 0,80) (BRUNI, 2009). Foi adotado como nível de significância 5%.

3.6 Critérios para classificação das propriedades

Foram adotados os critérios de Nahuz (1974) e Nogueira (1991) para classificar as madeiras, baseados em parâmetros físicos, de resistência e rigidez.

Nahuz (1974) apresentou critérios de classificação das madeiras com base nas propriedades físicas, de resistência, rigidez, durabilidade e trabalhabilidade. Considerando a umidade de equilíbrio com ar de 15%, algumas das classificações estão expostas nas Tabelas 3.2 a 3.4.

Tabela 3.2 Classificação da densidade aparente

Classe	$\rho_{\text{apa},15}$ (g/cm³)
Leve	$\rho_{\text{apa},15} < 0,575$
Semipesada	$0,575 \leq \rho_{\text{apa},15} \leq 0,805$
Pesada	$\rho_{\text{apa},15} > 0,805$

Fonte: Nahuz (1974). Legenda: $\rho_{\text{apa},12}$, Densidade aparente a 15% de umidade.

Tabela 3.3 Classificação da retratibilidade e variação volumétrica

Classe	Radial (%)	Tangencial (%)	Volumétrica (%)
Muito baixa	< 1,5	<3,0	< 4,5
Baixa	1,6 a 2,5	3,1 a 5,0	4,6 a 7,5
Média	2,6 a 4,5	5,1 a 9,0	7,6 a 13,5
Elevada	4,6 a 6,5	9,1 a 13,0	13,6 a 19,5
Muito elevada	>6,6	> 13,1	> 19,6

Fonte: Nahuz (1974).

Tabela 3.4 Classificação da resistência a compressão paralela às fibras e ao cisalhamento

Classe	f_{co} (MPa)	f_v (MPa)
Muita baixa	< 20,0	< 5,0
Baixa	20,1 a 35,0	5,1 a 10,0
Média	35,1 a 55,0	10,1 a 15,0
Elevada	55,1 a 85,0	15,1 a 20,0
Muito elevada	> 85,1	> 20,0

Fonte: Nahuz (1974). Legenda: f_{co} , Resistência a compressão paralela às fibras; f_v , Resistência ao Cisalhamento.

Nogueira (1991) também propôs a classificação de espécies das dicotiledôneas de acordo com suas propriedades a 12% de umidade. Alguns desses critérios estão descritos na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 Classificação da resistência a tração paralela às fibras e do módulo de elasticidade a tração e a compressão paralela às fibras

Classe	f_{to} (MPa)	E_{to} (MPa)	E_{co} (MPa)
Baixa	$\leq 75,0$	≤ 16.000	10.000 a 15.000
Média	75,1 a 100,0	16.001 a 20.000	15.001 a 18.000
Alta	$\geq 100,1$	≥ 20.001	≥ 18.001

Fonte: Nogueira (1991). Legenda: f_{to} , Resistência a tração paralela às fibras; E_{to} , módulo de elasticidade na tração paralela às fibras; E_{co} , módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras.

CAPÍTULO 4

Resultados e Discussões

4.1 Dados dendométricos coletados em campo

Os resultados do diâmetro da base (DB), diâmetro a altura do peito (DAP), altura do fuste (Hf), altura total (Ht) e relação da média da altura do fuste pela média da altura total ($Hf_{méd}/Ht_{méd}$) estão expostos na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 Análise da dendrometria das espécies estudadas.

	Angico	Jurema-preta	Mororó	Pereiro
DB (cm)				
DB máx	28,01	24,64	7,32	16,87
DB mín	12,00	13,15	4,58	10,35
DB méd	16,83	18,29	5,62	13,86
DAP (cm)				
DAP máx	26,42	27,47	6,53	17,51
DAP mín	11,01	7,07	4,04	7,16
DAP méd	15,56	12,62	5,24	11,83
Hf (m)				
Hf máx	9,10	2,00	3,50	2,50
Hf mín	1,90	0,80	1,60	0,80
Hf méd	3,69	1,52	2,59	1,45
Ht (m)				
Ht máx	11,55	9,40	7,73	8,25
Ht mín	3,70	4,70	5,40	4,60
Ht méd	8,17	6,56	7,07	6,02
$Hf_{méd}/Ht_{méd}$ (%)	45,16	23,17	36,63	24,09

Legenda: DB, Diâmetro da Base; DAP, diâmetro a altura do peito; Hf, altura do fuste; Ht, altura total; $Hf_{méd}/Ht_{méd}$, relação da média da altura fuste/média da altura total. Fonte: Elaboração própria

Observa-se que a Jurema-preta possuiu o maior valor médio do diâmetro de base com 18,29 cm, seguida do Angico com 16,83 cm. Apesar de o Angico ter apresentado o maior valor do diâmetro da base total com 28,01 cm, essa espécie teve ampla inconsistência e oscilação dos seus valores, possuindo a maior variação total de 16,01 cm. O Mororó obteve o menor valor do diâmetro de base, entretanto, essa

espécie contém valores de diâmetros mais constantes do que as demais, com variação total de 2,74 cm. O Pereiro tem uma variação de 6,53 cm e média de 13,86 cm.

O Angico e a Jurema-preta destacam-se por possuir a maior média e o maior DAP, respectivamente. As médias do DAP das espécies Jurema-preta e Pereiro são próximos, com uma diferença de 0,79 cm. O Mororó apresentou valores do DAP de duas a três vezes menores do que as demais espécies. Esses valores corroboram com os resultados encontrados por Amorim *et al.* (2005); Fabricante e Andrade (2007); Sampaio (2010); Lima (2011); Maia (2012); Santos *et al.* (2013).

Nota-se que o diâmetro dos fustes das espécies Mororó, Angico e Pereiro apresentaram uma ampla uniformidade, considerando o diâmetro da base (DB) até o diâmetro a altura do peito (DAP). A diferença entre esses diâmetros foi de 0,38 cm, 1,27 cm e 2,03 cm, respectivamente. Apesar de as espécies apresentar uniformidade, a tortuosidade característica do bioma está presente e é um fator que vai de encontro a sua utilização como madeira serrada, pois a perda de madeira no desdobo é alta, independente das dimensões da peça.

O fuste é a parte da árvore mais utilizada na construção civil e sua altura é um dos fatores determinantes na produção das peças de madeira serrada. As espécies analisadas possuem uma média baixa de altura de fuste, variando de 1,45 m a 3,69 m. Neste quesito, o Angico foi à espécie que se sobressaiu obtendo os maiores valores. A Jurema-preta e Mororó apresentaram os piores resultados. Com relação à altura total houve uma variação geral de 6,02 m a 8,17 m. O Angico se destaca novamente por possuir as maiores alturas. Os valores encontrados corroboram com os principais resultados da literatura, conforme os estudos de Amorim *et al.* (2005), Fabricante e Andrade (2007); Rodal *et al.* (2008); Sampaio (2010); Lima (2011); Maia (2012).

Como o fuste é bastante utilizado na Construção Civil, foi desenvolvida uma relação Altura Fuste (Hf)/Altura Total (Ht), para indicar a porcentagem de fuste existente em cada espécie. O Angico foi a espécie que apresentou a melhor relação onde 45,16% de sua altura é constituída de fuste. O Mororó obteve a segunda melhor relação (36,63%), seguida da Jurema-preta e do Pereiro com as piores relações, abaixo dos 25%.

Diante do exposto, o Angico apresentou uma boa uniformidade do diâmetro do fuste, a maior média do diâmetro a altura do peito (DAP) e as maiores alturas de fuste e total. A Jurema-preta e o Pereiro possuem baixa estatura e valores médios do DAP inferiores ao Angico. O Mororó foi a espécie com menor diâmetro e melhor uniformidade de diâmetro até 1,30 m do solo. Os pequenos valores de diâmetro e altura observados no estudo são características que podem limitar a viabilidade da utilização dessas espécies na construção civil.

4.2 Caracterização física

4.2.1 Densidade básica e aparente

Os valores da densidade aparente foram corrigidos de acordo com o ábaco de Kolmann para umidade a 12%. Os resultados da densidade básica e aparente estão expostos na Tabela 4.2 e nas Figuras 4.1 e 4.2.

Tabela 4.2 Resultados do ensaio de densidade básica e aparente.

Densidade (g/cm ³)															
CP	Angico				Jurema-preta				Pereiro				Mororó		
	ρ_{bas}	ρ_{papa}			ρ_{bas}	ρ_{papa}			ρ_{bas}	ρ_{papa}			ρ_{papa}		
		ρ_{papa}	U%	$\rho_{papa, 12\%}$		ρ_{papa}	U%	$\rho_{papa, 12\%}$		ρ_{papa}	U%	$\rho_{papa, 12\%}$	ρ_{papa}	U%	$\rho_{papa, 12\%}$
I	0,87	0,97	7,14%	0,98	0,93	1,11	14,97%	1,11	0,66	0,81	16,35%	0,79	0,97	21,32%	0,95
II	0,85	0,96	8,30%	0,97	0,93	1,11	15,41%	1,11	0,63	0,78	16,13%	0,76	0,99	23,82%	0,97
III	0,83	0,95	10,29%	0,95	0,92	1,10	15,73%	1,10	0,73	0,90	16,17%	0,89	1,11	17,49%	1,10
IV	0,81	0,95	11,52%	0,95	0,93	1,11	15,92%	1,10	0,64	0,78	16,08%	0,76	1,00	17,37%	0,99
V	0,78	1,01	20,97%	0,99	0,97	1,15	13,31%	1,14	0,64	0,78	16,59%	0,76	1,33	35,20%	1,28
VI	0,81	0,99	15,50%	0,98	0,91	1,09	15,30%	1,08	0,64	0,77	14,65%	0,76	0,96	23,39%	0,93
VII	0,78	0,97	15,54%	0,96	0,96	1,14	13,02%	1,13	0,60	0,74	15,38%	0,73	0,96	22,85%	0,93
VIII	0,82	1,01	15,71%	1,00	0,93	1,10	13,33%	1,10	0,63	0,76	14,65%	0,75	1,01	21,88%	0,99
IX	0,78	0,95	13,77%	0,94	0,90	1,07	15,33%	1,06	0,58	0,71	17,78%	0,69	1,10	21,21%	1,08
X	0,88	1,07	13,41%	1,00	0,95	1,14	13,99%	1,13	0,61	0,75	15,10%	0,74	1,06	18,18%	1,04
XI	0,87	1,05	12,73%	1,05	0,93	1,11	13,75%	1,11	0,57	0,72	21,20%	0,70	1,13	17,65%	1,12
XII	0,88	1,07	13,60%	1,00	0,91	1,09	15,83%	1,08	0,67	0,82	15,87%	0,81	1,13	15,52%	1,12
Média	0,83			0,98	0,93			1,10	0,63			0,76			1,04
(± DP)	(±0,03)			(±0,03)	(±0,02)			(±0,02)	(±0,04)			(±0,05)			(±0,10)

Fonte: Elaboração Própria. Legenda: ρ_{papa} , densidade aparente; ρ_{bas} , densidade básica; DP, desvio padrão.

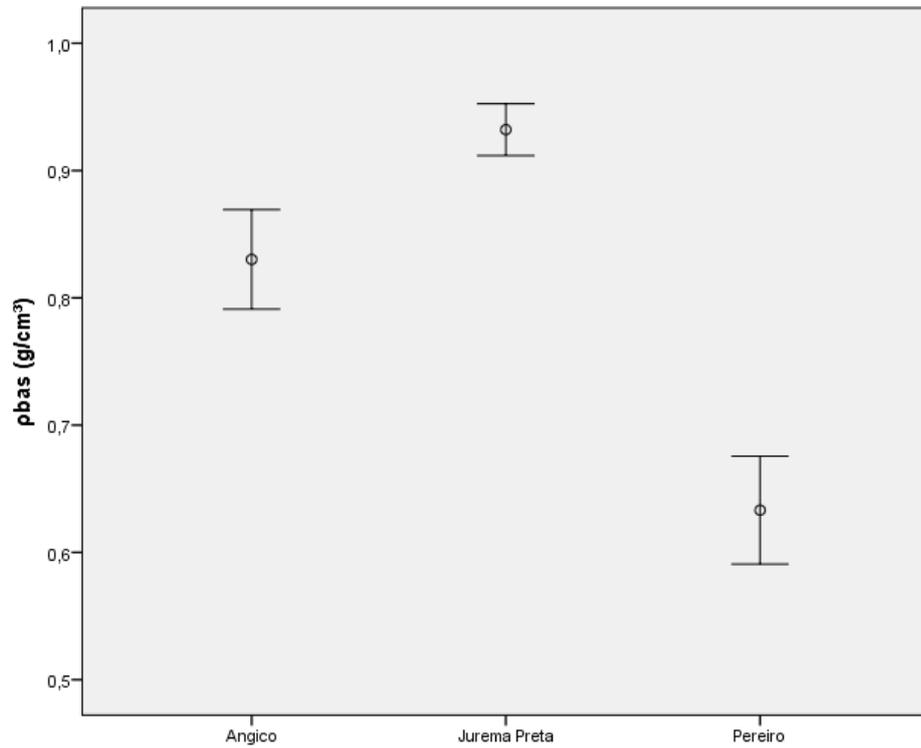


Figura 4.1 Resultado do ensaio de densidade básica (g/cm^3)
Fonte: Elaboração própria. Legenda: ρ_{bas} , densidade básica.

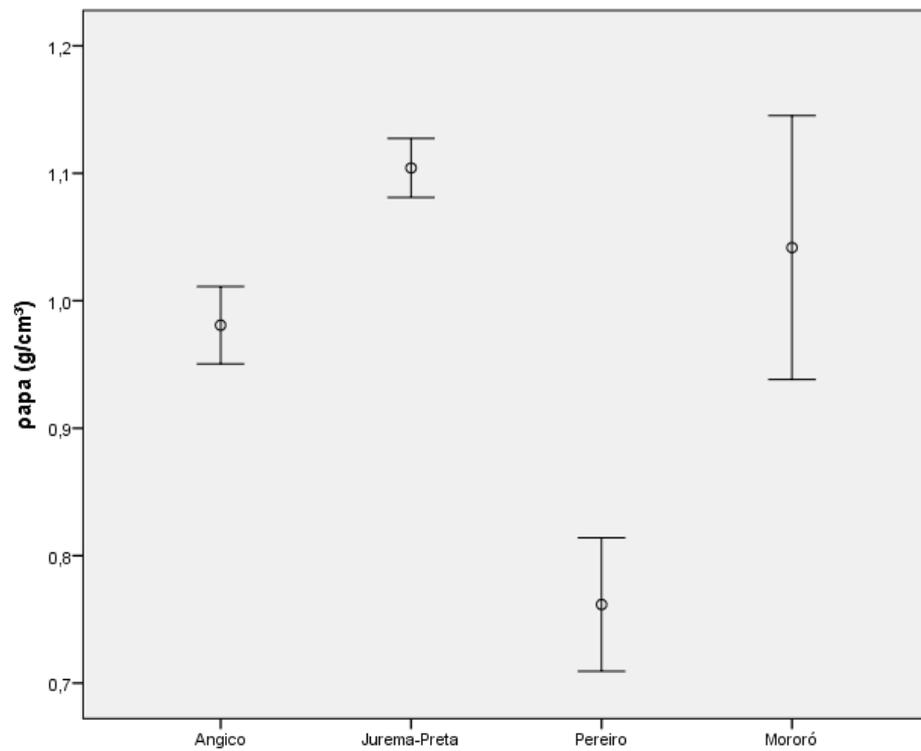


Figura 4.2 Resultado do ensaio de densidade aparente (g/cm^3).
Fonte: Elaboração própria. Legenda: ρ_{apa} , densidade aparente.

As espécies apresentaram valores de densidade básica que corroboram com alguns estudos referenciados neste trabalho, apesar das diferentes metodologias empregadas. A Jurema-preta obteve valor de densidade básica próximos aos estudos de Oliveira *et al.* (2006); Melo *et al.* (2006); Barros (2009); Silva *et al.* (2011); Santos *et al.* (2013); Paes (2013). O Pereiro apresentou valores semelhante aos encontrados por Santos *et al.* (2013) e Oliveira (2015) e o Angico com o de Vitória (2013) e Paes (2013).

Observa-se que as espécies estudadas apresentaram alto valor densidade aparente. Destacou-se a espécie Jurema-preta que obteve a maior média (1,10 g/cm³), seguida das espécies Mororó (1,04 g/cm³) e Angico (0,98 g/cm³). Essas espécies atingiram valores próximos a de espécies comumente utilizadas na construção civil como o Ipê (1,06 g/cm³), Jatobá (1,07 g/cm³) e maçaranduba (1,14 g/cm³) (ABNT NBR 7190, 1997). De forma geral as espécies estudadas são pesadas, o que pode dificultar seu uso em sistemas construtivos que têm por características a utilização de espécies leves.

O valor da densidade aparente do Angico encontrado no presente estudo corroborou com os resultados de Silva *et al.* (1996), com valores de 0,97 g/cm³. Outros resultados também foram semelhantes para as espécies Jurema-preta e Pereiro, variando em torno de 0,10 g/cm³ a menos do valor encontrado no presente estudo, com 0,97 g/cm e 0,68 g/cm³, respectivamente. Ressalta-se que os ensaios realizados por Silva *et al.* (1996) foram com umidade a 15%, teoricamente gerando valores superiores do que se os ensaios fossem realizados a umidade a 12%.

4.2.2 Estabilidade dimensional

Na Tabela 4.3 estão descritos os resultados do ensaio de estabilidade dimensional.

Tabela 4.3 Resultados do ensaio de estabilidade dimensional

	Angico	Jurema-preta	Pereiro
$\epsilon_{r,1}$ (%)	0,31	0,86	0,47
$\epsilon_{r,2}$ (%)	4,62	4,09	4,40
$\epsilon_{r,3}$ (%)	6,86	4,93	5,55
$\epsilon_{i,1}$ (%)	0,31	0,87	0,47
$\epsilon_{i,2}$ (%)	4,85	4,29	4,60
$\epsilon_{i,3}$ (%)	7,39	5,19	5,88
ΔV	12,95	10,64	11,27

Fonte: Elaboração Própria. Legenda: $\epsilon_{r,1}$, $\epsilon_{r,2}$, e $\epsilon_{r,3}$, retração nas direções axial, radial e tangencial, respectivamente; $\epsilon_{i,1}$, $\epsilon_{i,2}$ e $\epsilon_{i,3}$, inchamento nas direções axial, radial e tangencial, respectivamente; ΔV , variação volumétrica.

A Jurema-preta obteve os menores valores de retração e inchamento nas direções radial e tangencial e menor variação volumétrica. Logo, esta espécie tende a apresentar melhor desempenho à estabilidade dimensional dentre as estudadas. O Angico apresentou a maior variação entre a retração na direção radial e tangencial, propiciando o aparecimento de trincas, rachaduras, empenamento, encanoamentos e torcimentos.

O resultado da retração tangencial da Jurema-preta corrobora com o estudo de Lima *et al.* (1996). Para a retração radial e tangencial (exceto a Jurema-preta) e variação volumétrica, os mesmos autores encontraram valores inferiores. Os valores do Sabiá determinados por Nascimento (1998) foram inferiores aos das espécies apresentadas neste estudo.

4.3 Caracterização mecânica

4.3.1 Resistência a compressão paralela às fibras

Na Tabela 4.4 e na Figura 4.3 estão representados os valores do ensaio a compressão paralela às fibras (f_{c0}). Os resultados foram corrigidos para umidade a 12% das amostras que continham valores entre 10% e 20%, conforme determinação da NBR 7190 (ABNT, 1997). Na Tabela 4.5 encontra-se o valor da resistência característica à compressão paralela às fibras ($f_{c0,k}$).

Tabela 4.4 Resultados do ensaio a compressão paralela às fibras

CP	Angico			Jurema-preta			Pereiro			Mororó		
	f _{co} (MPa)	U%	f _{co, 12%} (MPa)	f _{co} (MPa)	U%	f _{co, 12%} (MPa)	f _{co} (MPa)	U%	f _{co, 12%} (MPa)	f _{co} (MPa)	U%	f _{co, 12%} (MPa)
I	42,43	16,39%	48,02	37,73	12,00%	37,73	36,49	16,07%	40,95	36,06	21,32%	36,06
II	44,93	14,75%	48,64	42,54	11,84%	42,33	43,09	7,14%	43,09	36,45	23,82%	36,45
III	48,28	14,52%	51,92	43,36	28,17%	43,36	41,55	17,54%	48,46	39,41	22,85%	39,41
IV	50,4	14,29%	53,85	46,06	23,48%	46,06	45,64	15,09%	49,87	40,60	23,39%	40,60
V	55,4	13,85%	58,47	44,32	14,29%	47,36	43,75	17,54%	51,03	44,01	21,88%	44,01
VI	57,33	13,04%	59,12	49,94	11,25%	48,81	48,86	15,38%	53,82	46,80	21,21%	46,80
VII	59,63	12,31%	60,18	53,18	10,96%	51,52	49,25	16,36%	55,70	47,08	18,18%	55,81
VIII	60,82	12,68%	62,06	51,74	13,51%	54,09	49,60	16,98%	57,01	52,46	15,52%	58,00
IX	64,35	10,96%	62,34	52,34	13,16%	54,16	49,83	17,65%	58,28	50,28	17,49%	58,57
X	67,13	10,29%	63,7	52,71	13,16%	54,54	54,15	15,09%	59,18	52,26	17,65%	61,11
XI	63,36	12,33%	63,99	56,77	13,16%	58,74	52,99	16,07%	59,46	62,45	35,20%	62,45
XII	68,47	10,96%	66,34	58,46	18,57%	69,99	54,05	15,38%	59,54	54,17	17,37%	62,90
f _{co,m} (± DP)			58,22 (± 5,92)			50,72 (± 8,19)			53,03 (± 6,14)			50,18 (± 10,17)

Legenda: CP, Corpo de prova; DP, desvio padrão; f_{co}, resistência a compressão paralela às fibras; U%, umidade; f_{co, 12%}, resistência a compressão paralela às fibras a 12% de umidade; f_{co,m}, valor médio da resistência a compressão paralela às fibras. Fonte: Elaboração própria

Tabela 4.5 Resistência característica a compressão paralela às fibras

	Angico	Jurema-preta	Pereiro	Mororó
f _{wk} (MPa)	49,76	41,71	43,49	34,99
f ₁ (MPa)	48,02	37,73	40,95	36,06
0,7 f _m (MPa)	40,75	35,51	37,12	35,13
f _{co,k} (MPa)	49,76	41,71	43,49	36,06

Legenda: f_{wk} = valor da resistência pela equação característica; f₁ = menor valor de resistência obtidos no ensaio; f_m = média dos valores de resistência obtidos no ensaio; f_{co,k} = resistência característica a compressão paralela às fibras. Fonte: Elaboração própria

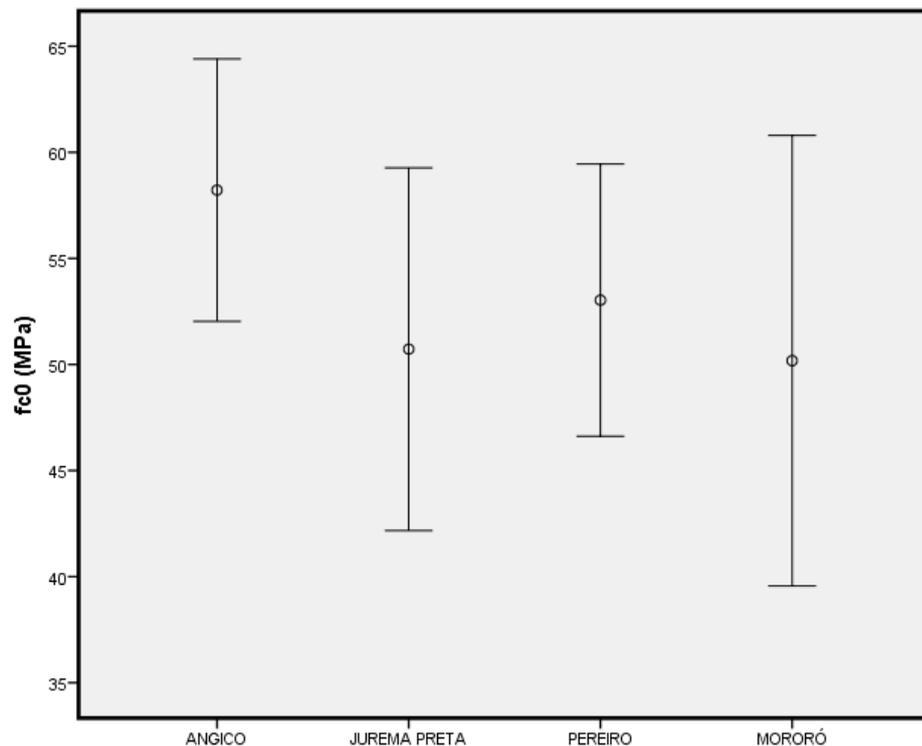


Figura 4.3 Resistência a compressão paralela às fibras

Fonte: Elaboração própria. Legenda: f_{c0} , resistência a compressão paralela às fibras.

Todas as espécies apresentaram resistência a compressão paralela às fibras acima de 50 MPa. Os valores obtidos foram próximos dos resultados determinados por Lima *et al.* (1996), exceto para a espécie Jurema-preta em que houve uma diferença adicional em torno de 37,00 MPa. Os mesmos autores encontraram para o Angico e o Pereiro resistência de 57,97 MPa e 47,05 MPa, respectivamente, que são valores que corroboram com os achados expostos neste estudo.

O Angico foi predominante, obtendo o maior valor médio de resistência, seguido do Pereiro, Jurema-preta e Mororó. Além de possuir maior resistência, o Angico também se destaca com a maior média do módulo de elasticidade. Nota-se que as médias do módulo de elasticidade seguem o padrão das médias da resistência à compressão paralela às fibras, ou seja, as espécies que apresentaram maiores resistências foram as que obtiveram os maiores módulos de elasticidade.

O Angico foi à espécie que se destacou por alcançar o maior valor de resistência característica à compressão paralela às fibras. As espécies apresentaram f_{c0k} superiores a 40 MPa, se enquadrando na classe C40 da NBR 7190 (ABNT, 1997), exceto o Mororó que se enquadrou na classe C30, essas são a segunda e a terceira maiores classes da tabela, respectivamente. A maioria das amostras do Mororó

apresentaram umidade acima de 20%, o que pode ter influenciado o resultado da resistência característica da espécie. Um indicativo disto é que os seis piores valores do ensaio foram com os corpos de prova acima de 20% de umidade. Outro indicativo é que a resistência característica foi determinada pelo menor valor obtido no ensaio (f_1), devido à ampla variação do valor do desvio padrão. Ressalta-se que para esta espécie o ensaio foi realizado como peças roliças. Segundo Calil Junior *et al.* (2003) o teor de umidade tem influência direta nas propriedades da madeira. Quanto maior o teor de umidade, maior será a densidade aparente e menor será a resistência mecânica.

Na Tabela 4.6 e na Figura 4.4 estão representados os valores do módulo de elasticidade a compressão paralela às fibras (E_{c0}). Os resultados foram corrigidos para umidade a 12% das amostras que continham valores entre 10% e 20%, conforme determinação da NBR 7190 (ABNT, 1997).

Tabela 4.6 Resultados do módulo de elasticidade do ensaio a compressão paralela às fibras

Angico				Jurema-preta			Pereiro			
CP	E _{c0} (MPa)	U%	E _{c0, 12%} (MPa)	E _{c0} (MPa)	U%	E _{c0, 12%} (MPa)	E _{c0} (MPa)	U%	E _{c0, 12%} (MPa)	
I	12.101,47	16,39%	13.164,82	6.735,93	12,00%	6.735,93	7.047,18	16,07%	7.621,03	
II	9.161,09	14,75%	9.665,70	10.408,53	11,84%	10.375,66	5.486,89	7,14%	5.486,89	
III	11.687,27	14,52%	12.275,40	12.670,07	28,17%	12.670,07	5.718,60	17,54%	6.352,66	
IV	12.116,72	14,29%	12.670,63	13.096,86	23,48%	13.096,86	13.771,91	15,09%	14.624,21	
V	14.336,87	13,85%	14.866,23	7.583,88	14,29%	7.930,57	7.492,17	17,54%	8.322,88	
VI	14.839,19	13,04%	15.148,87	6.904,98	11,25%	6.801,40	9.841,31	15,38%	10.507,49	
VII	12.613,31	12,31%	12.690,93	18.446,38	10,96%	18.062,29	10.272,86	16,36%	11.169,40	
VIII	18.204,12	12,68%	18.450,26	10.560,55	13,51%	10.880,22	10.027,28	16,98%	11.026,23	
IX	15.044,09	10,96%	14.730,84	6.736,56	13,16%	6.892,57	11.247,95	17,65%	12.518,30	
X	15.918,86	10,29%	15.375,75	8.577,61	13,16%	8.776,25	12.466,14	15,09%	13.237,63	
XI	21.348,83	12,33%	21.489,20	12.376,36	13,16%	12.662,97	8.111,02	16,07%	8.771,49	
XII	12.359,06	10,96%	12.101,72	4.747,50	18,57%	5.371,46	13.434,17	15,38%	14.343,56	
E_{c0,m}			14.385,86				10.021,36			
(± DP)			(± 3.002,02)				(± 3.505,56)			

Legenda: CP, Corpo de prova; DP, desvio padrão; E_{c0}, módulo de elasticidade a compressão paralela às fibras; U%, umidade; E_{c0, 12%}, módulo de elasticidade a compressão paralela às fibras a 12% de umidade; E_{c0,m}, valor médio do módulo de elasticidade a compressão paralela às fibras. Fonte: Elaboração própria

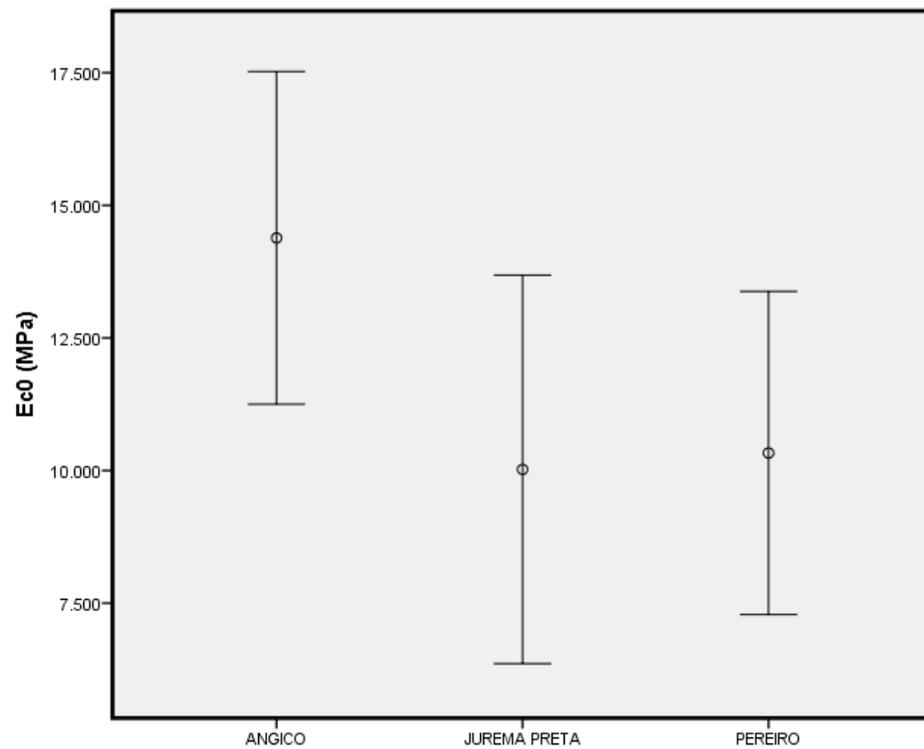


Figura 4.4 Módulo de elasticidade a compressão paralelo às fibras

Fonte: Elaboração própria. Legenda: E_{c0} , módulo de elasticidade a compressão paralelo às fibras.

Os resultados da média do módulo de elasticidade de todas as espécies estudadas são equivalentes das árvores dicotiledôneas contidas na classe C20, com $E_{c0,m}$ entre 9.500 a 14.500 MPa. Com isto, nota-se uma divergência entre as classificações das amostras de acordo com a tabela das classes das dicotiledôneas da NBR 7190 (ABNT, 1997), em que as resistências característica a compressão paralelo às fibras se enquadram na classe C40, exceto para o Mororó que se enquadrou na C30, e os módulos de elasticidade a compressão paralelo às fibras possuem valores que as enquadrariam na classe C20, quarta e última classe de resistência.

Possivelmente, devido à tortuosidade característica dessas espécies que provocam inclinações consideráveis nas fibras fazendo com que haja uma deformação maior. A inclinação das fibras, que podem ter origem no encurvamento do tronco e dos galhos durante o crescimento das árvores, tem influência significativa nos valores das propriedades da madeira (CALIL JUNIOR *et al.*, 2003). A NBR 7190 (ABNT, 1997) permite ignorar essa influência quando a inclinação, em relação ao eixo longitudinal da peça, for inferior ou igual a seis graus.

4.3.2 Resistência à tração paralela às fibras

Estão contidos nas Tabelas 4.7 e 4.8 e na Figura 4.5 os resultados obtidos no ensaio de tração paralela às fibras e os valores corrigidos para umidade a 12% para amostras com umidade entre 10% a 20%.

Tabela 4.7 Resultados do ensaio a tração paralela às fibras

Angico				Jurema-preta			Pereiro		
CP	f_{t0} (MPa)	U%	$f_{t0, 12\%}$ (MPa)	f_{t0} (MPa)	U%	$f_{t0, 12\%}$ (MPa)	f_{t0} (MPa)	U%	$f_{t0, 12\%}$ (MPa)
I	44,74	11,32%	43,83	46,30	10,94%	44,83	32,86	12,20%	33,06
II	52,76	10,42%	50,25	60,20	10,53%	57,53	42,04	10,20%	39,78
III	74,92	12,50%	76,05	63,75	10,94%	61,72	41,28	10,91%	39,93
IV	95,48	12,07%	95,68	74,50	12,50%	75,62	41,70	12,77%	42,66
V	103,76	10,34%	98,61	81,06	10,61%	77,67	53,59	11,11%	52,16
VI	105,54	10,71%	101,47	82,68	12,12%	82,98	66,69	11,36%	65,42
VII	112,64	10,00%	105,88	89,22	11,94%	89,06	76,38	11,63%	75,53
VIII	108,90	9,43%	108,90	97,00	12,50%	98,46	82,01	10,87%	79,23
IX	133,49	10,00%	125,48	111,54	9,68%	111,54	89,67	10,00%	84,29
X	132,80	9,52%	132,80	115,56	10,94%	111,88	89,82	8,70%	89,82
XI	146,46	10,00%	137,67	116,74	11,76%	115,92	95,32	11,36%	93,50
XII	144,26	11,67%	142,81	123,91	11,29%	121,28	95,42	11,54%	94,10
$f_{t0,m}$ (\pm DP)			101,62 (\pm 30,67)	87,37 (\pm 23,95)			65,79 (\pm 22,18)		

Legenda: CP, Corpo de prova; DP, desvio padrão; f_{t0} , resistência a tração paralela às fibras; U%, umidade; $f_{t0, 12\%}$, resistência a tração paralela às fibras a 12% de umidade; $f_{t0,m}$, valor médio da resistência a tração paralela às fibras. Fonte: Elaboração própria

Tabela 4.8 Resistência característica a tração paralela às fibras

	Angico	Jurema-preta	Pereiro
f_{wk} (MPa)	48,73	48,37	19,37
f_1 (MPa)	43,83	44,83	33,06
$0,7 f_m$ (MPa)	71,13	61,16	46,05
f_{t0k} (MPa)	71,13	61,16	46,05

Legenda: f_{wk} = valor da resistência pela equação característica; f_1 = menor valor de resistência obtidos no ensaio; f_m = média dos valores de resistência obtidos no ensaio; f_{t0k} = resistência característica a tração paralela às fibras. Fonte: Elaboração própria

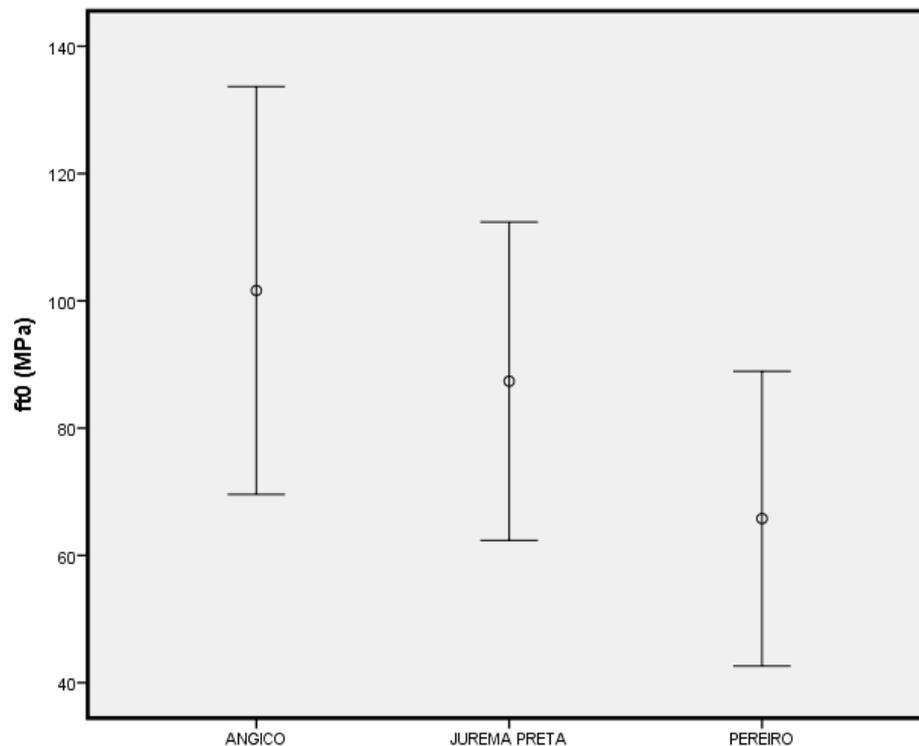


Figura 4.5 Resistência à tração paralela às fibras
 Fonte: Elaboração própria. Legenda: f_{t0} , resistência a tração paralela às fibras.

As espécies apresentaram bons valores médios no ensaio a tração paralela às fibras, acima de 60 MPa. O Angico se destacou por atingir o maior valor. Ressalta-se que os valores encontrados neste ensaio não tiveram interferência do teor de umidade dos corpos de prova, visto que todas as amostras já se encontravam em equilíbrio com o ambiente.

Por outro lado, observa-se para todas as espécies que houve uma grande variação nos resultados deste ensaio. Tal fato gerou um alto valor de desvio padrão. Essas variações, possivelmente foram oriundas de defeitos existentes na madeira, principalmente a presença de nós. A presença de nós provoca uma maior influência na resistência da madeira quando está submetida à tração do que a compressão (CALIL JUNIOR *et al.*, 2003). O nó é a base de um galho localizada no tronco ou em outro galho (QUOIRIN, 2004). Existem dois tipos de nós, os soltos e os firmes. Ambos são oriundos das formações dos galhos e diminuem a resistência da madeira, pelo fato de interromperem a continuidade e direção das fibras (CALIL JUNIOR *et al.*, 2003; QUOIRIN, 2004).

A resistência característica a tração paralela às fibras de todas as espécies ensaiadas foram superiores a resistência característica a compressão paralela às

fibras, conforme esperado. Porém, nota-se que os valores da resistência característica foram 30% inferiores aos valores da resistência média, devido à grande variação dos resultados encontrados. Desta forma, o valor de 70% da resistência média (f_m) das espécies ainda foi superior a equação característica que, neste caso, utiliza os seis piores resultados do ensaio.

Na Tabela 4.9 e na Figura 4.6 estão descritos os resultados do módulo de elasticidade da tração paralela às fibras, os valores foram corrigidos para umidade a 12% para amostras com umidade entre 10% a 20%, de acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997).

Tabela 4.9 Resultados do módulo de elasticidade do ensaio a tração paralela às fibras

Angico				Jurema-preta			Pereiro		
CP	E _{t0} (MPa)	U%	E _{t0, 12%} (MPa)	E _{t0} (MPa)	U%	E _{t0, 12%} (MPa)	E _{t0} (MPa)	U%	E _{t0, 12%} (MPa)
I	10.806,62	11,32%	10.659,81	8.747,66	10,94%	8.561,77	9.720,15	12,20%	9.758,08
II	11.165,63	10,42%	10.812,05	8.964,29	10,53%	8.700,08	9.520,91	10,20%	9.178,94
III	10.304,04	12,50%	10.407,08	6.616,17	10,94%	6.475,58	10.596,64	10,91%	10.365,44
IV	10.407,89	12,07%	10.422,24	11.647,83	12,50%	11.764,31	9.935,24	12,77%	10.087,44
V	10.754,11	10,34%	10.398,12	6.496,08	10,61%	6.314,97	13.346,35	11,11%	13.109,08
VI	12.933,52	10,71%	12.600,95	12.878,60	12,12%	12.909,82	10.848,02	11,36%	10.709,95
VII	8.932,47	10,00%	8.575,17	12.331,24	11,94%	12.316,51	10.448,32	11,63%	10.370,57
VIII	11.109,16	9,43%	11.109,16	11.687,26	12,50%	11.804,13	11.350,66	10,87%	11.094,03
IX	14.348,83	10,00%	13.774,87	9.754,26	9,68%	9.754,26	9.735,22	10,00%	9.345,82
X	11.365,15	9,52%	11.365,15	11.671,10	10,94%	11.423,09	9.505,09	8,70%	9.505,09
XI	11.309,09	10,00%	10.856,73	12.313,70	11,76%	12.255,76	10.734,75	11,36%	10.598,12
XII	13.019,29	11,67%	12.932,49	12.437,48	11,29%	12.260,95	8.717,84	11,54%	8.637,37
E_{t0,m} (± DP)			11.159,49 (± 1.320,87)			10.378,44 (± 2.245,88)			10.229,99 (± 1.104,20)

Legenda: CP, Corpo de prova; DP, desvio padrão; E_{t0}, módulo de elasticidade a tração paralela às fibras; U%, umidade; E_{t0, 12%}, módulo de elasticidade a tração paralela às fibras a 12% de umidade; E_{t0,m}, valor médio do módulo de elasticidade a tração paralela às fibras. Fonte: Elaboração própria

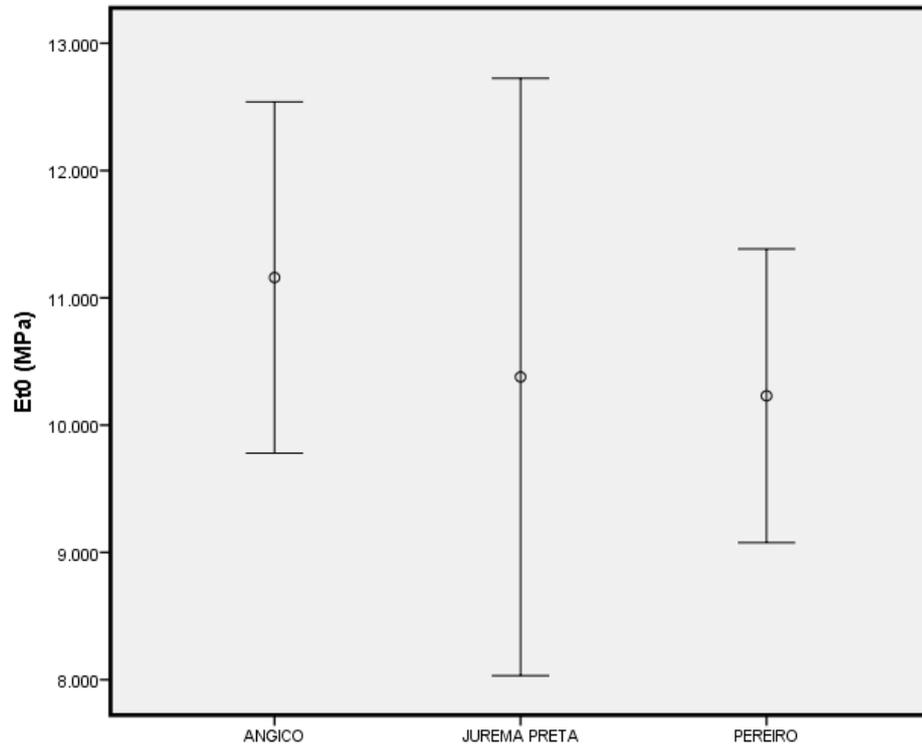


Figura 4.6 Módulo de elasticidade à tração paralela às fibras

Fonte: Elaboração própria. Legenda: E_{10} = módulo de elasticidade a tração paralela às fibras.

Os módulos de elasticidade das espécies apresentaram crescimento de acordo com o aumento da resistência característica. Mas, apesar dessa relação, a variação do módulo de elasticidade é pequena, devido à baixa deformação da madeira quando submetida a tração paralela às fibras (CALIL JUNIOR *et al.*, 2003).

4.3.3 Resistência ao cisalhamento

Os resultados do ensaio de cisalhamento, bem como a correção da resistência para umidade a 12%, estão representados nas Tabelas 4.10 e 4.11 e na Figura 4.7.

Tabela 4.10 Resultados do ensaio de cisalhamento

CP	Angico			Jurema-preta			Pereiro			Mororó		
	f_v (MPa)	U%	f_v 12% (MPa)									
I	6,95	16,67%	7,92	13,58	18,52%	15,71	8,07	22,73%	8,07	10,00	22,64%	10,00
II	8,84	13,79%	9,32	22,81	16,67%	26,40	8,70	15,00%	9,48	11,00	23,89%	11,00
III	11,92	16,67%	13,59	17,06	17,24%	20,39	8,44	18,18%	10,00	9,79	19,05%	11,86
IV	11,81	18,18%	14,00	20,49	17,24%	24,09	9,49	14,29%	10,14	12,91	22,05%	12,91
V	13,42	15,38%	14,78	19,89	20,69%	23,01	9,82	18,18%	11,64	10,80	19,62%	13,27
VI	13,55	16,00%	15,18	20,58	17,24%	25,51	12,14	14,29%	12,98	11,67	18,18%	13,84
VII	15,34	20,83%	15,34	8,14	18,52%	9,73	13,88	13,64%	14,56	12,35	18,04%	14,58
VIII	14,62	15,38%	16,11	10,70	20,00%	12,20	13,91	13,64%	14,59	15,12	22,50%	15,12
IX	15,68	15,38%	17,27	17,58	17,24%	17,58	15,12	22,73%	15,12	16,41	27,20%	16,41
X	14,94	17,86%	17,56	13,05	17,86%	15,10	14,49	18,18%	17,18	17,65	23,76%	17,65
XI	16,00	15,38%	17,62	17,20	20,00%	21,33	16,82	13,04%	17,34	16,08	19,42%	19,66
XII	14,34	20,00%	17,79	17,41	17,24%	20,15	18,05	16,67%	20,58	20,78	21,27%	20,78
$f_{v,m}$ (\pm DP)			14,71 (\pm 3,06)			19,27 (\pm 5,06)			13,47 (\pm 3,61)			14,76 (\pm 3,20)

Legenda: CP, Corpo de prova; DP, desvio padrão; f_v , resistência ao cisalhamento; U%, umidade; f_v , 12%, resistência ao cisalhamento a 12% de umidade; $f_{v,m}$, valor médio da resistência ao cisalhamento. Fonte: Elaboração própria

Tabela 4.11 Resistência característica ao cisalhamento

	Angico	Jurema-preta	Pereiro	Mororó
f_{wk} (MPa)	9,53	8,79	7,43	10,75
f_1 (MPa)	7,92	9,73	8,07	10,00
0,7 f_m (MPa)	10,29	13,49	9,43	10,33
f_{vk} (MPa)	10,29	13,49	9,43	10,75

Legenda: f_{wk} = valor da resistência pela equação característica; f_1 = menor valor de resistência obtidos no ensaio; f_m = média dos valores de resistência obtidos no ensaio; f_{10k} = resistência característica ao cisalhamento. Fonte: Elaboração própria

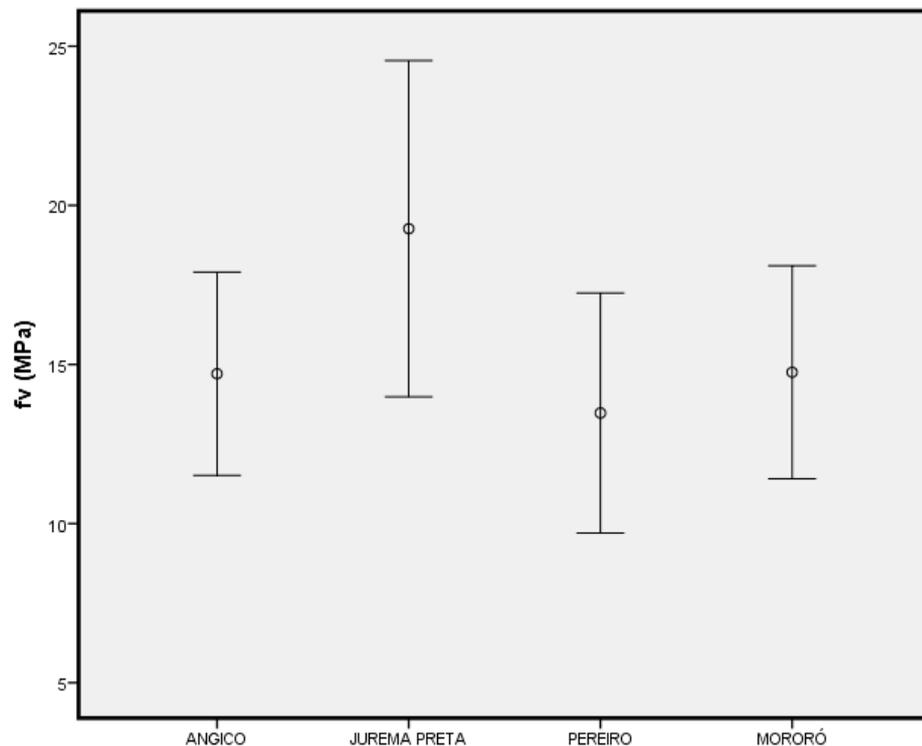


Figura 4.7 Resistência ao cisalhamento

Fonte: Elaboração própria. Legenda: f_v = resistência ao cisalhamento.

Todas as espécies estudadas apresentaram elevadas médias de resistência, com baixo desvio padrão. Destacaram-se a Jurema-preta e o Angico com valores semelhantes aos resultados encontrados por Lima *et al.* (1996). Esses autores apresentaram resultados em torno de 19,00 MPa para as espécies Jurema-preta e Angico e de 15,25 MPa para o Pereiro.

Na realização do ensaio, 58,33% das amostras do Mororó estavam com umidade superior a 20,00%. Mesmo assim, essa espécie obteve bom resultado com a segunda melhor média. Portanto, essas espécies apresentaram alto valor de resistência ao cisalhamento para um faixa de umidade variando entre a umidade de saturação das fibras até a umidade de equilíbrio.

No geral, as espécies apresentaram resistência característica determinada de acordo com 70% da média das resistências ao cisalhamento, bem como aconteceu no ensaio de tração paralela às fibras. Todas as resistências encontradas foram superiores a 8 MPa, valor mínimo das árvores pertencentes a classe C60 das dicotiledôneas da NBR 7190 (ABNT, 1997). Dentre as espécies estudadas destacou-se a Jurema-preta com o maior valor de resistência característica, seguido do Mororó, do Angico e do Pereiro, respectivamente.

4.4 Classificação

Na Tabela 4.12 estão expostas as classificações das espécies de acordo com Nuhz (1974) e Nogueira (1991).

Tabela 4.12 Classificação das propriedades

Propriedades	Angico	Jurema-preta	Pereiro	Mororó
Densidade aparente	Pesada	Pesada	Semipesada	Pesada
Retratibilidade	Média	Média	Média	-
Resistência a compressão paralela às fibras	Elevada	Média	Média	Média
Resistência a tração paralela às fibras	Alta	Média	Baixa	-
Resistência ao cisalhamento	Média	Elevado	Média	Média
Módulo de elasticidade a compressão paralela às fibras	Baixa	Baixa	Baixa	-
Módulo de elasticidade a tração paralela às fibras	Baixa	Baixa	Baixa	-

Fonte: Elaboração própria

Nota-se que as espécies estudadas são densas, possuindo boa classificação quanto a retratibilidade, resistência à compressão e à tração paralela às fibras (com destaque para o Angico) e ao cisalhamento (principalmente a Jurema-preta). Os módulos de elasticidade foram classificados como baixa.

A classificação das propriedades de resistência conforme Nuhz (1974) e Nogueira (1991) obtiveram melhores resultados quando comparada aos módulos de elasticidade, corroborando com a divergência dessas propriedades de acordo com a tabela das classes de resistência das dicotiledôneas da NBR 7190 (ABNT, 1997). Apesar da classificação conforme Nuhz (1974) e Nogueira (1991) utilizarem valores médios de resistência e a tabela das classes das dicotiledôneas valores característicos de resistência.

Observa-se na Tabela 4.12 que a resistência ao cisalhamento possui classificação média, exceto a Jurema-preta que apresenta classificação elevada. No entanto, em conformidade com as faixas de resistência características ao cisalhamento das classes de resistências das dicotiledôneas, os resultados obtidos por essas espécies as enquadrariam na classe C60.

Com base nos resultados da Tabela 4.12 e de acordo com a classificação geral sugerida pelo SUDAM e IPT (1981) é possível sugerir usos na construção civil, conforme Tabela 4.13.

Tabela 4.13 Classificação do uso na construção civil

Classificação do Uso	Espécies			
	Angico	Jurema-preta	Pereiro	Mororó
Construção Civil Pesada	Externa			
	Interna			
Construção Civil Leve	Externa	✓	✓	✓
	Interna - Decorativa	✓	✓	✓
	Interna – Utilidade Geral	✓	✓	✓
	Interna – Estrutural	✓	✓	✓
Assoalhos Domésticos	-			

Fonte: Elaboração própria

As espécies estudadas podem ser aptas para o uso na construção civil leve, para uso externo, interno decorativa, interna utilidade geral e interna estrutural. As demais classificações foram descartadas por necessitar de uma alta propriedade mecânica. Ressalta-se que é de extrema importância a realização dos ensaios da qualidade de secagem, resistência convencional na flexão, duráveis ou tratáveis, trabalhabilidade, condutividade, fixação mecânica, qualidade do desdobro para possuírem requisitos técnicos necessários para essas utilizações.

Desse modo, embora satisfatórios os resultados não são suficientes para a completa caracterização e utilização, porém eles permitem vislumbrar novas aplicações das espécies Angico, Pereiro, Jurema-preta e Mororó. Essas aplicações aumentam a oferta de produtos oriundos da Caatinga, gerando incrementos na receita

dos produtores rurais e contribuindo para sua qualidade de vida, além de reforçar a valorização do Bioma como um bem produtivo por meio do manejo florestal.

4.5 Correlações

Na Tabela 4.14 estão descritas as seguintes correlações:

- Densidade aparente com as demais propriedades;
- Resistência à compressão paralela às fibras com resistência a tração paralela as fibras, resistência ao cisalhamento e ao módulo de elasticidade a compressão paralela às fibras;
- Módulo de elasticidade a tração paralela às fibras com a resistência e o módulo de elasticidade a compressão paralela às fibras.

Tabela 4.14 Correlações entre as propriedades mecânicas e da densidade aparente

		ρ_{papa}				f_{co}				E_{t0}		
		AN	JP	MO	PE	AN	JP	MO	PE	AN	JP	PE
f_{t0}	p valor	0,797	0,823	-	0,338	0,325	0,205	-	0,953	0,204	0,040	0,578
	r	-0,083	0,073	-	0,103	0,311	-0,394	-	0,019	0,395	0,599	-0,179
E_{co}	p valor	0,503	0,259	-	0,728	0,050	0,616	-	0,022	0,482	0,269	0,873
	r	0,214	0,354	-	0,112	0,567	-0,161	-	0,652	0,225	0,347	-0,052
f_{v0}	p valor	0,106	0,516	0,867	0,043	0,129	0,157	0,907	0,752			
	r	-0,490	-0,208	0,054	0,591	-0,464	0,435	-0,038	-0,102			
E_{t0}	p valor	0,160	0,203	-	0,829							
	r	-0,433	-0,395	-	0,070							
f_{co}	p valor	0,015	0,821	0,006	0,447							
	r	0,677	-0,073	0,744	0,243							

Fonte: Elaboração própria. Legenda: AN, Angico; JP, Jurema-preta; MO, Mororó; PE, Pereiro; f_{t0} , resistência a tração paralela às fibras; E_{t0} , módulo de elasticidade a tração paralela às fibras; f_{co} , resistência a compressão paralela às fibras; E_{co} , módulo de elasticidade a compressão paralela às fibras; f_{v} , Resistência ao cisalhamento; r, coeficiente de correlação de Pearson.

Observa-se que seis correlações apresentaram significância estatística. O Angico e o Pereiro se sobressaíram das demais apresentando duas correlações significativas cada um. A Jurema-preta e o Mororó apresentaram, cada um, uma correlação significativa. As correlações significativas foram entre:

- Densidade aparente com a resistência a compressão paralela às fibras do Angico ($p = 0,015$; $r = 0,677$) e Mororó ($p = 0,006$; $r = 0,744$) com força de correlação boa para ambos;
- Densidade aparente com a resistência ao cisalhamento do Pereiro ($p = 0,043$; $r = 0,591$), com força de correlação negativa e boa;
- Resistência a compressão paralela às fibras com o módulo de elasticidade a compressão paralela às fibras do Angico ($p = 0,050$; $r = 0,567$) e do Pereiro ($p = 0,022$; $r = 0,652$) com força de correlação moderada e boa, respectivamente;
- Módulo de elasticidade a tração paralela às fibras com a resistência a tração paralela às fibras da Jurema-preta ($p = 0,040$; $\rho = 0,599$) com força de correlação moderada.

A densidade aparente tem uma relação direta com as demais propriedades (PANSHIN e ZEEUW, 1980; LIMA *et al.*, 1996; LATORRACA e ALBUQUERQUE, 2000; DIAS *et al.*, 2000; LOBÃO, 2004). No entanto, conforme o resultado das correlações a densidade básica se relacionou apenas com quatro propriedades e de diferentes espécies.

A NBR 7190 (ABNT, 1997) propõem relações entre as propriedades a partir do ensaio de compressão paralela às fibras. Algumas dessas relações é que a resistência a tração paralela às fibras corresponde a 77% da resistência a compressão paralela às fibras; para as dicotiledôneas a resistência ao cisalhamento equivale a 12% da resistência a compressão paralela às fibras e admitem que os módulos de elasticidade a compressão e a tração paralela às fibras sejam iguais. Porém, neste trabalho foram observadas poucas correlações significativas entre as propriedades.

		ρ_{apa}	ΔV	$\epsilon_{i,3}$	$\epsilon_{i,1}$	$\epsilon_{i,2}$	$\epsilon_{r,1}$	$\epsilon_{r,2}$	$\epsilon_{r,3}$	
P E R E I R O	ρ_{bas}	p valor	0,0001	0,013	0,227	0,284	0,733	0,276	0,726	0,236
		r	0,984	0,689	0,377	0,377	0,110	0,324	0,113	0,370
	ρ_{apa}	p valor		0,007	0,206	0,259	0,700	0,255	0,692	0,214
		r		0,729	0,393	0,254	0,125	0,357	0,128	0,387
	ΔV	p valor			0,084	0,857	0,282	0,855	0,277	0,087
		r			0,519	0,058	0,338	0,059	0,342	0,515
	$\epsilon_{i,3}$	p valor				0,131	0,042	0,134	0,043	0,0001
		r				-0,461	-0,594	-0,459	-0,592	1,000
	$\epsilon_{i,1}$	p valor					0,320	0,0001	0,319	0,126
		r					0,314	1,000	0,315	-0,466
	$\epsilon_{i,2}$	p valor						0,323	0,0001	0,041
		r						0,312	1,000	-0,597
	$\epsilon_{r,1}$	p valor							0,322	0,129
		r							0,313	-0,464
$\epsilon_{r,2}$	p valor								0,042	
	r								-0,594	

Fonte: Elaboração própria. Legenda: ρ_{bas} , densidade básica; ρ_{apa} , densidade aparente; $\epsilon_{r,1}$, $\epsilon_{r,2}$ e $\epsilon_{r,3}$, retração na direção axial, radial e tangencial, respectivamente; $\epsilon_{i,1}$, $\epsilon_{i,2}$, e $\epsilon_{i,3}$, inchamento na direção axial, radial e tangencial, respectivamente; ΔV , variação volumétrica; r, coeficiente de correlação de Pearson.

Observa-se que quarenta e sete correlações apresentaram significância estatística. Dentre as correlações significativas, nove análises apresentaram força de correlação perfeita ($p = 0,0001$; $r=1,000$). As propriedades que se destacaram por meio das correlações significativas estatisticamente estão descritas a seguir:

- Densidade básica com a densidade aparente de todas as espécies. A força de correlação do Angico ($r = 0,569$) foi moderada, a da Jurema-preta ($r = 0,972$) foi forte e a do Pereiro ($r = 0,984$) foi forte;
- Densidade aparente do Angico com a retração ($p = 0,050$; $r = 0,571$) e inchamento tangencial ($p = 0,050$; $r = 0,573$), ambos apresentando força de correlação moderada;
- Densidade aparente da Jurema-preta com retração radial ($r=0,721$) e tangencial ($r=-0,744$) e com inchamento radial ($r=0,722$) e tangencial ($r=-0,745$), todas com força de correlação boa;
- A variação volumétrica do Angico com a retração axial ($r=-0,961$), radial ($r=0,737$) e tangencial ($r=0,968$) assim como o inchamento axial ($r=-0,688$), radial ($r=0,735$) e tangencial ($r=0,967$) com força de correlação variando de boa a forte;

- Houve correlação boa e forte para o Angico entre o inchamento tangencial com o axial ($r=-0,795$), com a retração axial ($r=-0,797$) e retração tangencial ($r=1,000$);
- A retração tangencial do Angico se correlacionou com o inchamento axial ($r=-0,792$; boa), retração axial ($r=-0,795$; boa) e retração radial ($r=0,560$; moderada);
- O inchamento com a retração do Angico se correlacionaram nas subcategorias axial e radial, ambas com ($r= 1,000$) indicando correlação perfeita;
- Densidade básica da Jurema-preta apresentou força de correlações boa com o inchamento tangencial ($r=-0,696$) e radial ($r=0,749$) assim como a retração tangencial ($r=-0,694$) e radial ($r=0,748$);
- A variação volumétrica da Jurema-preta se destacou por se correlacionar de forma boa com o inchamento radial ($r=0,756$) e axial ($r=-0,699$); e retração radial ($r=0,752$) e axial ($r=-0,699$);
- Na Jurema-preta observou-se correlação entre o inchamento tangencial com a retração tangencial ($r=1,000$; perfeita); inchamento axial com inchamento radial ($r= -0,836$; forte) e com as retrações axial ($r=1,000$; perfeita) e radial ($r=-0,839$; forte); inchamento radial com a retração axial ($r=-0,833$, forte);
- A retração radial da Jurema-preta se correlacionou de forma forte com o inchamento radial ($r=1,000$) e retração axial ($r=-0,836$);
- Variação volumétrica com densidade aparente ($p=0,007$; $r=0,729$) e densidade básica ($p=0,013$; $r=0,689$) do Pereiro, com força de correlação boa;
- Inchamento tangencial do Pereiro com inchamento radial ($p=0,042$), retração radial ($p=0,043$) e retração tangencial ($p=0,0001$). O inchamento e a retração radial obtiveram força de correlação moderada, enquanto que a retração tangencial foi perfeita.
- Inchamento axial com retração axial do Pereiro, obtendo força de correlação perfeita ($r=1,000$); Inchamento radial com retração

radial ($r=1,000$; perfeita) e retração tangencial ($r=-0,597$; negativa e de força moderada); e a retração radial com a tangencial ($r=-0,594$) com correlação negativa e moderada;

As propriedades de inchamento e retração de cada espécie, de acordo com as direções principais, apresentaram significância estatística com força de correlação expressiva.

Como ocorreu nas correlações entre a densidade aparente e as propriedades mecânicas, a densidade aparente apresentou poucas correlações significativas com as demais propriedades. A espécie Jurema-preta apresentou o maior número de correlações significativas entre as densidades básica e aparente com as propriedades da estabilidade dimensional, cada densidade obteve quatro correlações significativas dentre sete possíveis.

A ausência de um número maior de correlações significativas entre a mesma espécie pode ser justificado pela presença dos fatores anatômicos e peculiares para cada árvore coletada. Por ser um material de origem biológica, elementos como variação química, a geometria dos anéis de crescimento, a idade das diferentes camadas, o nível de lenhificação das paredes dos elementos anatômicos, a posição das amostras em relação à altura da árvore ou ao seu diâmetro, a maior ou menor incidência de nó e de fibras reversas influenciam nas suas propriedades, o que pode ter alavancado tal resultado no presente estudo (HELLMEISTER, 1982; CALIL JUNIOR *et al.*, 2003; PFEIL e PFEIL, 2003).

A NBR 7190 (ABNT, 1997) determina que os corpos de prova deverão ser isentos de defeitos. Todavia, devido a pequena dimensão e tortuosidade do fuste das árvores da Caatinga, não foi possível atender essa exigência em sua plenitude. Alguns corpos de prova apresentaram presença de nós, de alborno e de medula, podendo ser a causa do número inesperado e pequeno das correlações identificadas. Segundo Calil Junior *et al.* (2003) o nó, a presença do alborno e da medula provocam diminuição da resistência mecânica. A influência do nó na resistência mecânica depende do seu tamanho, localização, forma, firmeza e tipo de tensão considerada. O alborno têm propriedades diferentes do cerne e a medula, além de provocar redução da resistência mecânica, facilita o ataque biológico e podem causar o surgimento de rachaduras no cerne da árvore (CALIL JUNIOR *et al.*, 2003)

CAPÍTULO 5

Conclusão

As espécies Angico, Mororó e Pereiro apresentaram baixa conicidade. Todas as espécies estudadas apresentam maior representatividade de copa em detrimento de fuste. A espécie Angico se destacou por apresentar a melhor relação altura do fuste com a altura total.

Os resultados dos ensaios não seguem a padronização (os intervalos) conforme as classes de resistência das dicotiledôneas da NBR 7190 (ABNT, 1997).

Houve 38% de significância estatística entre as propriedades correlacionadas. Dentre as propriedades físicas, destacaram-se as relações entre a densidade básica e aparente e entre as propriedades da estabilidade dimensional. Nas propriedades mecânicas destacou-se a resistência a compressão paralela às fibras com o maior número de correlações significativas.

As propriedades físicas, de resistência e rigidez estudadas indicam viabilidade para uso estrutural, possibilitando vários usos na construção civil. Vindo a substituir ou dividir espaços com outras espécies tradicionalmente comercializadas. As indicações são:

- Angico, Jurema-preta e Pereiro – Na construção civil leve como moirões, pontaletes, andaimes, vigas, caibros, caixilhos, guarnições, ripas, sarrafos, lambris, painéis, molduras, perfilados, guarnições, rodapés, sarrafos, alçapões, portas, folha de porta, venezianas, caixilhos, batentes, janelas e sarrafos;
- Mororó - Na construção civil leve como pontaletes, caibros, ripas, sarrafos. Sendo todas as utilizações como madeira roliça.

Com relação aos sistemas construtivos e elementos estruturais, têm-se:

- Angico, Jurema-preta e Pereiro – Por apresentarem baixo módulo de elasticidade podem ser utilizados nos sistemas estruturais *Gridshell* e Estrutura Lamelar;
- As espécies podem ser utilizadas no sistema pilar e viga, sendo limitadas pelas suas dimensões. Para o melhor aproveitamento da árvore é aconselhável utiliza-las como madeira roliça;
- Os ensaios certificam o uso em estruturas que são submetidas a esforços normais como treliças e elementos de contraventamentos.

5.1 Limitações da pesquisa

O limite do comprimento permitido pela transportadora é de 1,05 m, impossibilitando a realização do ensaio de flexão. A NBR 7190 (ABNT, 1997) estabelece em 1,15 m o comprimento do corpo de prova para a realização desse ensaio.

Impossibilidade de confecções de corpos de prova para a espécie Mororó.

Distância entre o local da realização dos ensaios e o local da realização da pesquisa.

Número reduzido de trabalhos técnicos sobre as espécies estudadas da Caatinga na construção civil em conformidade com a NBR 7190 (ABNT, 1997).

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

- Implementação e ampliação de pesquisas científicas sobre as características físico-mecânicas das espécies florestais da Caatinga para que se possa ampliar e difundir a sua utilização no meio científico.
- Realizar a caracterização dessas espécies considerando elementos roliços;
- Complementar os ensaios de caracterização para corroborar com a utilização na construção civil leve;

- Dimensionar e executar sistemas estruturais como o *gridshell* e Estruturas Lamelares empregando as espécies Angico, Jurema-preta e Pereiro;
- Analisar a viabilidade econômica para o emprego destas madeiras na construção civil.

Referências Bibliográficas

- ALMEIDA, A. M. C.; OLIVEIRA, E.; CALEGARI, L.; MEDEIROS NETO, P. N.; PIMENTA, A. S. **Avaliação físico-química e energética da madeira das espécies *Piptadenia stipulacea* (benth.) Ducke e *Amburana cearensis* (Allemão) AC Smith de ocorrência no semiárido nordestino brasileiro.** *Ciência Florestal*, v. 25, n. 1, p. 165-173, 2015.
- ALVES, J. J. A.; ARAÚJO, M. A.; NASCIMENTO, S. S. **Degradação da Caatinga: Uma Investigação Ecogeográfica.** *Revista Caatinga*, v. 22, n 3, p. 126-135, 2009
- AMORIM, I. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, E. L. **Flora e estrutura da vegetação arbustivo-arbórea de uma área de caatinga do Seridó, RN, Brasil.** *Acta botânica brasílica*, vol. 19, n. 3, p. 615-623, 2005.
- ARAÚJO, L. V. C.; LEITE, J. A. N.; PAES, J. B. **Estimativa da produção de biomassa de um povoamento de jurema-preta (*mimosa tenuiflora* (willd.) Poiret. Com Cinco anos de idade.** *Biomassa & Energia*, v. 1, n. 4, 347-352, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9170:** Projetos em estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7203:** Madeira serrada e beneficiada. Rio de Janeiro, 1982.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 14807:** Peças de madeira serradas. Rio de Janeiro, 2002.
- ATOS ARQUITETURA. Disponível em:
<<http://atosarquitetura.com.br/noticias/dicas-para-quem-vai-construir-sua-casa-construcao-em-wood-frame/>>. Acessado em: 22 jan. 2018.
- AZEVEDO, T. K. B.; BRITO, H. R.; LIMA, F. S.; ALMEIDA, A. M. C.; TREVISAN, L. F. A.; PEREIRA, A. V., OLIVEIRA, E.; MEDEIROS, J. X. **Determinação da densidade básica da madeira de *Piptadenia stipulacea* ((Benth) Ducke) e *Amburana cearensis*.** *Agropecuária Técnica*, v. 31, n. 1, p. 94-97, 2010.
- BARBOSA, M. R. V. **Espécies arbóreas da caatinga.** *Estatística Florestal da caatinga*, v. 2, p. 110-140, 2015.
- BARBOSA, M. R. V.; LIMA, I. B.; LIMA, J. R.; CUNHA, J. P.; AGRA, M. F.; THOMAS, W. W. **Vegetação e flora no Cariri Paraibano.** *Oecologia brasiliensis*, v. 11, n. 3, p. 313-322, 2007.

BARROS, B. C. D. (2009). **Volumetria, calorimetria e fixação de carbono em florestas plantadas com espécies exóticas e nativas usadas como fonte energética no Polo Gesseiro do Araripe-PE**. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 37-38, 49 p, 2009.

BATISTA, F. D. **A tecnologia construtiva em madeira na região de Curitiba: da casa tradicional à contemporânea**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007. 181 p.

BATISTA, D. C.; KLITZKE, R. J.; SANTOS, C. V. T. **Densidade básica e retratibilidade da madeira de clones de três espécies de *Eucalyptus***. Ciência Florestal, v. 20, n. 4, p. 665-674, 2010.

BRITO, L. D. **Recomendações para o projeto e construção de estruturas com peças roliças de madeira de reflorestamento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo - USP, São Carlos, 2010. 339 p.

BRUDER, E. M. **Métodos de determinação da densidade básica e aparente da madeira de *Eucalyptus sp.*** Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2012.

BRUNI, A. L. **SPSS aplicado à pesquisa acadêmica**. Atlas, 2009.

BUILD WITH BMC. Disponível em:
<<http://www.buildwithbmc.com/bmc/Trusses-I-Joists-Engineered-Lumber/Glued-Laminated-Timber/16-24F-V4-17E-Industrial-Glulam-Beam/p/IGL3121178169>>. Acessado em: 22 jan. 2018.

CALIL JUNIOR, C.; LARH, F. A. R.; DIAS, A. A. **Dimensionamento de elementos Estruturais de Madeira**. 1. ed., Barueri: Manole, 2003.

CARNEIRO, A. C. O.; SANTOS, R. C.; CASTRO, R. V. O.; CASTRO, A. F. N. M.; PIMENTA, A. S.; PINTO, E. M.; ALVES, I. C. N. **Estudo da Decomposição Térmica da Madeira de Oito Espécies da Região do Seridó, Rio Grande do Norte**. Revista Árvore. v. 37, n. 6, p. 1 – 11, 2013.

CARREIRA, M. R. **Avaliação da rigidez à flexão de toras de madeira por meio de vibração transversal**. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas), Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

CARPENTER OAK E WOODLAND. Disponível em:
<<http://carpenteroakandwoodland.com/project/orangery-gridshell/>>. Acessado em: 22 jan. 2018.

CARPINTERIA. **A Madeira Laminada Colada**, 2016. Disponível em
<<http://www.carpinteria.com.br/madeira-laminada-colada-glulam/>>. Acessado em 03 jul. 2017.

CARPINTERIA. Disponível em:
<<http://www.carpinteria.com.br/portfolio/items/casa-avare-02/#bwg27/1022>>.
Acessado em: 22 jan. 2018.

CARPINTERIA. Disponível em:
<<http://www.carpinteria.com.br/portfolio/items/shopping-iguatemi-fortaleza/#bwg12/466>>. Acessado em: 22 jan. 2018.

CARPINTERIA. Disponível em:
<<http://www.carpinteria.com.br/portfolio/items/casa-avare-01/#bwg26/915>>.
Acessado em: 22 jan. 2018.

CAVALHEIRO, R. S. **Madeira Laminada Colada de *Shizolobium amazonicum* Herb. (Paricá): Combinação Adesivo/Tratamento Preservante**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia dos Materiais). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2014. 104p.

CESAR, S. F. **As estruturas Hauff de madeira no Brasil**. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, São Carlos, 1991.

CONSTRUÇÃO MERCADO. Disponível em:
<<http://construcaomercado17.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/146/artigo299692-1.aspx>> . Acessado em: 22 jan. 2018.

CUNHA, U. S. **Dendrometria e inventário florestal**. Manaus, 2004.

DALCOASTAL STUDIO. Disponível em: < <http://dalcoastalstudio.com/gridshell-construction-package-1/>>. Acessado em: 22 jan. 2018.

DI MAURO, F. J. P. **Madeira na construção civil: Da ilegalidade à certificação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

DI MAURO, F. J. P.; DEMARZO, M. A. **Certificação e Uso de Espécies de Madeira na Construção Civil e Estruturas**. XIV EBRAMEM – Encontro Brasileiro em Madeira e em Estruturas de Madeira. Natal/RN, 2014.

DIAS, F. M.; LAHR, F. A. R. **Correlações entre a densidade aparente e as propriedades de resistência da madeira**. Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, São Paulo, v. 14, pp. 22401 – 22412, 2000.

ESPÍNDOLA, L. D. R. **Habitação de interesse social em madeira conforme os princípios de coordenação modular e conectividade**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010. 173 p.

EUCATRATUS. Disponível em: <<http://eucatratus.com.br/madeirarolica>>. Acessado em: 22 jan. 2018.

FABRICANTE, J. R.; ANDRADE, L. A. **Análise estrutural de um remanescente de caatinga no Seridó Paraibano**. Oecologia Brasiliensis, v. 11, n. 3, p. 341-349, 2007.

FALK, R. H. **Wood as a Sustainable Building Material**. Wood Handbook – Wood as an Engineering Material, cap. 1, p.1 -16, 2010.

FERREIRA, N. S. S. **Estruturas Lamelares de Madeira para Coberturas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo - USP, São Carlos, 1999. 250 p.

FRANÇA, R. F. **Estrutura anatômica da madeira e do carvão de espécies da caatinga**. Dissertação (Mestrado), Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015. 66 p.

GAMA, D. C.; JESUS, J. B.; BONFIM, J. S.; MENEZES, M. S.; DEUS, D. A. **Madeiras serradas empregadas na construção civil habitacional do Município de Ribeira do Pombal-BA**. Agroforestalis New, v. 1, n. 2, p. 15-23, 2016.

GLASS, S. V.; ZELINKA, S. L. **Moisture Relations and Physical Properties of wood**. Structure and Function of Wood. Wood Handbook – Wood as an Engineering Material, cap. 4, p.1-19, 2010.

GONÇALVES, C. A.; LELIS, R. C. C.; ABREU, H. S. **Caracterização físico-química da madeira de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.)**. Revista Caatinga, vol. 23, n. 1, p. 54-62, 2010.

GRIDSHELL.IT. Disponível em: <http://www.gridshell.it/gridshell_selinunte/>. Acessado em: 22 jan. 2018.

HELLMEISTER, J. C. **Madeiras e suas características**. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 1. 1983, São Carlos, **Anais...** São Carlos, USP-EESC, 1983, v.1 p. 1-32.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, 2016. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-e-pecuaria/2040-np-producao-da-extracao-vegetal-e-da-silvicultura/9105-producao-da-extracao-vegetal-e-da-silvicultura.html?&t=resultados>>. Acessado em: 17 ago. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA. **DOF: Informação Estratégica para a Gestão Florestal no Brasil: Período 2007-2009**. Brasília, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA. Disponível em: <<https://novaescola.org.br/conteudo/5626/biomas-brasileiros-parte-5-caatinga>>. Acessado em: 15 jan. 2008.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. **Catálogo de madeira brasileiras para a construção civil**. São Paulo, 2013.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. **Madeira: uso sustentável na construção civil**. 2. ed. São Paulo: SVMA, 2009.

JAMMAL FILHO, F. A. **Determinação da densidade da madeira de clones de *Eucalyptus spp.* a idades passadas com uso da técnica de atenuação de radiação gama**. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

KRECHMANN, D. E. **Mechanical Properties of Wood. Structure and Function of Wood**. Wood Handbook – Wood as an Engineering Material, cap. 5, p.1-44, 2010.

KOLLMANN, F.; COTÉ, W. A. **Principles of wood science and technology**. Berlin: Springer-Verlag, v. 1, 1968.

KUNZ, M.; PRAUCHNER, M. B. **Uso do sistema estrutural Gridshell na criação de formas complexas em estruturas de madeira**. Revista de Arquitetura IMED, v. 4, n. 1, p. 19-25, 2015.

KUNZ, M.; SILVA, C. C. A.; SILVA, J. L. **Estruturas em madeira: uso do sistema *gridshell* para cobertura de picadeiro para Centro de Terapias Alternativas**. 5º Seminário Internacional de Construções Sustentável, 2016.

LAHR, F. A. R. **Sobre a Determinação de Propriedades de Elasticidade da Madeira**. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas). Escola de engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 1983. 227 p.

LAROCA, C. **Habitação Social em Madeira: Uma Alternativa Viável**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

LATORRACA, J. V. F.; ALBUQUERQUE, C. E. C. **Efeito do Rápido Crescimento sobre as Propriedades da Madeira**. Floresta e Ambiente. v. 7, n. 1, p. 279-291, 2000.

LEITE, J. C. P. S.; LAHR, F. A. R. **Diretrizes básicas para projeto em Wood Frame**. CONSTRUINDO, v. 7, n. 2, p. 1-16, 2015.

LIMA, A. L. A. **Padrões fenológicos de espécies lenhosas e cactáceas em uma área do semi-árido do Nordeste brasileiro**. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 51-52 p, 2007.

LIMA, B. G. **Caatinga: espécies lenhosas e herbáceas**. 1. ed. Mossoró: EDUAFERSA, 2011.

LIMA, J. L. S.; SERPA, F. G.; SÁ, I. B.; MENDONÇA, A. L.; DUARTE, E. S. **Características físico-mecânicas e energéticas de madeiras do trópico semi-árido do Nordeste do Brasil**. Embrapa CPTSA: Comunicado Técnico, n. 63, p 1 – 12, 1996.

LIMA JÚNIOR, C.; LIMA, R. L. F.; LIBERAL, B. G.; GUERRERO, J. R. H.; SAMPAIO, E. V. S. B.; MENEZES, R. S. C. **Viabilidade Econômica do Uso Energético de Lenha da Caatinga sob Manejo Sustentável**. Revista Brasileira de Geografia Física. v. 8, n. 1, p. 156-166, 2015.

LOBÃO, M. S.; DELLA LÚCIA; R. M.; MOREIRA, M. S. S.; GOMES, A. **Caracterização das propriedades físico-mecânicas da madeira de eucalipto com diferentes densidades**. Revista Árvore. v. 28, n. 6, p. 889-894, 2004.

LOGSDON, N. B.; FINGER, Z.; ROSA, L. M. **Caracterização da madeira de Carambará, *Vochysia guianensis* Aubl.** Engenharia Civil – UM, n. 28, 2007.

MACIEL, B. A. **Unidades de Conservação no Bioma Caatinga**. Uso Sustentável e Conservação dos Recursos Florestais da Caatinga. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, p. 76 – 81, 2010.

MAIA, G. N. **Caatinga – Arvores e Arbustos e suas utilidades**. 2. ed., Fortaleza: Printcolor Gráfica e Editora, 2012.

MACHADO NETO, A. P.; BRANDÃO, C. F. L. S.; DUARTE, B.; ALMIR, J.; MARANGON, L. C.; FELICIANO, A. L. P. **Densidade e poder calorífico como base para prevenção de incêndios florestais sob linhas de transmissão**. Nativa, v. 3, n. 1, p. 10-15, 2015.

MARTINS, T. F. R. M. **Dimensionamento de Estruturas em Madeira – Coberturas e Pavimentos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Instituto superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010.

MEDEIROS NETO, P. N.; OLIVEIRA, E.; CALEGARI, L.; ALMEIDA, A. M. C.; PIMENTA, A. S.; CARNEIRO, A. C. O. **Características físico-químicas e energéticas de duas espécies de ocorrência no semiárido brasileiro**. Ciência Florestal, v. 22, n. 3, p. 579-588, 2012.

MEIRELLES, C. R. M.; DINIS, H.; SEGALL, M. L.; SANT'ANNA, S. S. **Considerações sobre o uso da madeira no Brasil em construções habitacionais**. III Fórum de Pesquisa Fau. Mackenzie, v. 3, p. 1-6, 2007.

MEIRELLES, C. R. M.; DINIS, H.; SANT'ANNA, S. S.; VASCONCELOS, R.; CASTRO, D. **A viabilidade das construções leves em madeira no Brasil**. VIII Seminário Internacional dos Lares, v. 8, p.1-8, 2008.

- MEIRELLES, C. R. M.; ALÍPIO, A. P. R.; BIZINHA, G. M.; SILVA, T. A. C.; SANT'ANNA, S. S. **Sustentabilidade e ciclo de vida na produção dos edifícios em madeira no Brasil**. Seminário Nacional de Construções Sustentáveis, v. 1, 1-9 p, 2012.
- MELLO, R. L. **Projetar em madeira: Uma nova abordagem**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de Brasília, Brasília, 2007.
- MELO, R. R.; PAES, J. B.; LIMA, C. R.; FERREIRA, A. G. **Estudo da variação radial da densidade básica de sete madeiras do semi-árido**. Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal, v. 4, n. 7, p. 1-8, 2006.
- MENDES, B.V. **Biodiversidade e desenvolvimento sustentável do semi-árido**. SEMACE, p. 95-108, 1997.
- MEUNIER, I. M. J. **Análise de Sustentabilidade de Planos de Manejo Florestal em Pernambuco**. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2014.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. (2011). **Subsídios para a elaboração do plano de ação para a prevenção e controle do desmatamento na Caatinga**. Brasília, Brasil, 2011. 128 p.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/caatinga>>. Acessado em: 13 fev. 2017.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanço energético nacional 2016: ano base 2015**. Rio de Janeiro: EPE, 2016.
- MOLINA, J. C.; CALIL JUNIOR, C. **Sistema construtivo em wood frame para casas de madeira**. Semina: Ciência Exata e Tecnológica, Londrina, v. 31, n. 2, p. 143-156, 2010.
- MORALES, E. A. M. **Determinação do módulo de elasticidade da madeira: proposta para simplificação de procedimento metodológicos**. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais). Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.
- NAHUZ, M. A. R. **Some aspects of the introduction of lesser known brazilian species to the european timber Market**. Department of Florestry and Wood Science University College of North Wales Bangor, 1974.
- NASCIMENTO, M. F. **Madeira do Agreste para Uso em Habitação**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 1998. p. 117.
- NASCIMENTO, M. F.; BERTOLINI, M. S.; PANZERA, T. H.; CHRISTOFORO, A. L.; ROCCO, F. A. **Painéis OSB fabricados com madeiras da caatinga do nordeste do Brasil**. Ambiente Construído, v.15, n. 1, p. 41-48, 2015.

NASCIMENTO, M. F.; CHRISTOFORO, A. L.; BERTOLINI, M. S.; CHAHUD, E.; LAHR, F. A. R. **Painéis de partículas homogêneas fabricados com espécies de manejo da região da Caatinga do Brasil**. *Construindo*, v. 5, n. 2, p. 1-10, 2013.

NOGUEIRA, M. C. J. A. **Indicações para o emprego de dezesseis espécies de eucalipto na construção civil**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de São Paulo, 1991.

OLIVEIRA, B. L. F. **Edificações de baixo impacto ambiental em madeira para o clima quente e úmido**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

OLIVEIRA, C. C.; ZANDAVALLI, R. B.; LIMA, A. L. A.; RODAL, M. J. N. **Functional groups of woody species in semi-arid regions at low latitudes**. *Austral Ecology*, v. 40, n.1, p. 40-49, 2015.

OLIVEIRA, C. M. **Livro biomassa briquete woodoellets**. 1. ed. Curitiba: Brasil Biomassa, 2015.

OLIVEIRA, E.; VITAL, B. R.; PIMENTA, A. S.; LUCIA, R. M. D.; LADEIRA, A. M. M.; CARNEIRO, A. C. O. **Estrutura anatômica da madeira e qualidade do carvão de *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir**. *Revista Árvore*, vol. 30, n. 2, p. 311-318, 2006.

OLIVEIRA, V. M.; DEL MENEZZI, C. H. S.; CAMARGOS, J. A. A.; VALE, A. T. **Adequação às normas e qualidade da madeira serrada para fins estruturais comercializada no Distrito Federal**. *Floresta*, v. 38, n. 3, p. 405-412, 2008

ORBE, A.; CUADRADO, J.; ROJÍ, E.; MATURANA, A. **Arquitectura y madera – Chuía de diseño de elementos estructurales adaptada al CTE**. 2. ed. Vitoria-Gasteiz: Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco, 2010.

PAES, J. B., LIMA, C. R., OLIVEIRA, E., & MEDEIROS NETO, P. N. **Características físico-química, energética e dimensões das fibras de três espécies florestais do semiárido brasileiro**. *Floresta e Ambiente*, v. 20, n. 4, 550-555, 2013.

PANSHIN, A. J.; ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 4. ed. New York, 1980.

PAREYN, F. G. C. **Os Recursos Florestais Nativos e a sua Gestão no Estado de Pernambuco – O Papel do Manejo Florestal Sustentável**. *Uso Sustentável e Conservação dos Recursos Florestais da Caatinga*. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, p. 99 – 112, 2010.

PAREYN, F. G. C.; LIMA, K. C.; MARQUES, M. W. C. F.; RIEGELHAUPT, E. M.; BACALINI, P. **Dinâmica da Regeneração da Vegetação da Caatinga na Unidade Experimental Pa Recanto III - Lagoa Salgada/RN**. Uso Sustentável e Conservação dos Recursos Florestais da Caatinga. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, p. 229 – 244, 2010.

PARTEL, P. M. P. **Painéis estruturais utilizando madeira roliça de pequeno diâmetro para habitação social: Desenvolvimento do produto**. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental). Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

PAUPITZ, J. **Elementos da Estrutura Fundiária e Uso da Terra no Semi-árido Brasileiro**. Uso Sustentável e Conservação dos Recursos Florestais da Caatinga. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, p. 49 – 64, 2010.

PEREIRA FILHO, J. M.; BAKKE, O. A. **Produção de Forragem de Espécies Herbáceas da Caatinga**. Uso Sustentável e Conservação dos Recursos Florestais da Caatinga. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, p. 145 – 156, 2010.

PFEIL, W.; PFEIL, M. S. **Estrutura de Madeira**. 6. ed., Rio de Janeiro: LTC, 2003.

PINTO, E. M. **Proteção contra incêndio para habitações em madeira**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001. 143 p.

PORTAL BRASIL. **Brasil detém segunda maior área florestal do planeta**, 2012. Disponível em <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2012/12/brasil-detem-segunda-maior-area-florestal-do-planeta>>. Acessado em 20 jan. 2017.

QUOIRIN, N. S. R. **Diagnóstico de defeitos em madeira por tomografia de raios X**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais e Processos). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

RAMOS, M. A.; MEDEIROS, P. M.; ALMEIDA, A. L. S.; FELICIANO, A. L. P.; ALBUQUERQUE, U. P. **Can wood quality justify local preferences for firewood in an area of caatinga (dryland) vegetation?**. Biomass and Bioenergy, vol. 32, n. 6, p. 503-509, 2008.

REZENDE, M. A. **Uma abordagem não convencional sobre as principais características físicas da madeira, com ênfase para retratibilidade, massa específica e técnica de atenuação da radiação gama**. Tese (Livre-Docência). Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1997.

RIEGELHAUPT, E. M.; PAREYN, F. G. C.; BACALINI, P. **O Manejo Florestal na Caatinga: Resultados da Experimentação**. Uso Sustentável e Conservação dos Recursos Florestais da Caatinga. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, p. 256 – 275, 2010a.

- RIEGELHAUPT, E. M.; PAREYN, F. G. C.; GARIGLIO, M. A. **O Manejo Florestal como Ferramenta para o Uso Sustentável e Conservação da Caatinga.** Uso Sustentável e Conservação dos Recursos Florestais da Caatinga. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, p. 349 – 366, 2010b.
- RIO GRANDE DO NORTE. Secretaria de Planejamento e Finanças; Instituto interamericano de cooperação para a agricultura - IICA. **Plano de desenvolvimento sustentável do Seridó.** v.1, Caicó, 2000.
- RODAL, M. J. N.; MARTINS, F. R.; SAMPAIO, E. V. S. B. **Levantamento quantitativo das plantas lenhosas em trechos de vegetação de caatinga em Pernambuco.** Revista Caatinga, v. 21, n. 3, p. 192-205, 2008.
- SAMPAIO, E. V. S. B. **Características e Potencialidades.** Uso Sustentável e Conservação dos Recursos Florestais da Caatinga. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, p. 29 – 42, 2010.
- SANTOS, R. C.; CARNEIRO, A. C. O.; PIMENTA, A. S.; CASTRO, R. V. O.; Marinho, I. V.; TRUGILHO, P. F.; CASTRO, A. F. N. M. **Potencial energético da madeira de espécies oriundas de plano de manejo florestal no Estado do Rio Grande do Norte.** Ciência Florestal, v. 23. N.2, p. 491-502, 2013.
- SANTOS, R. C.; CASTRO, R. V. O.; CARNEIRO, A. C. O.; CASTRO, A. F. N. M.; PIMENTA, A. S.; PINTO, E. M.; MARINHO, I. V. **Estoques de volume, biomassa e carbono na madeira de espécies da Caatinga em Caicó, RN.** Pesquisa Florestal Brasileira, v. 36, n. 85, p. 1-7, 2016.
- SANTOS, W. S.; HENRIQUES, I. G. N.; SANTOS, W. S.; RAMOS, G. G.; VASCONCELOS, G. S.; VASCONCELO, A. D. M. **Análise Florística-fitossociológica e Potencial Madeireiro em Área da Caatinga Submetida a Manejo Florestal.** Agropecuária Científica no Semiárido. v. 13, n. 3, p. 203-2011, 2017b.
- SANTOS, W. S.; SOUZA, M. P.; NÓBREGA, G. F. Q.; MEDEIROS, F. S.; ALVES, A. R.; HOLANDA, A. C. **Caracterização Florístico-fitossociológica do Componente Lenhoso em Fragmento de Caatinga no Município de Upanema-RN.** Nativa. Pesquisas Agrárias e Ambientais. v. 5, n. 2, p. 85-91, 2017a.
- SILVA, L. B.; SANTOS, F. A. R.; GASSON, P.; CUTLER, D. **Anatomia e densidade básica da madeira de *Caesalpinia pyramidalis* Tul. (Fabaceae), espécie endêmica da caatinga do Nordeste do Brasil.** Acta Botanica brasílica, v. 23, n. 2, p. 436-445, 2009.
- SILVA, L. B.; SANTOS, F. A. R.; GASSON, P.; CUTLER, D. **Estudo comparativo da madeira de *Mimosa ophthalmocentra* Mart. ex Benth e *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir.(Fabaceae-Mimosoideae) na caatinga nordestina.** Acta Botanica Brasílica, v. 25, n. 2, p. 301-314, 2011.

SILVA, M. P.; AMORIM, A. N.; CARVALHO, C.S.; BARROS, R. F. M. **Espécies vegetais da caatinga usadas em construções rurais na comunidade Sítio Velho em Assunção no Piauí, Brasil**. X Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica, Vitória/ES, 2013.

SILVA, L. L. H.; OLIVEIRA, E.; CALEGARI, L; PIMENTA, M. C.; DANTAS, M. K. L. **Características Dendrométricas, Físicas e Químicas da *Myracrodruon urundeuva* e da *Leucaena leucocephala***. Floresta e Ambiente. V. 24, p. 1-8, 2017.

SILVA, N.; LUCENA, R. F. P.; LIMA, J. R. F.; LIMA, G. D. S.; CARVALHO, T. K. N.; JÚNIOR, S. P. S.; ALVES, C. A. B. **Conhecimento e Uso da Vegetação Nativa da Caatinga em uma Comunidade Rural da Paraíba, Nordeste do Brasil**. Boletim do Museu de Biologia Mello Leitão, n. 34, p. 5-37, 2014.

SILVA, V. R; RIBASKI, N G; MACENO, L.; CATAPAN, D. C. **Sistema Construtivo Inovador: Light Wood Frame a Sustentabilidade ao seu alcance**. Brazilian Journal of Development, Curitiba/PR, v.2, n. 2, p. 99-107, 2016.

SIQUEIRA FILHO, J. A. **Apresentação**. A Flora das Caatingas do Rio São Francisco: história natural e conservação. Rio de Janeiro: Andrea Jakobsson Estúdio Editorial, p. 21-23, 2012.

SISTEMA BRASILEIRO FLORESTAL – SBF. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/snif/producao-florestal/producao?print=1&tmpl=component>>. Acessado em: 11 dez. 2017.

SISTEMA BRASILEIRO FLORESTAL – SBF; INSTITUTO DO HOMEM E MEIO AMBIENTE DA AMAZÔNIA - IMAZON. **A atividade madeireira na Amazônia brasileira: produção, receita e mercados**. Belém, 2010.

SUPERINTENDENCIA DO DESENVOLVIMENTO DA AMAZÔNIA – SUDAM; INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. **Grupamento de espécies tropicais da Amazônia por similaridade de características básicas e por utilização**. Belém, 1981.

TERIBELE, A. **Arquitetura com madeira roliça: Processo generativo de superfícies e articulações**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011. 131 p.

TRIPADVISOR. Disponível em: https://www.tripadvisor.com/LocationPhotoDirectLink-g60769-d5416439-i80192247-Discovery_Ventura-Ventura_California.html>. Acessado em: 22 jan. 2018.

TRUGILHO, P. F.; SILVA, D. A.; FRAZÃO, F. J. L.; MATOS, J. L. M. **Comparação de métodos de determinação da densidade básica em madeira**. Acta amazônica, 20 (único), 307-319, 1990.

VALVERDE, S. R.; SOARES, N. S.; SILVA, M. L.; JACOVINE, L. A. G.; NEIVA, S. A. **O comportamento do mercado da madeira de eucalipto no Brasil.** *Biomassa & Energia*, v. 1, n. 4, p. 393-403, 2004.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira.** *Sociedade de Investigações Florestais (Boletim técnico, 1)*, 21 p. 1984.

VITORIO, L. A. P. **Densidade da madeira de espécies da caatinga.** Monografia (Graduação em Ciências Biológicas), Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Estadual da Paraíba, 2013.

WIEDENHOEFT, A. **Structure and Function of Wood.** *Wood Handbook – Wood as an Engineering Material*, cap. 3, p.1-16, 2010.

World Wildlife Fund – WWF. Disponível em <https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/questoes_ambientais/biomas/biom_a_caatinga/>. Acessado em: 13 fev. 2017.

World Wildlife Fund – WWF .Disponível em <https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/reducao_de_impactos2/amazonia/amazonia_acoes/governancaflorestal/>. Acessado em: 15 jan. 2018.

ZANGIÁCOMO, A. L. **Estudo de elementos estruturais roliços de Madeira.** Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas). Escola de engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007. 142p.

ZANGIACOMO, A. L.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R. **Avaliação do módulo de elasticidade de peças estruturais roliças e de corpos-de-prova de *Pinus elliotti*.** *Scientia Forestalis*, v. 41, n. 98, p. 283-291, 2013.

ANEXO 1

Dados e gráfico tensão x deformação das amostras no ensaio de resistência a compressão paralela às fibras

- **Angico**

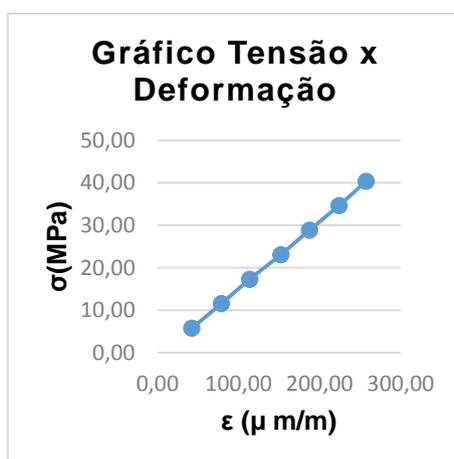
Dados do ensaio a compressão paralela às fibras.

Corpo de prova 01			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{co} (MPa)
2.550,00	17.450,00	67,13	15.918,86

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	5,77	39,00
5	0,50	28,85	185,00
15	0,50	28,85	187,50
21	0,10	5,77	43,50
31	0,10	5,77	42,50
62	0,20	11,54	79,00
63	0,30	17,31	114,00
64	0,40	23,08	152,50
65	0,50	28,85	187,50
66	0,60	34,62	224,00
67	0,70	40,39	257,50

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{co}, módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Angico**

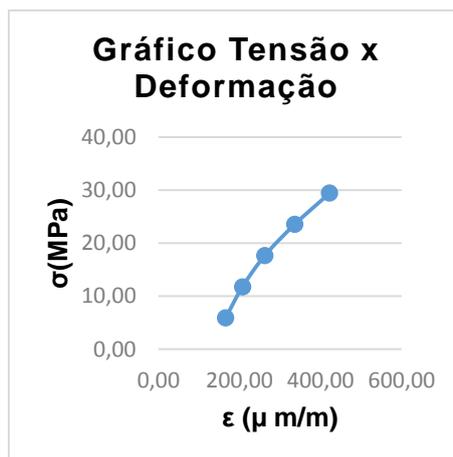
Dados do ensaio a compressão paralela às fibras.

Corpo de prova 02			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{co} (MPa)
2.500,00	11.450,00	44,93	9.161,09

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	5,89	22,50
5	0,50	29,43	347,50
15	0,50	29,43	412,50
21	0,10	5,89	174,50
31	0,10	5,89	165,50
62	0,20	11,77	207,50
63	0,30	17,66	262,50
64	0,40	23,54	336,50
65	0,50	29,43	422,50
66	0,60	35,32	0,00
67	0,70	41,20	0,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{co}, módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 65 da tabela acima.



- **Angico**

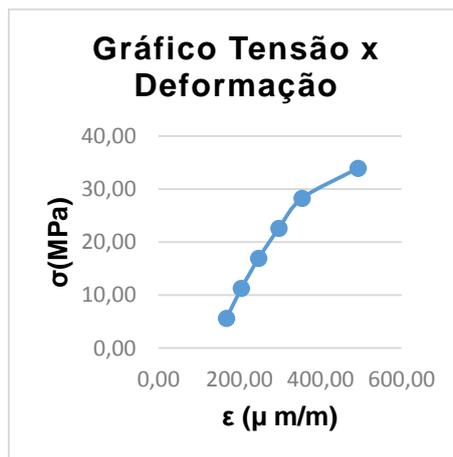
Dados do ensaio a compressão paralela às fibras.

Corpo de prova 03			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{co} (MPa)
2.601,00	11.250,00	42,43	12.101,47

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	5,66	40,50
5	0,50	28,29	309,00
15	0,50	28,29	345,00
21	0,10	5,66	172,50
31	0,10	5,66	168,00
62	0,20	11,31	205,00
63	0,30	16,97	247,50
64	0,40	22,63	297,50
65	0,50	28,29	355,00
66	0,60	33,94	492,50
67	0,70	39,60	0,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E₁₀, módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 66 da tabela acima.



- **Angico**

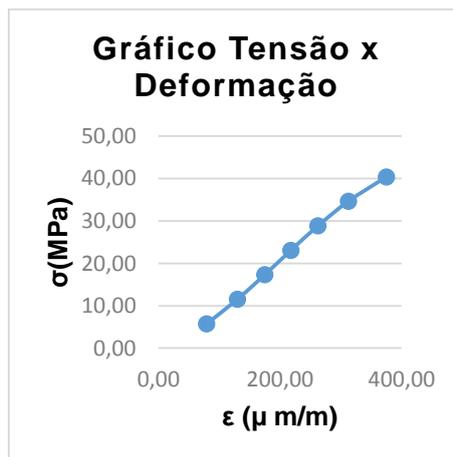
Dados do ensaio a compressão paralela às fibras.

Corpo de prova 04			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{co} (MPa)
2.550,00	15.500,00	59,63	12.613,31

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	5,77	64,00
5	0,50	28,85	260,00
15	0,50	28,85	270,50
21	0,10	5,77	81,00
31	0,10	5,77	79,50
62	0,20	11,54	130,00
63	0,30	17,31	175,00
64	0,40	23,08	218,00
65	0,50	28,85	262,50
66	0,60	34,62	312,50
67	0,70	40,39	375,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{co}, módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Angico**

Dados do ensaio a compressão paralela às fibras.

Corpo de prova 05			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{co} (MPa)
2.601,00	16.800,00	63,36	21.348,83

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	5,66	11,00
5	0,50	28,29	126,50
15	0,50	28,29	127,50
21	0,10	5,66	19,00
31	0,10	5,66	19,00
62	0,20	11,31	33,50
63	0,30	16,97	61,50
64	0,40	22,63	95,00
65	0,50	28,29	125,00
66	0,60	33,94	158,50
67	0,70	39,60	197,50

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E₁₀, módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Angico**

Dados do ensaio a compressão paralela às fibras.

Corpo de prova 06			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{co} (MPa)
2.550,00	13.100,00	50,40	12.116,72

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	5,77	24,50
5	0,50	28,85	241,00
15	0,50	28,85	249,00
21	0,10	5,77	62,50
31	0,10	5,77	60,00
62	0,20	11,54	106,50
63	0,30	17,31	153,50
64	0,40	23,08	200,00
65	0,50	28,85	250,50
66	0,60	34,62	315,00
67	0,70	40,39	437,50

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E₁₀, módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Angico**

Dados do ensaio a compressão paralela às fibras.

Corpo de prova 07			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{co} (MPa)
2.550,00	14.400,00	55,40	14.336,87

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	5,77	48,50
5	0,50	28,85	225,00
15	0,50	28,85	228,00
21	0,10	5,77	70,00
31	0,10	5,77	69,00
62	0,20	11,54	110,00
63	0,30	17,31	149,00
64	0,40	23,08	190,00
65	0,50	28,85	230,00
66	0,60	34,62	280,00
67	0,70	40,39	352,50

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E₁₀, módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Angico**

Dados do ensaio a compressão paralela às fibras.

Corpo de prova 08			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{co} (MPa)
2.500,00	16.400,00	64,35	15.044,09

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	5,89	53,50
5	0,50	29,43	225,00
15	0,50	29,43	228,00
21	0,10	5,89	77,50
31	0,10	5,89	74,50
62	0,20	11,77	115,00
63	0,30	17,66	154,00
64	0,40	23,54	192,00
65	0,50	29,43	231,00
66	0,60	35,32	275,00
67	0,70	41,20	327,50

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E₁₀, módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Angico**

Dados do ensaio a compressão paralela às fibras.

Corpo de prova 09			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{co} (MPa)
2.550,00	12.550,00	48,28	11.687,27

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	5,77	10,00
5	0,50	28,85	242,50
15	0,50	28,85	270,00
21	0,10	5,77	77,50
31	0,10	5,77	75,00
62	0,20	11,54	115,00
63	0,30	17,31	162,50
64	0,40	23,08	220,00
65	0,50	28,85	272,50
66	0,60	34,62	380,00
67	0,70	40,39	0,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E₁₀, módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 66 da tabela acima.



- **Angico**

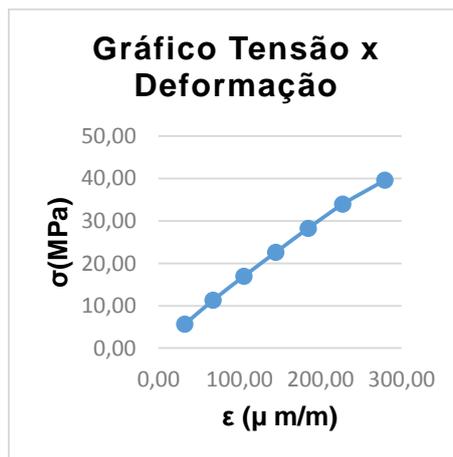
Dados do ensaio a compressão paralela às fibras.

Corpo de prova 10			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{co} (MPa)
2.601,00	15.200,00	57,33	14.839,19

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	5,66	24,00
5	0,50	28,29	177,50
15	0,50	28,29	184,00
21	0,10	5,66	32,50
31	0,10	5,66	32,50
62	0,20	11,31	67,50
63	0,30	16,97	105,50
64	0,40	22,63	145,00
65	0,50	28,29	185,00
66	0,60	33,94	227,50
67	0,70	39,60	279,50

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E₁₀, módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Angico**

Dados do ensaio a compressão paralela às fibras.

Corpo de prova 11			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{co} (MPa)
2.500,00	17.450,00	68,47	12.359,06

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	5,89	69,50
5	0,50	29,43	273,50
15	0,50	29,43	278,50
21	0,10	5,89	92,50
31	0,10	5,89	89,00
62	0,20	11,77	137,50
63	0,30	17,66	185,00
64	0,40	23,54	232,50
65	0,50	29,43	279,50
66	0,60	35,32	330,00
67	0,70	41,20	392,50

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E₁₀, módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Angico**

Dados do ensaio a compressão paralela às fibras.

Corpo de prova 12			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{co} (MPa)
2.500,00	15.500,00	60,82	18.204,12

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	5,89	15,20
5	0,50	29,43	111,30
15	0,50	29,43	112,40
21	0,10	5,89	15,40
31	0,10	5,89	15,50
62	0,20	11,77	45,50
63	0,30	17,66	65,00
64	0,40	23,54	87,50
65	0,50	29,43	112,50
66	0,60	35,32	125,00
67	0,70	41,20	150,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{co}, módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Jurema-preta**

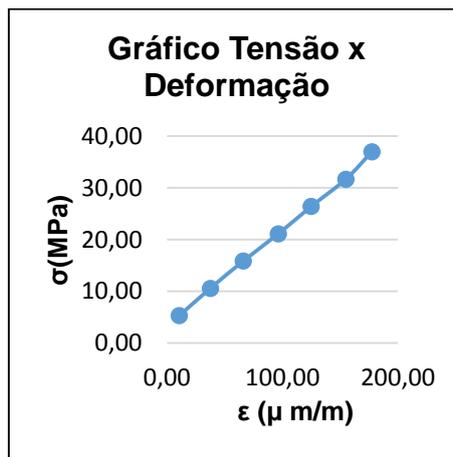
Dados do ensaio a compressão paralela às fibras.

Corpo de prova 01			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{c0} (MPa)
2.601,00	14.100,00	51,00	18.446,38

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	5,28	14,00
5	0,50	26,40	123,50
15	0,50	26,40	125,50
21	0,10	5,28	14,50
31	0,10	5,28	10,50
62	0,20	10,56	37,50
63	0,30	15,84	66,00
64	0,40	21,12	96,50
65	0,50	26,40	125,00
66	0,60	31,68	155,00
67	0,70	36,96	177,50

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{c0}, módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Jurema-preta**

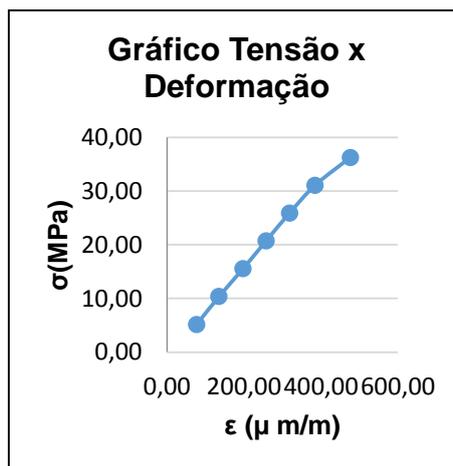
Dados do ensaio a compressão paralela às fibras.

Corpo de prova 02			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{co} (MPa)
2.652,00	14.250,00	52,71	8.577,61

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	5,18	55,00
5	0,50	25,89	312,50
15	0,50	25,89	319,50
21	0,10	5,18	79,50
31	0,10	5,18	77,00
62	0,20	10,36	135,00
63	0,30	15,54	197,50
64	0,40	20,71	257,50
65	0,50	25,89	318,50
66	0,60	31,07	385,00
67	0,70	36,25	476,50

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{co}, módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Jurema-preta**

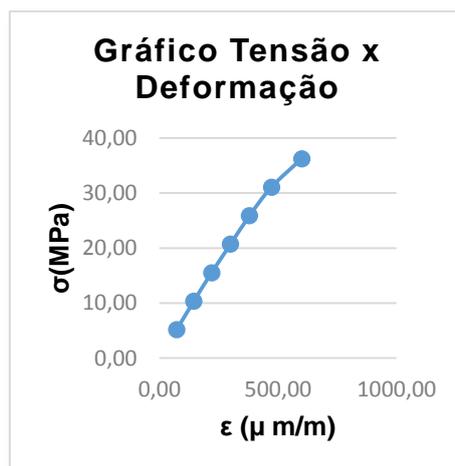
Dados do ensaio a compressão paralela às fibras.

Corpo de prova 03			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{co} (MPa)
2.652,00	14.150,00	52,34	6.736,56

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	5,18	55,00
5	0,50	25,89	372,50
15	0,50	25,89	408,00
21	0,10	5,18	76,00
31	0,10	5,18	72,50
62	0,20	10,36	145,00
63	0,30	15,54	220,00
64	0,40	20,71	300,00
65	0,50	25,89	380,00
66	0,60	31,07	472,50
67	0,70	36,25	600,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{co}, módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Jurema-preta**

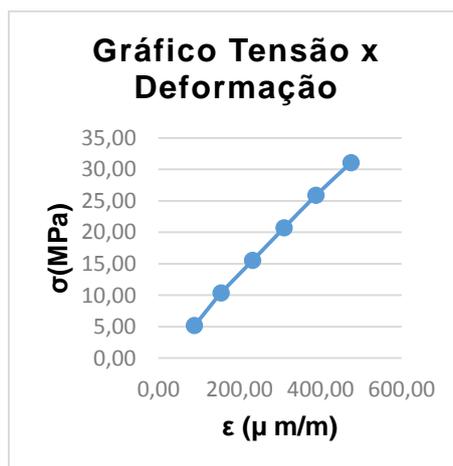
Dados do ensaio a compressão paralela às fibras.

Corpo de prova 04			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{co} (MPa)
2.652,00	13.500,00	49,94	6.904,98

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	5,18	57,50
5	0,50	25,89	374,00
15	0,50	25,89	385,00
21	0,10	5,18	90,00
31	0,10	5,18	89,00
62	0,20	10,36	155,00
63	0,30	15,54	232,50
64	0,40	20,71	310,00
65	0,50	25,89	389,00
66	0,60	31,07	475,00
67	0,70	36,25	0,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{co}, módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 66 da tabela acima.



- **Jurema-preta**

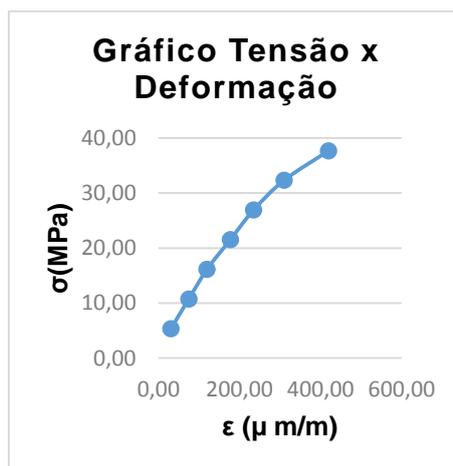
Dados do ensaio a compressão paralela às fibras.

Corpo de prova 05			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{co} (MPa)
2.550,00	13.450,00	51,74	10.560,55

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	5,39	16,00
5	0,50	26,93	227,50
15	0,50	26,93	235,00
21	0,10	5,39	34,00
31	0,10	5,39	31,00
62	0,20	10,77	75,00
63	0,30	16,16	120,00
64	0,40	21,54	177,50
65	0,50	26,93	235,00
66	0,60	32,32	310,00
67	0,70	37,70	420,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{co}, módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Jurema-preta**

Dados do ensaio a compressão paralela às fibras.

Corpo de prova 06			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{co} (MPa)
2.626,50	15.200,00	56,77	12.376,36

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	5,23	36,50
5	0,50	26,15	211,00
15	0,50	26,15	215,00
21	0,10	5,23	47,50
31	0,10	5,23	48,50
62	0,20	10,46	92,50
63	0,30	15,69	130,00
64	0,40	20,92	172,50
65	0,50	26,15	217,50
66	0,60	31,37	265,00
67	0,70	36,60	320,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{co}, módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Jurema-preta**

Dados do ensaio a compressão paralela às fibras.

Corpo de prova 07			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{co} (MPa)
2.601,00	11.750,00	44,32	7.583,88

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	5,28	52,50
5	0,50	26,40	340,00
15	0,50	26,40	351,50
21	0,10	5,28	79,00
31	0,10	5,28	76,50
62	0,20	10,56	135,00
63	0,30	15,84	200,00
64	0,40	21,12	275,00
65	0,50	26,40	355,00
66	0,60	31,68	450,00
67	0,70	36,96	0,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{co}, módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 66 da tabela acima.



- **Jurema-preta**

Dados do ensaio a compressão paralela às fibras.

Corpo de prova 08			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{co} (MPa)
2.652,25	11.500,00	42,54	10.408,53

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	5,18	0,50
5	0,50	25,89	202,00
15	0,50	25,89	207,50
21	0,10	5,18	5,50
31	0,10	5,18	3,50
62	0,20	10,36	47,50
63	0,30	15,53	92,50
64	0,40	20,71	147,50
65	0,50	25,89	202,50
66	0,60	31,07	270,00
67	0,70	36,25	350,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{co}, módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Jurema-preta**

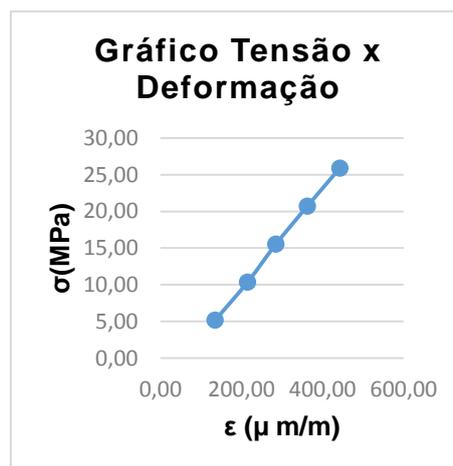
Dados do ensaio a compressão paralela às fibras.

Corpo de prova 09			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{co} (MPa)
2.652,25	10.200,00	37,73	6.735,93

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	5,18	102,50
5	0,50	25,89	427,50
15	0,50	25,89	436,00
21	0,10	5,18	137,00
31	0,10	5,18	135,00
62	0,20	10,36	215,00
63	0,30	15,53	285,00
64	0,40	20,71	362,50
65	0,50	25,89	442,50
66	0,60	31,07	0,00
67	0,70	36,25	0,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{co}, módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 65 da tabela acima.



- **Jurema-preta**

Dados do ensaio a compressão paralela às fibras.

Corpo de prova 10			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{co} (MPa)
3.631,68	17.050,00	46,06	13.096,86

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	3,78	35,00
5	0,50	18,91	162,50
15	0,50	18,91	163,50
21	0,10	3,78	44,00
31	0,10	3,78	44,00
62	0,20	7,56	75,00
63	0,30	11,35	105,00
64	0,40	15,13	132,50
65	0,50	18,91	159,50
66	0,60	22,69	187,50
67	0,70	26,47	220,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{co}, módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Jurema-preta**

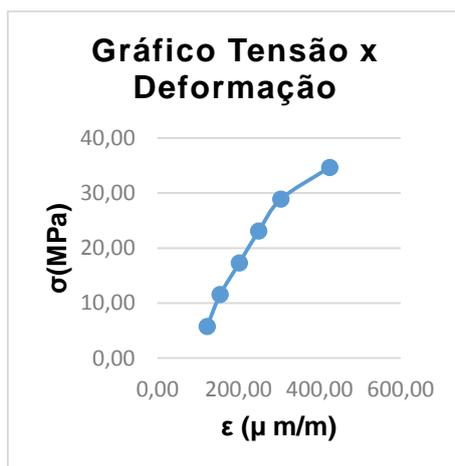
Dados do ensaio a compressão paralela às fibras.

Corpo de prova 11			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{co} (MPa)
2.375,83	10.500,00	43,36	12.670,07

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	5,78	30,00
5	0,50	28,90	277,50
15	0,50	28,90	297,50
21	0,10	5,78	130,00
31	0,10	5,78	122,50
62	0,20	11,56	155,00
63	0,30	17,34	202,50
64	0,40	23,12	250,00
65	0,50	28,90	305,00
66	0,60	34,68	425,00
67	0,70	40,47	0,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{co}, módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 66 da tabela acima.



- **Jurema-preta**

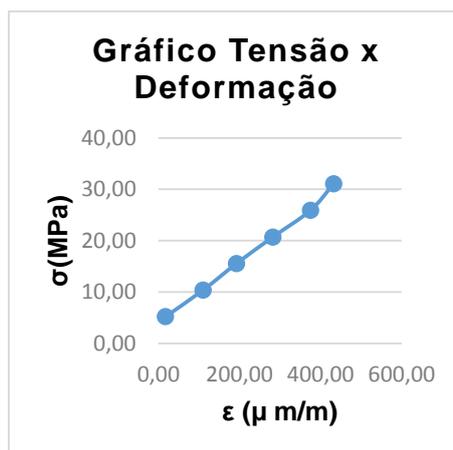
Dados do ensaio a compressão paralela às fibras.

Corpo de prova 12			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{co} (MPa)
2.601,00	15.500,00	58,46	4.747,50

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	5,18	17,20
5	0,50	25,89	373,80
15	0,50	25,89	374,90
21	0,10	5,18	17,40
31	0,10	5,18	17,50
62	0,20	10,36	110,00
63	0,30	15,53	192,50
64	0,40	20,71	282,50
65	0,50	25,89	375,00
66	0,60	31,07	432,50
67	0,70	36,25	0,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{co}, módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 66 da tabela acima.



- **Pereiro**

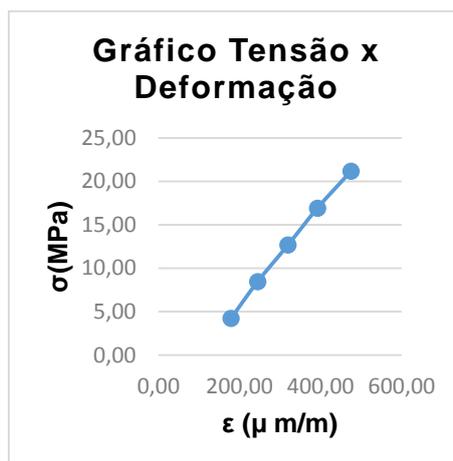
Dados do ensaio a compressão paralela às fibras.

Corpo de prova 01			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{co} (MPa)
2.550,00	10.800,00	41,55	5.718,60

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	4,23	79,00
5	0,50	21,16	451,00
15	0,50	21,16	467,50
21	0,10	4,23	185,00
31	0,10	4,23	179,00
62	0,20	8,46	245,00
63	0,30	12,70	320,00
64	0,40	16,93	392,50
65	0,50	21,16	475,00
66	0,60	25,39	0,00
67	0,70	29,62	0,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{co}, módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 65 da tabela acima.



- **Pereiro**

Dados do ensaio a compressão paralela às fibras.

Corpo de prova 02			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{co} (MPa)
2.450,00	12.300,00	49,25	10.272,86

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	4,40	44,00
5	0,50	22,02	239,50
15	0,50	22,02	246,00
21	0,10	4,40	79,50
31	0,10	4,40	76,00
62	0,20	8,81	116,50
63	0,30	13,21	157,50
64	0,40	17,62	200,50
65	0,50	22,02	247,50
66	0,60	26,43	302,50
67	0,70	30,83	370,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{co}, módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Pereiro**

Dados do ensaio a compressão paralela às fibras.

Corpo de prova 03			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{co} (MPa)
2.550,00	14.050,00	54,05	13.434,17

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	4,23	23,00
5	0,50	21,16	149,00
15	0,50	21,16	150,00
21	0,10	4,23	28,00
31	0,10	4,23	26,50
62	0,20	8,46	55,00
63	0,30	12,70	87,50
64	0,40	16,93	120,00
65	0,50	21,16	152,50
66	0,60	25,39	182,50
67	0,70	29,62	223,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E₁₀, módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Pereiro**

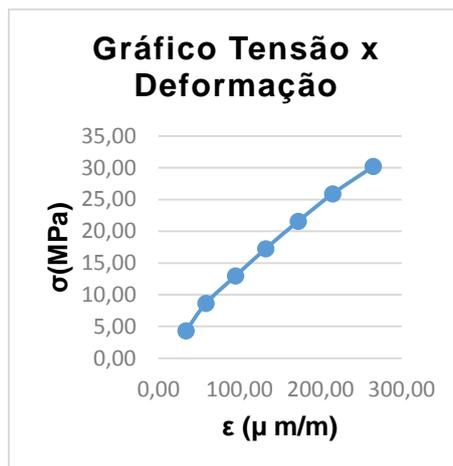
Dados do ensaio a compressão paralela às fibras.

Corpo de prova 04			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{c0} (MPa)
2.500,00	13.800,00	54,15	12.466,14

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	4,32	20,50
5	0,50	21,58	170,50
15	0,50	21,58	162,50
21	0,10	4,32	34,00
31	0,10	4,32	34,00
62	0,20	8,63	58,50
63	0,30	12,95	95,00
64	0,40	17,27	132,50
65	0,50	21,58	172,50
66	0,60	25,90	215,00
67	0,70	30,21	265,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E₁₀, módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Pereiro**

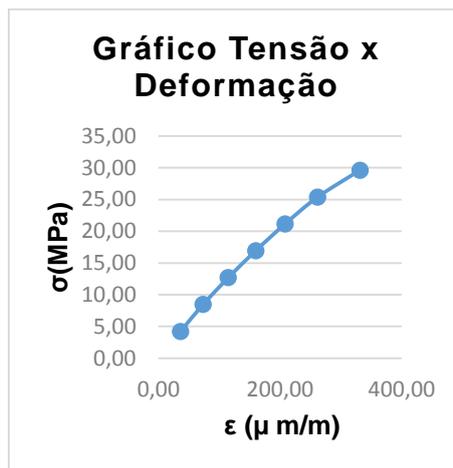
Dados do ensaio a compressão paralela às fibras.

Corpo de prova 05			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{co} (MPa)
2.550,00	12.700,00	48,86	9.841,31

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	4,23	21,00
5	0,50	21,16	200,50
15	0,50	21,16	201,00
21	0,10	4,23	39,50
31	0,10	4,23	36,50
62	0,20	8,46	73,50
63	0,30	12,70	115,00
64	0,40	16,93	160,00
65	0,50	21,16	208,50
66	0,60	25,39	262,00
67	0,70	29,62	331,50

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E₁₀, módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Pereiro**

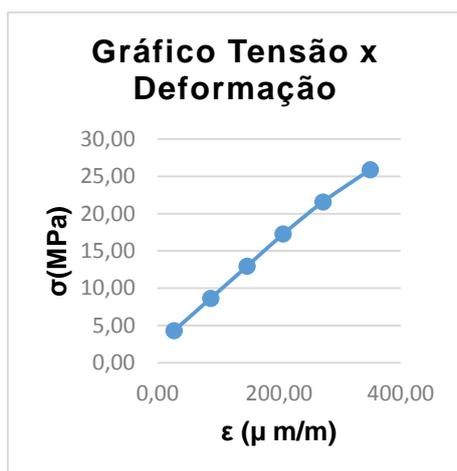
Dados do ensaio a compressão paralela às fibras.

Corpo de prova 06			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{co} (MPa)
2.500,00	9.300,00	36,49	7.047,18

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	4,32	15,00
5	0,50	21,58	305,00
15	0,50	21,58	320,00
21	0,10	4,32	30,00
31	0,10	4,32	27,50
62	0,20	8,63	87,50
63	0,30	12,95	147,50
64	0,40	17,27	207,00
65	0,50	21,58	272,50
66	0,60	25,90	350,00
67	0,70	30,21	0,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E₁₀, módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 66 da tabela acima.



- **Pereiro**

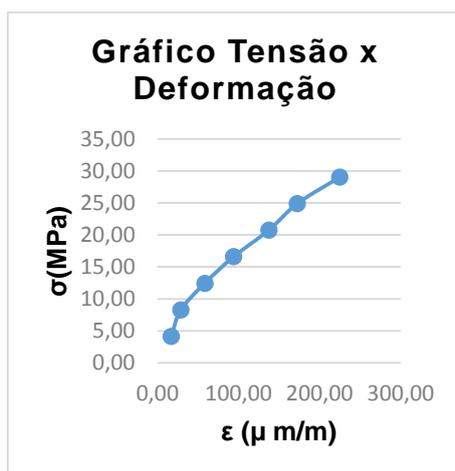
Dados do ensaio a compressão paralela às fibras.

Corpo de prova 07			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{co} (MPa)
2.601,00	12.100,00	45,64	13.771,91

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	4,15	9,00
5	0,50	20,74	129,00
15	0,50	20,74	133,00
21	0,10	4,15	18,50
31	0,10	4,15	17,00
62	0,20	8,30	29,00
63	0,30	12,45	58,50
64	0,40	16,60	94,00
65	0,50	20,74	137,50
66	0,60	24,89	172,50
67	0,70	29,04	225,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E₁₀, módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Pereiro**

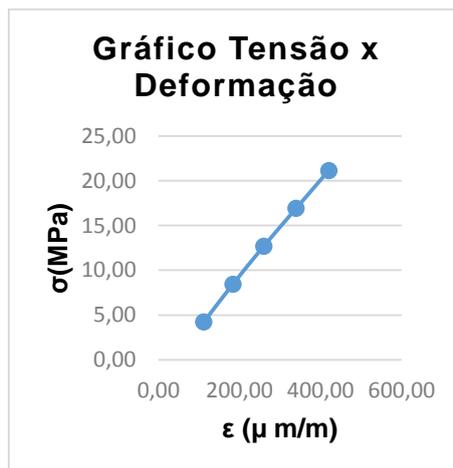
Dados do ensaio a compressão paralela às fibras.

Corpo de prova 08			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{co} (MPa)
2.550,00	11.200,00	43,09	5.486,89

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	4,23	81,50
5	0,50	21,16	407,00
15	0,50	21,16	421,50
21	0,10	4,23	117,00
31	0,10	4,23	112,00
62	0,20	8,46	184,00
63	0,30	12,70	260,00
64	0,40	16,93	340,00
65	0,50	21,16	420,50
66	0,60	25,39	0,00
67	0,70	29,62	0,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E₁₀, módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 65 da tabela acima.



- **Pereiro**

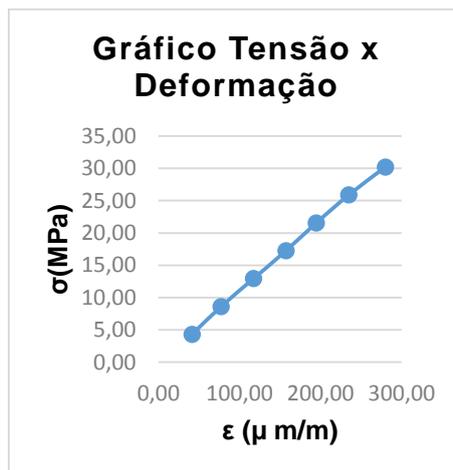
Dados do ensaio a compressão paralela às fibras.

Corpo de prova 09			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{co} (MPa)
2.500,00	12.700,00	49,83	11.247,95

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	4,32	40,00
5	0,50	21,58	197,50
15	0,50	21,58	197,50
21	0,10	4,32	44,00
31	0,10	4,32	41,50
62	0,20	8,63	77,50
63	0,30	12,95	117,50
64	0,40	17,27	157,50
65	0,50	21,58	195,00
66	0,60	25,90	235,00
67	0,70	30,21	280,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E₁₀, módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Pereiro**

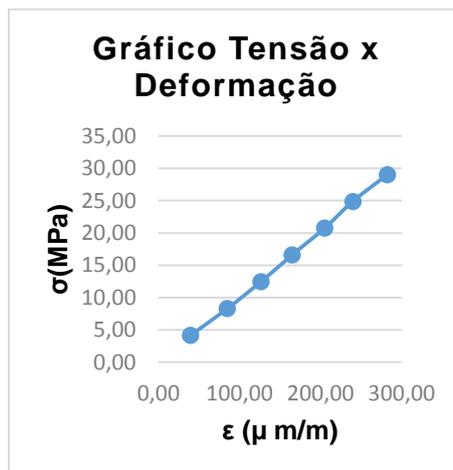
Dados do ensaio a compressão paralela às fibras.

Corpo de prova 10			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{co} (MPa)
2.601,00	13.150,00	49,60	10.027,28

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	4,15	37,50
5	0,50	20,74	203,50
15	0,50	20,74	204,50
21	0,10	4,15	45,50
31	0,10	4,15	39,50
62	0,20	8,30	85,00
63	0,30	12,45	126,50
64	0,40	16,60	165,00
65	0,50	20,74	205,00
66	0,60	24,89	240,00
67	0,70	29,04	282,50

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E₁₀, módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Pereiro**

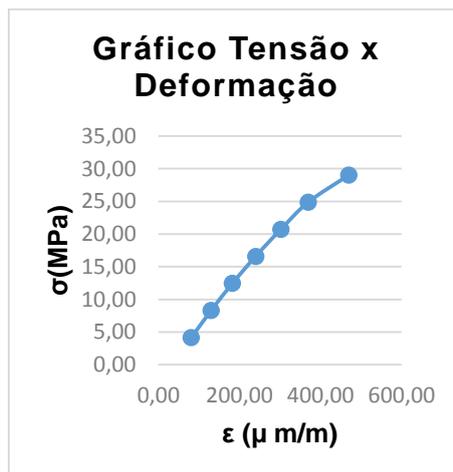
Dados do ensaio a compressão paralela às fibras.

Corpo de prova 11			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{c0} (MPa)
2.601,00	11.600,00	43,75	7.492,17

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	4,15	45,00
5	0,50	20,74	286,00
15	0,50	20,74	297,50
21	0,10	4,15	85,00
31	0,10	4,15	81,00
62	0,20	8,30	130,00
63	0,30	12,45	182,50
64	0,40	16,60	240,00
65	0,50	20,74	302,50
66	0,60	24,89	370,00
67	0,70	29,04	470,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E₁₀, módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Pereiro**

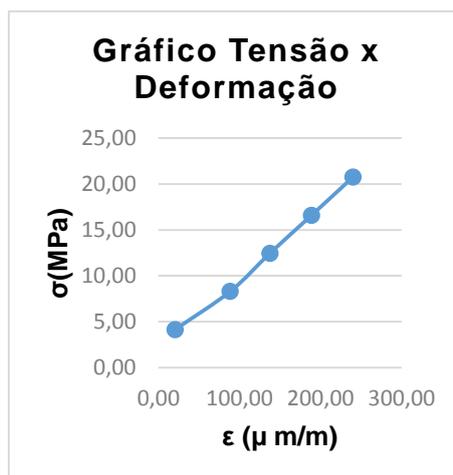
Dados do ensaio a compressão paralela às fibras.

Corpo de prova 12			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{co} (MPa)
2.601,00	14.050,00	52,99	8.111,02

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	4,15	20,20
5	0,50	20,74	238,80
15	0,50	20,74	239,90
21	0,10	4,15	20,40
31	0,10	4,15	20,50
62	0,20	8,30	88,50
63	0,30	12,45	137,50
64	0,40	16,60	189,00
65	0,50	20,74	240,00
66	0,60	24,89	0,00
67	0,70	29,04	0,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{co}, módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 65 da tabela acima.



ANEXO 2

Dados e gráfico tensão x deformação das amostras no ensaio resistência a tração paralela às fibras

- **Angico**

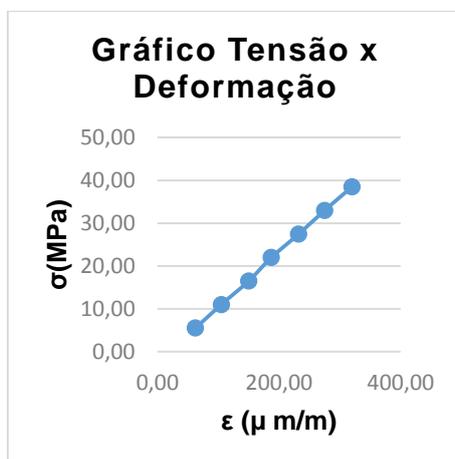
Dados do ensaio a tração paralela às fibras.

Corpo de prova 01			
A (mm ²)	F _{rup} (kgf)	σ _{rup} (MPa)	E _{t0} (MPa)
446,17	4.800,00	105,54	12.933,52

Pontos	σ _{est} /σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	5,50	45,00
5	0,50	27,48	222,50
15	0,50	27,48	226,00
21	0,10	5,50	64,00
31	0,10	5,50	62,50
62	0,20	10,99	105,00
63	0,30	16,49	150,00
64	0,40	21,99	187,50
65	0,50	27,48	232,50
66	0,60	32,98	275,00
67	0,70	38,48	320,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{t0}, módulo de elasticidade à tração paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Angico**

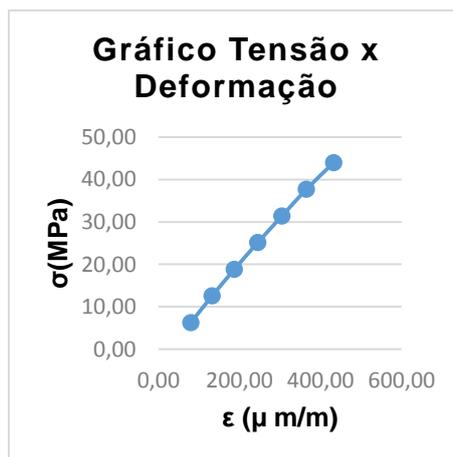
Dados do ensaio a tração paralela às fibras.

Corpo de prova 02			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E₁₀ (MPa)
390,48	2.100,00	52,76	11.165,63

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	6,28	60,00
5	0,50	31,40	295,00
15	0,50	31,40	300,00
21	0,10	6,28	82,50
31	0,10	6,28	80,00
62	0,20	12,56	132,50
63	0,30	18,84	187,50
64	0,40	25,12	245,00
65	0,50	31,40	305,00
66	0,60	37,68	365,00
67	0,70	43,96	432,50

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E₁₀, módulo de elasticidade à tração paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Angico**

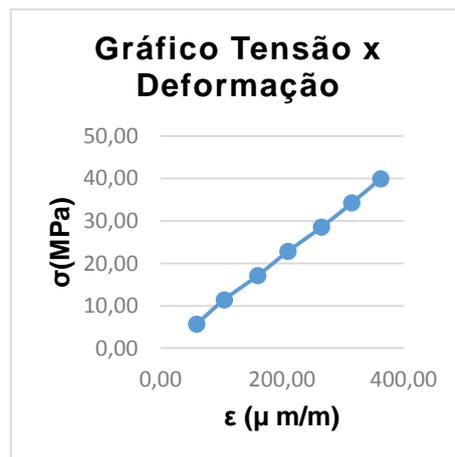
Dados do ensaio a tração paralela às fibras.

Corpo de prova 03			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{t0} (MPa)
429,71	4.770,00	108,90	11.109,16

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	5,71	52,50
5	0,50	28,54	277,50
15	0,50	28,54	260,00
21	0,10	5,71	60,00
31	0,10	5,71	59,50
62	0,20	11,41	105,00
63	0,30	17,12	160,00
64	0,40	22,83	210,00
65	0,50	28,54	265,00
66	0,60	34,24	315,00
67	0,70	39,95	362,50

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{t0}, módulo de elasticidade à tração paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Angico**

Dados do ensaio a tração paralela às fibras.

Corpo de prova 04			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{t0} (MPa)
481,47	7.080,00	144,26	13.019,29

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	5,09	13,00
5	0,50	25,47	165,50
15	0,50	25,47	167,50
21	0,10	5,09	13,50
31	0,10	5,09	11,00
62	0,20	10,19	50,00
63	0,30	15,28	85,00
64	0,40	20,38	122,50
65	0,50	25,47	167,50
66	0,60	30,56	210,00
67	0,70	35,66	250,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{t0}, módulo de elasticidade à tração paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Angico**

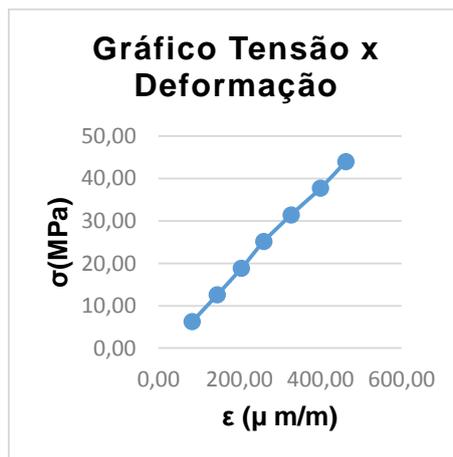
Dados do ensaio a tração paralela às fibras.

Corpo de prova 05			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{t0} (MPa)
390,19	2.980,00	74,92	10.304,04

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	6,29	55,00
5	0,50	31,43	307,50
15	0,50	31,43	317,50
21	0,10	6,29	87,50
31	0,10	6,29	83,50
62	0,20	12,57	145,00
63	0,30	18,86	205,00
64	0,40	25,14	260,00
65	0,50	31,43	327,50
66	0,60	37,71	400,00
67	0,70	44,00	462,50

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{t0}, módulo de elasticidade à tração paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Angico**

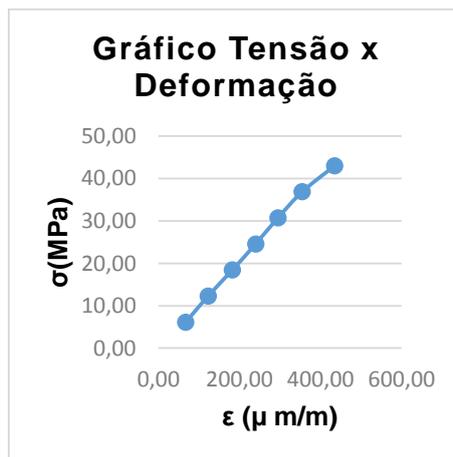
Dados do ensaio a tração paralela às fibras.

Corpo de prova 06			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{t0} (MPa)
399,02	1.820,00	44,74	10.806,62

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	6,15	52,50
5	0,50	30,73	282,50
15	0,50	30,73	292,50
21	0,10	6,15	74,00
31	0,10	6,15	67,50
62	0,20	12,29	122,50
63	0,30	18,44	182,50
64	0,40	24,59	240,00
65	0,50	30,73	295,00
66	0,60	36,88	355,00
67	0,70	43,02	435,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{t0}, módulo de elasticidade à tração paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Angico**

Dados do ensaio a tração paralela às fibras.

Corpo de prova 07			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{t0} (MPa)
452,06	4.400,00	95,48	10.407,89

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	5,43	50,00
5	0,50	27,13	252,50
15	0,50	27,13	252,50
21	0,10	5,43	55,00
31	0,10	5,43	54,00
62	0,20	10,85	115,00
63	0,30	16,28	162,50
64	0,40	21,70	210,00
65	0,50	27,13	262,50
66	0,60	32,55	315,00
67	0,70	37,98	365,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{t0}, módulo de elasticidade à tração paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Angico**

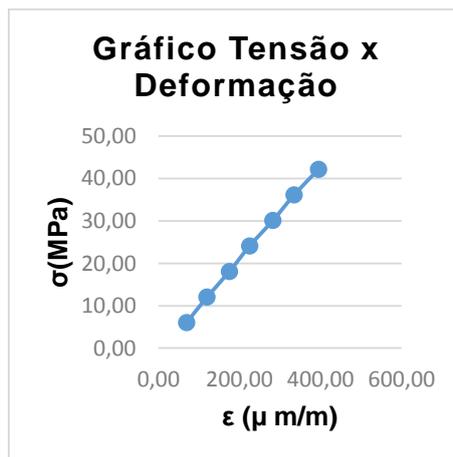
Dados do ensaio a tração paralela às fibras.

Corpo de prova 08			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E₁₀ (MPa)
407,25	6.080,00	146,46	11.309,09

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	6,02	55,00
5	0,50	30,11	273,50
15	0,50	30,11	278,00
21	0,10	6,02	69,00
31	0,10	6,02	69,50
62	0,20	12,04	120,00
63	0,30	18,07	175,00
64	0,40	24,09	225,00
65	0,50	30,11	282,50
66	0,60	36,13	335,00
67	0,70	42,15	395,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E₁₀, módulo de elasticidade à tração paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Angico**

Dados do ensaio a tração paralela às fibras.

Corpo de prova 09			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{t0} (MPa)
421,06	5.700,00	132,80	11.365,15

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	5,82	55,00
5	0,50	29,12	252,50
15	0,50	29,12	257,50
21	0,10	5,82	65,00
31	0,10	5,82	60,00
62	0,20	11,65	112,50
63	0,30	17,47	165,00
64	0,40	23,30	215,00
65	0,50	29,12	265,00
66	0,60	34,95	317,50
67	0,70	40,77	360,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{t0}, módulo de elasticidade à tração paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Angico**

Dados do ensaio a tração paralela às fibras.

Corpo de prova 10			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{t0} (MPa)
392,35	4.150,00	103,76	10.754,11

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	6,25	45,00
5	0,50	31,25	271,00
15	0,50	31,25	277,50
21	0,10	6,25	50,00
31	0,10	6,25	45,00
62	0,20	12,50	105,00
63	0,30	18,75	165,00
64	0,40	25,00	217,50
65	0,50	31,25	277,50
66	0,60	37,50	340,00
67	0,70	43,76	400,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{t0}, módulo de elasticidade à tração paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Angico**

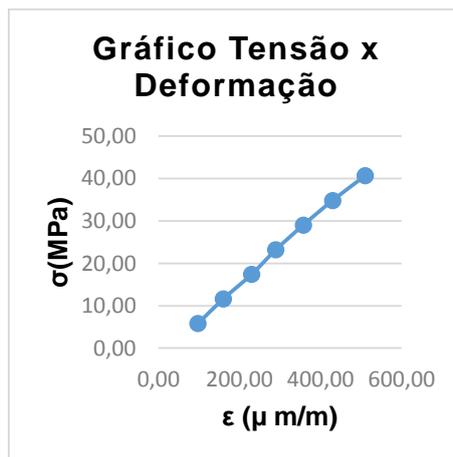
Dados do ensaio a tração paralela às fibras.

Corpo de prova 11			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{t0} (MPa)
422,40	4.850,00	112,64	8.932,47

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	5,81	72,50
5	0,50	29,03	347,50
15	0,50	29,03	360,00
21	0,10	5,81	102,50
31	0,10	5,81	97,50
62	0,20	11,61	160,00
63	0,30	17,42	230,00
64	0,40	23,22	290,00
65	0,50	29,03	357,50
66	0,60	34,84	430,00
67	0,70	40,64	510,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{t0}, módulo de elasticidade à tração paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Angico**

Dados do ensaio a tração paralela às fibras.

Corpo de prova 12			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{t0} (MPa)
393,17	5.350,00	133,49	14.348,83
Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	6,36	18,20
5	0,50	31,79	173,80
15	0,50	31,79	174,90
21	0,10	6,36	18,40
31	0,10	6,36	18,50
62	0,20	12,72	70,00
63	0,30	19,08	105,00
64	0,40	25,43	140,00
65	0,50	31,79	175,00
66	0,60	38,15	194,00
67	0,70	44,51	0,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{t0}, módulo de elasticidade à tração paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 66 da tabela acima.



- **Jurema-preta**

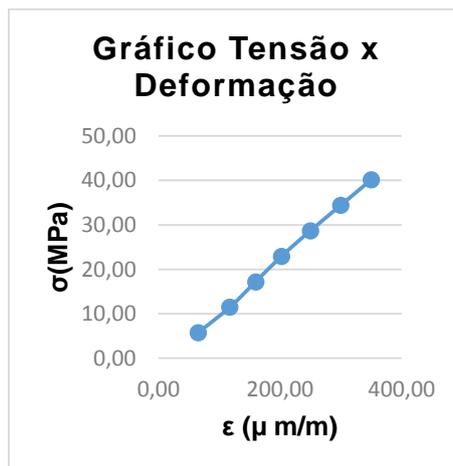
Dados do ensaio a tração paralela às fibras.

Corpo de prova 01			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{t0} (MPa)
427,50	5.400,00	123,91	12.437,48

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	5,74	55,00
5	0,50	28,68	245,00
15	0,50	28,68	245,50
21	0,10	5,74	69,00
31	0,10	5,74	65,50
62	0,20	11,47	117,50
63	0,30	17,21	160,00
64	0,40	22,95	202,50
65	0,50	28,68	250,00
66	0,60	34,42	300,00
67	0,70	40,16	350,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{t0}, módulo de elasticidade à tração paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Jurema-preta**

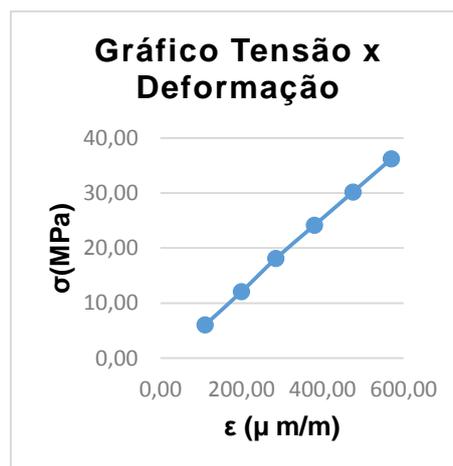
Dados do ensaio a tração paralela às fibras.

Corpo de prova 02			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{t0} (MPa)
406,23	2.640,00	63,75	6.616,17

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	6,04	82,50
5	0,50	30,19	457,50
15	0,50	30,19	462,50
21	0,10	6,04	120,00
31	0,10	6,04	110,00
62	0,20	12,07	200,00
63	0,30	18,11	285,00
64	0,40	24,15	380,00
65	0,50	30,19	475,00
66	0,60	36,22	570,00
67	0,70	42,26	0,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{t0}, módulo de elasticidade à tração paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 66 da tabela acima.



- **Jurema-preta**

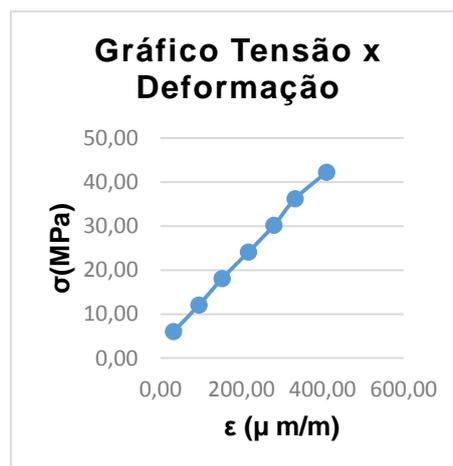
Dados do ensaio a tração paralela às fibras.

Corpo de prova 03			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{t0} (MPa)
406,35	4.620,00	111,54	9.754,26

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	6,04	35,00
5	0,50	30,18	270,00
15	0,50	30,18	280,00
21	0,10	6,04	42,50
31	0,10	6,04	32,50
62	0,20	12,07	95,00
63	0,30	18,11	152,50
64	0,40	24,14	217,50
65	0,50	30,18	280,00
66	0,60	36,21	332,50
67	0,70	42,25	410,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{t0}, módulo de elasticidade à tração paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Jurema-preta**

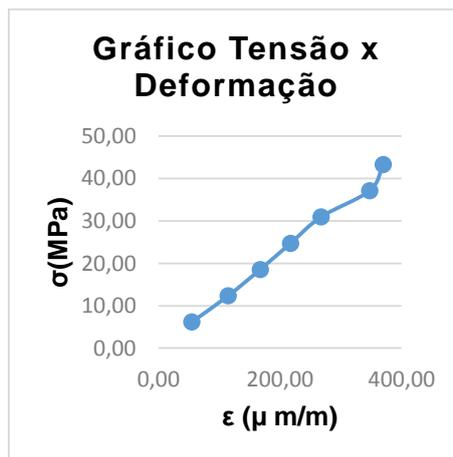
Dados do ensaio a tração paralela às fibras.

Corpo de prova 04			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{t0} (MPa)
396,34	3.010,00	74,50	11.647,83

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	6,19	52,50
5	0,50	30,94	252,50
15	0,50	30,94	252,50
21	0,10	6,19	57,50
31	0,10	6,19	55,00
62	0,20	12,38	115,00
63	0,30	18,56	167,50
64	0,40	24,75	217,50
65	0,50	30,94	267,50
66	0,60	37,13	347,50
67	0,70	43,32	370,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{t0}, módulo de elasticidade à tração paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Jurema-preta**

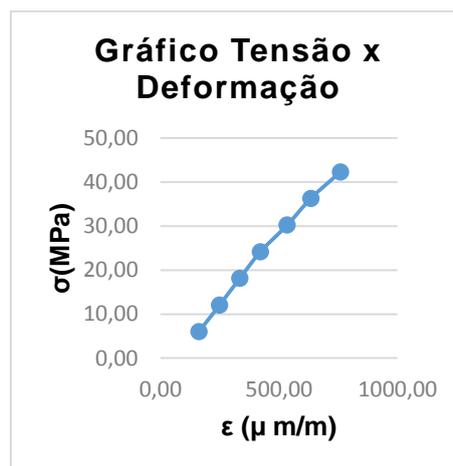
Dados do ensaio a tração paralela às fibras.

Corpo de prova 05			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{t0} (MPa)
405,41	3.350,00	81,06	6.496,08

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	6,05	112,50
5	0,50	30,25	507,50
15	0,50	30,25	522,50
21	0,10	6,05	165,00
31	0,10	6,05	162,50
62	0,20	12,10	250,00
63	0,30	18,15	335,00
64	0,40	24,20	422,50
65	0,50	30,25	535,00
66	0,60	36,30	635,00
67	0,70	42,35	760,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{t0}, módulo de elasticidade à tração paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Jurema-preta**

Dados do ensaio a tração paralela às fibras.

Corpo de prova 06			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{t0} (MPa)
404,52	4.000,00	97,00	11.687,26

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	6,06	55,00
5	0,50	30,31	267,50
15	0,50	30,31	271,50
21	0,10	6,06	72,50
31	0,10	6,06	67,50
62	0,20	12,13	120,00
63	0,30	18,19	175,00
64	0,40	24,25	220,00
65	0,50	30,31	275,00
66	0,60	36,38	335,00
67	0,70	42,44	387,50

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{t0}, módulo de elasticidade à tração paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Jurema-preta**

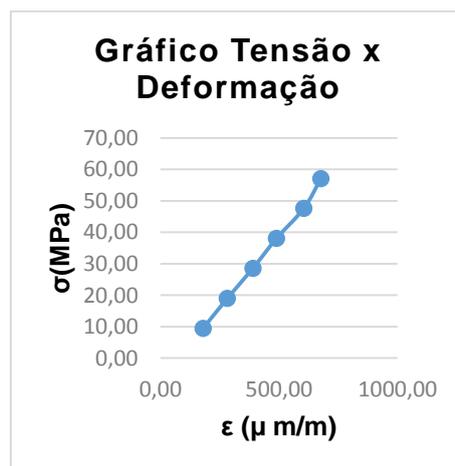
Dados do ensaio a tração paralela às fibras.

Corpo de prova 07			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{t0} (MPa)
257,49	1.580,00	60,20	8.964,29

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	9,52	115,00
5	0,50	47,62	577,50
15	0,50	47,62	600,00
21	0,10	9,52	182,50
31	0,10	9,52	180,00
62	0,20	19,05	282,50
63	0,30	28,57	390,00
64	0,40	38,10	490,00
65	0,50	47,62	605,00
66	0,60	57,15	677,50
67	0,70	66,67	0,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{t0}, módulo de elasticidade à tração paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 66 da tabela acima.



- **Jurema-preta**

Dados do ensaio a tração paralela às fibras.

Corpo de prova 08			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{t0} (MPa)
355,95	3.000,00	82,68	12.878,60

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	6,89	47,50
5	0,50	34,45	262,50
15	0,50	34,45	262,50
21	0,10	6,89	57,00
31	0,10	6,89	56,00
62	0,20	13,78	112,50
63	0,30	20,67	165,00
64	0,40	27,56	212,50
65	0,50	34,45	270,00
66	0,60	41,34	327,50
67	0,70	48,23	385,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{t0}, módulo de elasticidade à tração paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Jurema-preta**

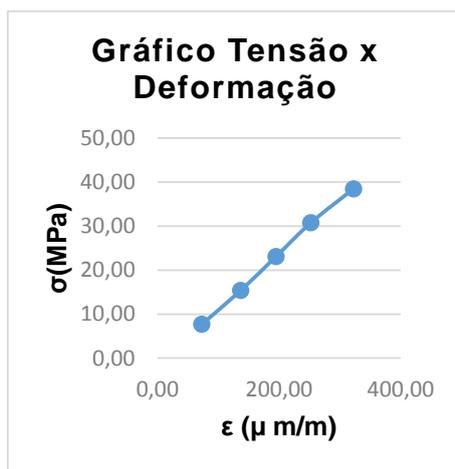
Dados do ensaio a tração paralela às fibras.

Corpo de prova 09			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{t0} (MPa)
318,85	2.900,00	89,22	12.331,24

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	7,69	52,50
5	0,50	38,46	312,50
15	0,50	38,46	317,50
21	0,10	7,69	77,50
31	0,10	7,69	73,00
62	0,20	15,38	137,00
63	0,30	23,07	195,00
64	0,40	30,77	252,50
65	0,50	38,46	322,50
66	0,60	46,15	0,00
67	0,70	53,84	0,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{t0}, módulo de elasticidade à tração paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 65 da tabela acima.



- **Jurema-preta**

Dados do ensaio a tração paralela às fibras.

Corpo de prova 10			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{t0} (MPa)
347,89	4.140,00	116,74	12.313,70

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	7,05	65,00
5	0,50	35,25	295,00
15	0,50	35,25	292,50
21	0,10	7,05	70,00
31	0,10	7,05	71,00
62	0,20	14,10	125,00
63	0,30	21,15	180,00
64	0,40	28,20	240,00
65	0,50	35,25	300,00
66	0,60	42,30	355,00
67	0,70	49,35	420,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{t0}, módulo de elasticidade à tração paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Jurema-preta**

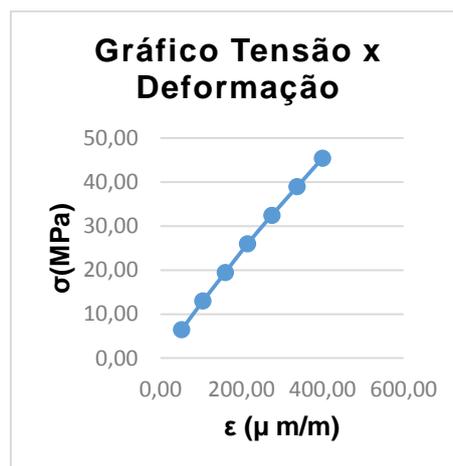
Dados do ensaio a tração paralela às fibras.

Corpo de prova 11			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{t0} (MPa)
377,77	4.450,00	115,56	11.671,10

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	6,49	45,00
5	0,50	32,46	267,50
15	0,50	32,46	275,00
21	0,10	6,49	52,50
31	0,10	6,49	52,50
62	0,20	12,98	105,00
63	0,30	19,48	160,00
64	0,40	25,97	215,00
65	0,50	32,46	275,00
66	0,60	38,95	337,50
67	0,70	45,44	400,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{t0}, módulo de elasticidade à tração paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Jurema-preta**

Dados do ensaio a tração paralela às fibras.

Corpo de prova 12			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E₁₀ (MPa)
391,96	1.850,00	46,30	8.747,66

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	6,38	14,70
5	0,50	31,89	271,30
15	0,50	31,89	272,40
21	0,10	6,38	14,90
31	0,10	6,38	15,00
62	0,20	12,76	75,00
63	0,30	19,13	137,50
64	0,40	25,51	200,00
65	0,50	31,89	272,50
66	0,60	38,27	310,00
67	0,70	44,65	0,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E₁₀, módulo de elasticidade à tração paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 66 da tabela acima.



- **Pereiro**

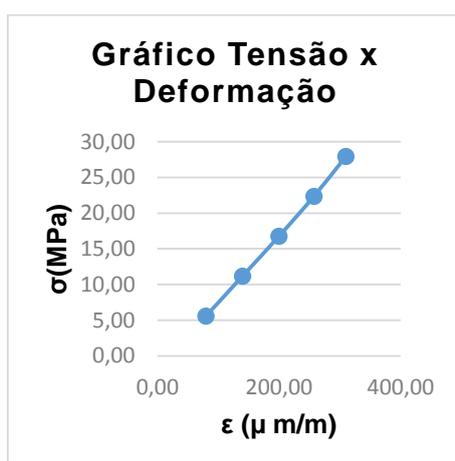
Dados do ensaio a tração paralela às fibras.

Corpo de prova 01			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{t0} (MPa)
438,80	1.470,00	32,86	9.720,15

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	5,59	70,00
5	0,50	27,95	317,50
15	0,50	27,95	318,50
21	0,10	5,59	84,00
31	0,10	5,59	80,00
62	0,20	11,18	140,00
63	0,30	16,77	200,00
64	0,40	22,36	257,50
65	0,50	27,95	310,00
66	0,60	33,53	0,00
67	0,70	39,12	0,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{t0}, módulo de elasticidade à tração paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 65 da tabela acima.



- **Pereiro**

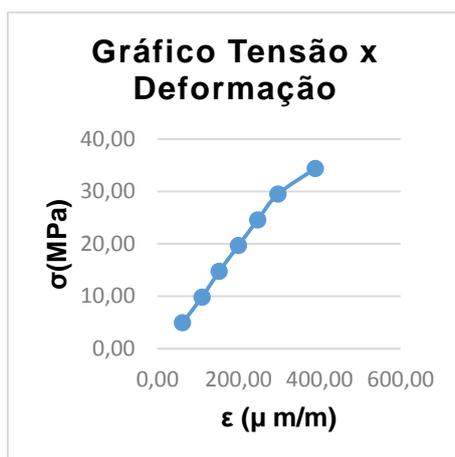
Dados do ensaio a tração paralela às fibras.

Corpo de prova 02			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E₁₀ (MPa)
499,06	2.100,00	41,28	10.596,64

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	4,91	52,50
5	0,50	24,57	240,00
15	0,50	24,57	241,50
21	0,10	4,91	62,50
31	0,10	4,91	62,00
62	0,20	9,83	110,00
63	0,30	14,74	152,50
64	0,40	19,66	200,00
65	0,50	24,57	247,50
66	0,60	29,49	297,50
67	0,70	34,40	390,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E₁₀, módulo de elasticidade à tração paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Pereiro**

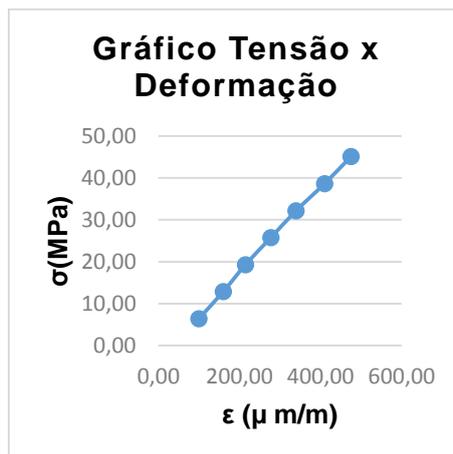
Dados do ensaio a tração paralela às fibras.

Corpo de prova 03			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{t0} (MPa)
380,77	3.700,00	95,32	10.734,75

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	6,44	65,00
5	0,50	32,20	337,50
15	0,50	32,20	345,00
21	0,10	6,44	97,50
31	0,10	6,44	100,00
62	0,20	12,88	160,00
63	0,30	19,32	215,00
64	0,40	25,76	277,50
65	0,50	32,20	340,00
66	0,60	38,65	410,00
67	0,70	45,09	475,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{t0}, módulo de elasticidade à tração paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Pereiro**

Dados do ensaio a tração paralela às fibras.

Corpo de prova 04			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{t0} (MPa)
454,68	3.540,00	76,38	10.448,32

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	5,39	55,00
5	0,50	26,97	250,00
15	0,50	26,97	252,50
21	0,10	5,39	52,50
31	0,10	5,39	48,50
62	0,20	10,79	105,00
63	0,30	16,18	152,50
64	0,40	21,58	202,50
65	0,50	26,97	255,00
66	0,60	32,36	305,00
67	0,70	37,76	355,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{t0}, módulo de elasticidade à tração paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Pereiro**

Dados do ensaio a tração paralela às fibras.

Corpo de prova 05			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{t0} (MPa)
402,76	2.200,00	53,59	13.346,35

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	6,09	32,50
5	0,50	30,45	217,50
15	0,50	30,45	213,50
21	0,10	6,09	32,50
31	0,10	6,09	32,50
62	0,20	12,18	75,00
63	0,30	18,27	122,50
64	0,40	24,36	167,50
65	0,50	30,45	215,00
66	0,60	36,54	262,50
67	0,70	42,62	312,50

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{t0}, módulo de elasticidade à tração paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Pereiro**

Dados do ensaio a tração paralela às fibras.

Corpo de prova 06			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{t0} (MPa)
426,56	2.900,00	66,69	10.848,02

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	5,75	35,00
5	0,50	28,75	247,50
15	0,50	28,75	240,00
21	0,10	5,75	42,50
31	0,10	5,75	38,00
62	0,20	11,50	95,00
63	0,30	17,25	145,00
64	0,40	23,00	195,00
65	0,50	28,75	250,00
66	0,60	34,50	297,50
67	0,70	40,25	355,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{t0}, módulo de elasticidade à tração paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Pereiro**

Dados do ensaio a tração paralela às fibras.

Corpo de prova 07			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{t0} (MPa)
390,57	3.570,00	89,67	9.735,22

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	6,28	72,50
5	0,50	31,40	340,00
15	0,50	31,40	352,50
21	0,10	6,28	105,00
31	0,10	6,28	102,00
62	0,20	12,56	162,50
63	0,30	18,84	215,00
64	0,40	25,12	287,50
65	0,50	31,40	360,00
66	0,60	37,68	427,50
67	0,70	43,95	505,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{t0}, módulo de elasticidade à tração paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Pereiro**

Dados do ensaio a tração paralela às fibras.

Corpo de prova 08			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{t0} (MPa)
406,71	3.400,00	82,01	11.350,66

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	6,03	45,00
5	0,50	30,15	220,00
15	0,50	30,15	227,50
21	0,10	6,03	20,00
31	0,10	6,03	12,50
62	0,20	12,06	70,00
63	0,30	18,09	120,00
64	0,40	24,12	172,50
65	0,50	30,15	225,00
66	0,60	36,18	275,00
67	0,70	42,21	327,50

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{t0}, módulo de elasticidade à tração paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Pereiro**

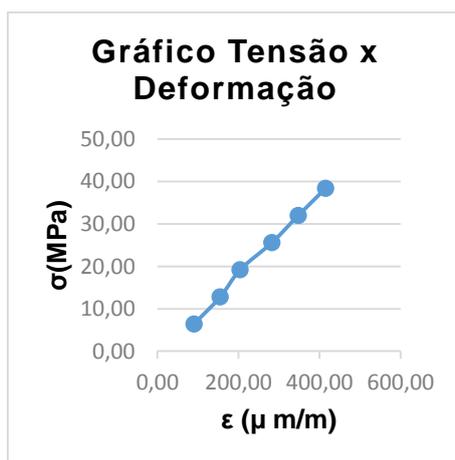
Dados do ensaio a tração paralela às fibras.

Corpo de prova 09			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{t0} (MPa)
383,45	1.630,00	41,70	9.935,24

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	6,40	72,50
5	0,50	31,98	335,00
15	0,50	31,98	342,50
21	0,10	6,40	97,50
31	0,10	6,40	90,00
62	0,20	12,79	155,00
63	0,30	19,19	204,00
64	0,40	25,58	282,50
65	0,50	31,98	347,50
66	0,60	38,37	415,00
67	0,70	44,77	0,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{t0}, módulo de elasticidade à tração paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 66 da tabela acima.



- **Pereiro**

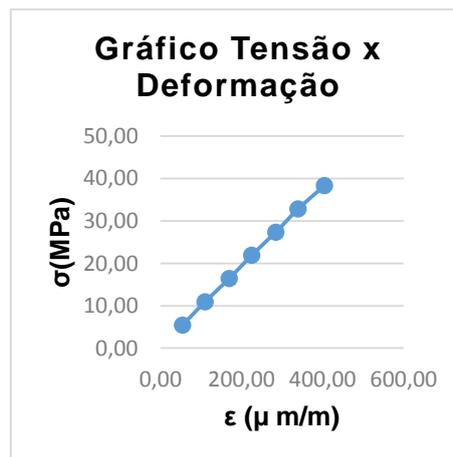
Dados do ensaio a tração paralela às fibras.

Corpo de prova 10			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{t0} (MPa)
447,98	1.920,00	42,04	9.520,91

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	5,47	55,00
5	0,50	27,37	275,00
15	0,50	27,37	277,50
21	0,10	5,47	55,00
31	0,10	5,47	55,00
62	0,20	10,95	110,00
63	0,30	16,42	170,00
64	0,40	21,90	225,00
65	0,50	27,37	285,00
66	0,60	32,85	340,00
67	0,70	38,32	405,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{t0}, módulo de elasticidade à tração paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 67 da tabela acima.



- **Pereiro**

Dados do ensaio a tração paralela às fibras.

Corpo de prova 11			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{t0} (MPa)
294,88	2.700,00	89,82	9.505,09

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	8,32	105,00
5	0,50	41,58	457,50
15	0,50	41,58	445,00
21	0,10	8,32	117,50
31	0,10	8,32	115,00
62	0,20	16,63	200,00
63	0,30	24,95	287,50
64	0,40	33,27	367,50
65	0,50	41,58	465,00
66	0,60	49,90	550,00
67	0,70	58,22	0,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{t0}, módulo de elasticidade à tração paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 66 da tabela acima.



- **Pereiro**

Dados do ensaio a tração paralela às fibras.

Corpo de prova 12			
A (mm²)	F_{rup} (kgf)	σ_{rup} (MPa)	E_{t0} (MPa)
409,19	3.980,00	95,42	8.717,84

Pontos	σ_{est}/σ	σ (MPa)	ε (μ m/m)
1	0,10	6,11	27,20
5	0,50	30,55	273,80
15	0,50	30,55	274,90
21	0,10	6,11	27,40
31	0,10	6,11	27,50
62	0,20	12,22	102,50
63	0,30	18,33	165,00
64	0,40	24,44	222,50
65	0,50	30,55	275,00
66	0,60	36,66	305,00
67	0,70	42,77	0,00

Legenda: A, área; F_{rup}, força de ruptura; σ_{rup}, tensão de ruptura; E_{t0}, módulo de elasticidade à tração paralela às fibras; σ_{est}/σ, tensão estimada sobre a tensão de ruptura; ε, deformação específica. Fonte: Elaboração própria.

Gráfico Tensão x deformação formado pelo segundo ciclo de carregamento do ensaio, dos pontos 31 a 66 da tabela acima.

