

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DA
MADEIRA DE JUREMA-PRETA (*Mimosa
tenuiflora* (WILLD.) POIR.) VISANDO SEU
EMPREGO NA INDÚSTRIA MADEIREIRA DO
SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO**

HERBERT LIMA SANTOS DA ROCHA

CAMPINA GRANDE
PARAÍBA – BRASIL
MARÇO – 2007

HERBERT LIMA SANTOS DA ROCHA

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DA
MADEIRA DE JUREMA-PRETA (*Mimosa
tenuiflora* (WILLD.) POIR.) VISANDO SEU
EMPREGO NA INDÚSTRIA MADEIREIRA DO
SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO**

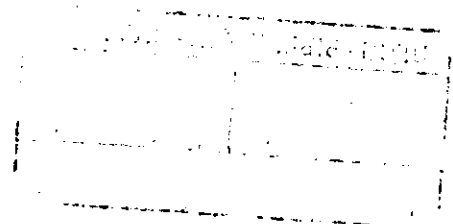
Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Área de Concentração: Construções Rurais e Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Juarez Benigno Paes

Co-Orientador: Prof. Dr. Alexandre José Soares Miná

CAMPINA GRANDE
PARAÍBA – BRASIL
MARÇO – 2007





FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCCG

R672c Rocha, Herbert Lima Santos da.

Caracterização físico-mecânica da madeira de jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir.) visando seu emprego na indústria madeireira do semi-árido brasileiro / Herbert Lima Santos da Rocha. — Campina Grande, 2007.

60 f. : il. col.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Referências.

Orientadores: Prof. Dr. Juarez Benigno Paes, Prof. Dr. Alexandre José Soares Miná.

1. Madeira. 2. Propriedades Físico-Mecânicas. 3. Mobiliário. 4. Transdutor de Deslocamento Linear. I. Título.

CDU – 674.038.5(043)

Carinhosamente dedico:

Aos meus pais Creso e Lindalva.

À minha noiva Fabiana.

AGRADECIMENTOS

A Deus.

À Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), pela oportunidade de realizar o Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, na Área de Construções Rurais e Ambiente.

Ao Laboratório de Tecnologia de Produtos Florestais (LTPF) da UFCG em Patos-PB, pelos ensaios físicos da madeira.

Ao Laboratório de Solos I do Curso de Engenharia Civil da UFCG, pela realização dos ensaios mecânicos da madeira.

Ao Laboratório Metrológico de Calibração (LMC) do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), pela calibragem dos Transdutores de Deslocamento Linear (LVDTs) e ajustes em peças.

À Carpintaria do Curso de Engenharia Elétrica da UFCG, pela confecção dos corpos-de-prova.

A Entre Fios Tecelagem, pela doação do tecido de algodão colorido utilizado na fabricação do estofado utilizado no protótipo final.

Ao Professor Dr. Juarez Benigno Paes, pela orientação e incentivo.

Ao Professor Dr. Alexandre Miná, pelo acompanhamento e amizade, sem os quais este trabalho não teria sido possível.

Ao Professor Dr. Wallace Barbosa do Nascimento, por ter acreditado no meu potencial.

À Professora Marluce Araújo Azevedo, por compartilhar o seu conhecimento.

Aos Professores Dr. Alexandre Miná e Dra. Elisabeth de Oliveira, pela participação na Banca Examinadora.

Ao Sr. Policarpo, pela disposição e ajuda na execução dos trabalhos de carpintaria.

À Cleone Souza, pelas dicas tão importantes para a execução deste trabalho.

À Ana Karla Oliveira, pelo incentivo e amizade.

A Sra. Rivanilda, Secretária da Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela a amizade e ajuda.

À minha noiva Fabiana, pelo apoio e incentivo nas horas mais difíceis.

A Valneide, pela a amizade e disposição em ajudar.

Aos meus pais, pela ajuda e apoio em todas as etapas de execução deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xii
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
1 – INTRODUÇÃO	1
2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 – Aspectos botânicos da jurema-preta	4
2.2 – A madeira como material de construção	6
2.2.1 – Estrutura macroscópica do tronco	6
2.2.2 – Propriedades da madeira	7
2.3 – Classificação das peças de madeira.....	10
2.4 – Formas de utilização da jurema-preta	10
2.5 – Distribuição geográfica e características da madeira de jurema-preta	11
2.6 – Estruturas compostas de madeira.....	12
2.6.1 – Compósitos de plástico-madeira	12
2.6.2 – Madeira laminada colada (MLC)	13
2.7 – Transdutor de deslocamento linear (LVDT)	13
2.7.1 – Funcionamento do LVDT	14
2.7.2 – Vantagens do uso e calibragem do LVDT.....	15
2.8 – Sistema de aquisição de dados.....	16
3 – MATERIAL E MÉTODOS	18
3.1 – Local de coleta do material	18
3.2 – Seleção e abate das plantas utilizadas	19
3.3 – Identificação da espécie	20
3.4 – Esquadreamento das toras	20

3.5 – Confeção dos corpos-de-prova.....	21
3.6 – Transdutores de deslocamento linear (LVDTs).....	22
3.6.1 – Calibragem dos LVDTs.....	23
3.7 – Sistema de aquisição de dados.....	24
3.7.1 – Conexão dos LVDT e do computador ao sistema de aquisição de dados	25
3.8 – Caracterização físico-mecânica da madeira	25
3.8.1 – Teor de umidade da madeira	27
3.8.2 – Densidade da madeira	29
3.8.3 – Compressão paralela às fibras	30
3.9 – Confeção de mobiliário doméstico	37
4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
4.1 – Umidade da madeira.....	40
4.2 – Densidade da madeira	40
4.3 – Compressão paralela às fibras e rigidez.....	42
4.4 – Mobiliário doméstico	46
5 – CONCLUSÕES	47
6 – SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49
ANEXOS	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Jurema-preta (<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir.)	4
Figura 2. Ramo com acúleos e vagens verdes (a) e secas (b)	5
Figura 3. Flores de jurema-preta	5
Figura 4. Estrutura macroscópica do tronco.	7
Figura 5. Elementos que compõem um transdutor de deslocamento Linear (LVDT).....	15
Figura 6. Esquema de funcionamento de um transdutor de deslocamento linear (LVDT)	15
Figura 7. Localização da Microrregião de Patos e do município de Santa Terezinha	18
Figura 8. Tronco de um dos exemplares abatidos	19
Figura 9. Peças utilizadas para a confecção dos corpos-de-prova.....	21
Figura 10. Confecção dos corpos-de-prova utilizando uma serra manual esquadria	22
Figura 11. Transdutor de deslocamento linear (LVDT).....	22
Figura 12. Equipamento utilizado para calibrar os transdutores de deslocamento linear (LVDTs).....	23
Figura 13. Sistema de aquisição de dados "Spider-8" da Hottinger Baldwin Messtechnik (HBM)	24
Figura 14. Medidas do corpo-de-prova para determinação das propriedades físicas da madeira. (a) e corpo-de-prova para determinação da umidade da madeira (b).....	28

Figura 15. Medidas do corpo-de-prova para compressão paralela às fibras da madeira (em cm) (a) e corpo-de-prova para compressão paralela às fibras da madeira (b).....	31
Figura 16. Corpo-de-prova alinhado entre os pratos da máquina de ensaios mecânicos.	34
Figura 17. Diagrama de carregamento dos corpos-de-prova.....	35
Figura 18. Corpo-de-prova após a ruptura	35
Figura 19. Gráfico de aquisição de dados dos transdutores de deslocamento linear (LVDTs) montados sobre o corpo-de-prova 6	36
Figura 20. Protótipo de mobiliário doméstico confeccionado a partir da madeira de jurema-preta.....	37
Figura 21. Madeira apresentando defeitos que impossibilitaram o seu uso para confecção dos corpos-de-prova	38
Figura 22. Acolchoado revestido com algodão colorido.....	39
Figura 1A. Gráfico de tensão x deformação do corpo-de-prova 4.....	53
Figura 2A. Gráfico de tensão x deformação do corpo-de-prova 5.....	54
Figura 3A. Gráfico de tensão x deformação do corpo-de-prova 6.....	55
Figura 4A. Gráfico de tensão x deformação do corpo-de-prova 7.....	56
Figura 5A. Gráfico de tensão x deformação do corpo-de-prova 10.....	57
Figura 6A. Gráfico de tensão x deformação do corpo-de-prova 11.....	58
Figura 7A. Gráfico de tensão x deformação do corpo-de-prova 12.....	59
Figura 8A. Gráfico de tensão x deformação do corpo-de-prova 13.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classes de umidade da madeira	8
Tabela 2. Classes de resistência das coníferas.....	9
Tabela 3. Classes de resistência das dicotiledôneas	9
Tabela 4. Teores de umidade dos corpos-de-prova da madeira de jurema-preta.....	40
Tabela 5. Densidade básica da madeira de jurema-preta.....	41
Tabela 6. Densidade aparente da madeira de jurema-preta.	41
Tabela 7. Resistência à compressão paralela às fibras (f_{co}) e rigidez na compressão paralela às fibras (E_{co}), da madeira de jurema-preta.....	42
Tabela 8. Valor característico da resistência à compressão paralela às fibras (f_{cok}); valor médio do módulo de elasticidade da compressão paralela às fibras ($E_{co,m}$), a 12% de umidade	43
Tabela 9. Classificação, valor característico da resistência à compressão paralela às fibras (f_{cok}), valor médio do módulo de elasticidade da compressão paralela às fibras ($E_{co,m}$) e densidade aparente (ρ_{ap}) das espécies jurema-preta; roxinho; maçaranduba; ipê e algaroba	44
Tabela 1A. Valores obtidos durante o ensaio de compressão paralela às fibras do corpo-de-prova 4.....	53
Tabela 2A. Valores obtidos durante o ensaio de compressão paralela às fibras do corpo-de-prova 5.....	54
Tabela 3A. Valores obtidos durante o ensaio de compressão paralela às fibras do corpo-de-prova 6.....	55

Tabela 4A. Valores obtidos durante o ensaio de compressão paralela às fibras do corpo-de-prova 7.....	56
Tabela 5A. Valores obtidos durante o ensaio de compressão paralela às fibras do corpo-de-prova 10.....	57
Tabela 6A. Valores obtidos durante o ensaio de compressão paralela às fibras do corpo-de-prova 11.....	58
Tabela 7A. Valores obtidos durante o ensaio de compressão paralela às fibras do corpo-de-prova 12.....	59
Tabela 8A. Valores obtidos durante o ensaio de compressão paralela às fibras do corpo-de-prova 13.....	60

LISTA DE SIMBOLOS

A – área de seção trasnversal da peça de madeira, cm^2

E_{c0} – módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras da madeira, MPa

E_{12} – módulo de eslasticidade na compressão paralela às fibras da madeira, a 12% de umidade, MPa

$E_{U\%}$ – módulo de eslasticidade na compressão paralela às fibras da madeira, a $U\%$

$F_{c0,Max}$ – força máxima no carregamento do corpo-de-prova,

f – resistência da madeira

f_{c0k} – resistência característica da compressão paralela às fibras, MPa

f_{12} – resistência da madeira a 12% de umidade, MPa

$f_{U\%}$ – resistência da madeira a $U\%$ de umidade, MPa

m_i – massa inicial do corpo-de-prova, kg

m_s – massa seca do corpo-de-prova, kg

$m_{U\%}$ - massa do corpo de prova a $U\%$, kg

p_{ap} – densidade aparente da madeira a 12% de umidade, kg/m^3

p_{bas} – densidade básica da madeira a $U\%$ de umidade, kg/m^3

U – umidade da madeira

RESUMO

Os objetivos da pesquisa foram caracterizar a madeira de jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir.) e verificar as possibilidades de seu emprego na indústria madeireira do semi-árido brasileiro. Para tanto, foram abatidas cinco árvores de jurema-preta na Caatinga do Estado da Paraíba, na Fazenda Lameirão, localizada no município de Santa Terezinha - PB, confeccionados corpos-de-prova, e realizados ensaios físico-mecânicos de acordo com a Norma Técnica Regulamentadora - NBR 7190 da Associação Brasileira de Normas Técnicas. Foram realizados ensaios para determinação da umidade, densidade aparente, densidade básica, e resistência e rigidez à compressão paralela às fibras. Os ensaios para determinação da resistência e rigidez foram executados com o emprego de sistemas de medição e coleta digitais por meio de Transdutores de Deslocamento Linear (LVDTs) e sistema de aquisição de dados, o que possibilitou maior precisão e qualidade das leituras dos dados. Os valores obtidos indicaram que a madeira de jurema-preta se enquadra na classificação de resistência C 40, determinada pela NBR 7190, e sendo superior à madeira de maçaranduba e pouco inferior a de roxinho. A densidade aparente da madeira de jurema-preta foi superior à das madeiras de roxinho e maçaranduba, sendo equivalentes a das madeiras de ipê e algaroba. As características de resistência e rigidez da madeira de jurema-preta indicam a viabilidade técnica de seu emprego em estruturas. Foi confeccionado um protótipo de mobiliário doméstico para demonstrar a viabilidade técnica do emprego da madeira de jurema-preta para a confecção de móveis.

Palavras-chave: Madeira, propriedades físico-mecânica, mobiliário, Transdutor de Deslocamento Linear.

ABSTRACT

This research aimed to characterize the *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir.) wood and verify the possibilities of its use on the wood industry of the Brazilian semi-arid region. To attend the objectives, five trees were cut in the Brazilian Caatinga in Paraíba State, at Lameirão Farm, located in territorial area of Santa Terezinha, Paraíba, Brazil. The samples were sawed, and the physical and mechanical properties were determinate according to Technical Standard Regulatory – NBR 7190 of Brazilian Standard Norms – ABNT. Tests to determine the strength and stiffness were performed with the use of Linear Variable Differential Transformers (LVDTs) and data acquisition system, which enables higher quality and accuracy of data readings. The results indicate that *Mimosa tenuiflora* fits the resistance classification C 40, determined by Brazilian Standard Norms, that is superior to *Nanilkara huberi* and slightly below the *Peltogyne sp.* Woods. *Mimosa tenuiflora* density was superior to the *Peltogyne sp.* and *Nanilkara huberi* woods, being equivalent to *Tabebuia serratifolia* and *Prosopis juliflora* woods. The physical and mechanical properties of *Mimosa tenuiflora* indicate the technical feasibility of its use in structures, and in order to demonstrate its feasibility to produce furniture, a prototype of home furniture was made.

Keywords: Properties of wood, furniture, Linear Variable Differential Transformer.

1 - INTRODUÇÃO

No Semi-Árido brasileiro, as condições sócio-econômicas de grande parte da população dificultam o acesso às madeiras provenientes de outras regiões do Brasil, o que demanda um estudo envolvendo a potencialidade das plantas nativas da região.

Em função das características da vegetação da Região do Semi-Árido brasileiro ser de pequeno porte, classificada como arbóreo-arbustivo, o potencial madeireiro, para o uso como fonte de madeira para fins estruturais e de confecção de móveis é escasso, estando o seu emprego mais concentrado na forma de lenha, carvão vegetal e para construção de cercas nas propriedades rurais (FARIA, 1984).

A decisão governamental de alocar parte dos incentivos fiscais para o reflorestamento no Nordeste brasileiro (SILVA, 1980), fez com que surgissem novos estudos visando o melhor aproveitamento e exploração econômica das madeiras existentes na região, com o aproveitamento da vegetação da Caatinga pelo manejo sustentado (PAULA, 1992).

A vegetação da Caatinga ainda não apresenta importância econômica para empregos estruturais, porém pesquisas que busquem possibilidades de uso podem evidenciar e conduzir a uma maior utilização sustentável da vegetação (FARIA, 1984). Isto porque essa vegetação em quatro cortes de 5-6 anos pode produzir o mesmo volume de madeira fornecido pelo Cerrado em dois cortes de 10 anos, ou o mesmo volume de madeira de florestas nativas em cortes de 15-20 anos (THIBAU, 1982).

Em função da limitação da qualidade e pequeno porte das madeiras nativas da Caatinga e do custo das madeiras provenientes de outras regiões, o emprego consciente do potencial madeireiro existente no Semi-Árido brasileiro poderá solucionar diversos aspectos de carência de material e fornecer alternativas comerciais na região, além de impulsionar economicamente vários setores do mercado.

Ecologicamente, o uso de uma madeira já explorada com fins que causam altos impactos ambientais, como a indústria carvoeira, para fins mais duráveis e ambientalmente mais corretos, pode resultar em enormes benefícios para a sociedade e meio ambiente.

O surgimento de um novo segmento no mercado pode impulsionar a economia da região, possibilitando o surgimento de indústrias, e tornando acessível à população produtos e materiais que apenas pequenas parcelas da população, de maior poder aquisitivo, tem acesso.

Na região do Semi-Árido Brasileiro, uma das plantas nativas que tem se destacado é a jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*, (Willd.) Poir.), por apresentar uma grande capacidade de regeneração, assim como sua abundância e rápido crescimento (FARIA, 1984)

Porém, para a madeira de jurema-preta não existem estudos científicos conclusivos sobre as suas características físico-mecânicas, dificultando a aceitação da mesma pela indústria madeireira da região, seja para aplicação estrutural como para aplicação moveleira.

A caracterização da madeira de jurema-preta a partir de metodologias cientificamente conhecidas possibilitaria a classificação da resistência da madeira além de possibilitar o seu emprego na indústria, que necessita de dados reconhecidos a respeito das características da madeira, para poder optar pela sua aplicação industrial como matéria-prima.

A Norma Brasileira Regulamentadora - NBR 7190 da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (1997) informa que para a caracterização de uma espécie pouco conhecida, visando projeto estrutural, é recomendada a caracterização mínima. A mesma norma permite a caracterização simplificada para espécies usuais, mas não especifica o uso em projeto estrutural. Entende-se que em estudos que visem o emprego da madeira em outras atividades, como na indústria

moveleira, ou como parâmetro comparativo com outras espécies, a caracterização simplificada possa ser usada.

Os objetivos da pesquisa foram caracterizar a madeira de jurema-preta utilizando sistemas de medição e de coleta de dados digitais, para apresentar a madeira da jurema-preta como uma alternativa comercial de baixo custo e baixo impacto ambiental, para a indústria da região do Semi-Árido brasileiro. Paralelamente pretende-se comparar as características físico-mecânicas da madeira de jurema-preta, com a madeira de outras espécies comercializadas na região do Semi-Árido brasileiro, e por fim construir um protótipo de mobiliário doméstico utilizando a madeira de jurema-preta como matéria prima.

2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 – Aspectos botânicos da jurema-preta

A jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*, (Willd.) Poir.) é uma espécie vegetal arbustiva, pertencente à família Mimosaceae (MAIA, 2004). De acordo com Pereira Filho (2003) é uma leguminosa facilmente encontrada na Caatinga, altamente resistente à seca, com grande capacidade de rebrota durante todo o ano. Segundo Tigre (1970), a planta apresenta um porte arbustivo, geralmente bifurcada, com galhos baixos, alcançando uma altura média de 4,5 metros com a idade de cinco anos (Figura 1). Apresenta acúleos no caule (Figura 2a) e uma casca rugosa com fendas longitudinais pouco fibrosas. As folhas são bipinadas e as flores de cor amarela esbranquiçada dispostas em espigas (Figura 3).

O fruto da jurema-preta é uma vagem pequena de tegumento fino e quebradiço quando maduro (Figura 2b). A copa da árvore é relativamente densa e o diâmetro máximo do tronco situa-se entre 15 a 20 centímetros. O cerne é castanho avermelhado. A jurema-preta produz lenha e carvão de excelente qualidade (FARIA, 1984; OLIVEIRA, 2003).



Figura 1. Jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir.)



Figura 2. Ramo com acúleos e vagens verdes (a) e secas (b).



Figura 3. Flores de jurema-preta.

Coelho, citado por Faria (1984), observou que a espécie possui abundante sementeação e sua regeneração pode ser por sementeação e brotação após o corte do tronco. Possui facilidade de adaptação a quaisquer condições edáficas, mesmo em solos secos, pedregosos e mineralizados.

2.2 – A Madeira como material de construção

Segundo Gomes (1999), a madeira é um material renovável, produto direto do lenho das árvores e arbustos lenhosos, considerada um material excepcional que acompanha e sustenta as civilizações desde os seus primórdios. É encontrada em várias partes do mundo, tanto em florestas nativas, quanto em áreas reflorestadas.

Apesar de outros materiais, dentre eles o aço e o concreto terem surgido e substituído a madeira, em muitas aplicações, ela continua sendo utilizada em larga escala, por causa da sua abundância, baixo custo, boa resistência em função de sua baixa densidade e da facilidade de ser trabalhada (PANSIN e DE ZEEUW, 1980).

2.2.1 – Estrutura macroscópica do tronco

Um corte transversal no tronco de uma árvore, ou em qualquer ramo revela diferentes camadas (Figura 4). A casca é a parte que se situa mais externa ao tronco, que no aspecto de material construtivo, apresenta pouca importância, uma vez que sua principal função é a de proteger a madeira. E por onde passa todo o sistema de vasos que conduzem os alimentos das raízes até a copa das plantas (ESAU, 1976).

Em algumas espécies, a casca forma a cortiça, que valoriza e aumenta a área de aplicação das plantas (BURGER e RICHTER, 1991). O câmbio é uma camada fina, situada entre a casca inferior e o alburno. Produz para dentro os vasos lenhosos (responsáveis pelo transporte da seiva bruta) e para fora os vasos liberianos (responsáveis pelo transporte da seiva elaborada) (ESAU, 1976; PANSIN e DE ZEEUW, 1980).

O alburno está situado entre o câmbio e o cerne. É constituído de células que conduzem a seiva bruta. Em geral apresenta uma coloração mais clara e esbranquiçada e de uma resistência inferior em relação à parte mais central onde fica localizado o cerne. É de importância para a manutenção da vida da árvore e de menor importância para a qualidade da madeira, uma vez que, por apresentar uma estrutura menos

resistente, é mais sujeita ao ataque de agentes destruidores (PANSWIN e DE ZEEUW, 1980).

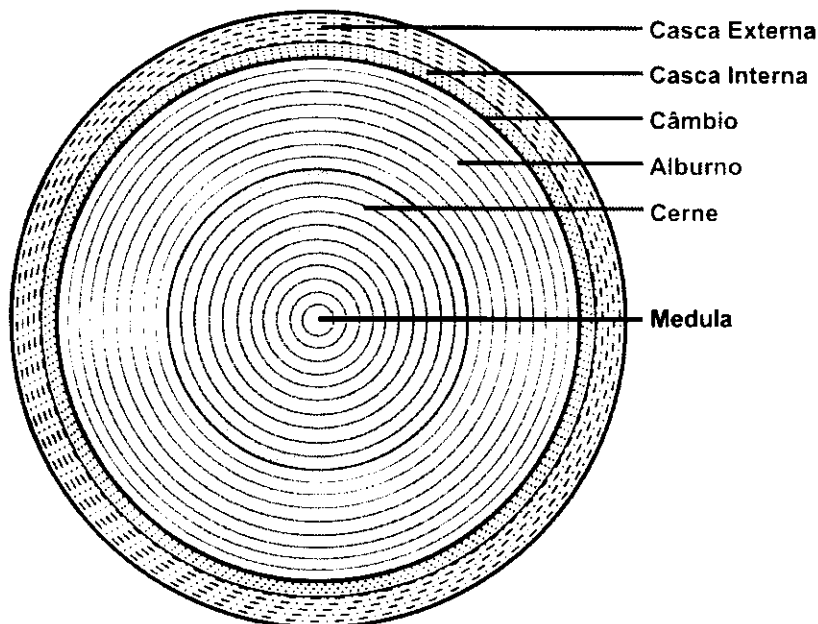


Figura 4. Estrutura macroscópica do tronco (Adaptado de BURGER e RICHTER, 1991).

O cerne é a parte da madeira mais aproveitada em construções. É constituído pela porção morta da árvore, sendo a parte mais escura e dura de um tronco. Ao contrário do que ocorre com o alburno, esta camada apresenta uma obstrução dos vasos que antes conduziam a seiva bruta, permitindo que, a madeira adquira uma resistência mais elevada que o alburno (BURGER e RICHTER, 1991; PANSWIN e DE ZEEUW, 1980).

A medula é a parte mais frágil e ocupa a parte central do tronco. Sua constituição é porosa e o seu diâmetro varia com a espécie e idade da planta (BURGER e RICHTER, 1991).

2.2.2 – Propriedades da madeira

Como descrito na Norma Brasileira Regulamentadora – NBR 7190 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1997), as propriedades da madeira são condicionadas por sua estrutura anatômica, devendo distinguir-se os valores correspondentes à tração dos referentes à compressão, bem como os valores correspondentes à direção paralela

às fibras dos referentes à direção normal às fibras. Devem se, também, distribuir os valores correspondentes às diferentes classes de umidade.

Fusco et al. (1997) afirmam que no projeto de estruturas de madeira são quatro as propriedades a serem consideradas no dimensionamento: densidade, resistência, rigidez ou módulo de elasticidade e teor de umidade.

As classes de umidade têm por finalidade ajustar as propriedades de resistência e de rigidez da madeira em função das condições ambientais onde permanecerão as estruturas (ABNT, 1997). O projeto das estruturas de madeira deve ser executado admitindo-se uma das classes de umidade especificadas na Tabela 1.

Tabela 1. Classes de umidade da madeira

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: ABNT (1997).

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

A resistência é a capacidade da matéria de suportar esforços e é determinada convencionalmente pela máxima tensão que pode ser aplicada a corpos-de-prova, isentos de defeitos, do material considerado, até o aparecimento de ruptura ou deformação específica excessiva, além dos quais, há restrições do emprego do material em elementos estruturais (ABNT, 1997).

A NBR 7190 (ABNT, 1997) enquadra as madeiras em classes de resistência com base em propriedades padronizadas, orientando a escolha

do material para aplicações específicas. As diferentes classes de resistência para as madeiras de árvores de coníferas e de dicotiledôneas são apresentadas nas Tabela 2 e Tabela 3, respectivamente.

A rigidez dos materiais é medida pelo valor médio do módulo de elasticidade, determinado na fase de comportamento elástico linear. O módulo de elasticidade (E_{w0}) na direção paralela às fibras é medido no ensaio de compressão paralela às fibras. Na falta de determinação experimental específica, A NBR 7190 (ABNT, 1997) permite adotar a Equação 1.

$$E_{c90} = \frac{1}{20} \times E_{c0} \quad (1)$$

em que:

E_{c0} = Módulo de elasticidade na direção paralela às fibras da madeira; e

E_{c90} = Módulo de elasticidade na direção normal às fibras da madeira.

Tabela 2. Classes de resistência das coníferas

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

Fonte: ABNT (1997).

Tabela 3. Classes de resistência das dicotiledôneas

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

Fonte: ABNT (1997).

2.3 – Classificação das peças

A NBR 7190 (ABNT, 1997) estabelece as seguintes condições para a classificação das peças de madeira:

- a) as peças de madeira poderão ser classificadas como de primeira categoria somente se forem classificadas como isentas de defeitos por meio do método visual normalizado, e também submetidas à classificação mecânica para enquadramento nas classes de resistência, especificadas no item 2.2.2. Não se permite classificar as madeiras como de primeira categoria, apenas por meio de método visual de classificação;
- b) as peças serão classificadas como de segunda categoria quando não houver a aplicação simultânea da classificação visual e mecânica;
- c) a utilização de máquinas automáticas de classificação mecânica permite enquadrar as peças em lotes de rigidez homogênea, mas não permite enquadrá-las nas classes de resistência, especificadas no item 2.2.2;
- d) para o enquadramento nas classes de resistência, estabelecidas na item 2.2.2, para as madeiras de primeira ou segunda categorias, deve ser feita pelo menos a caracterização simplificada;
- e) a aceitação de um lote de madeira como pertencente a uma das classes de resistência, especificadas no item 2.2.2, é feita sob a condição de que a resistência característica calculada ($f_{c0k,ef}$) seja \geq a resistência característica especificada nas Tabelas 2 e 3 ($f_{c0k,esp}$).

2.4 – Formas de utilização da jurema-preta

A madeira de jurema-preta é amplamente utilizada em obras externas no meio rural, sendo utilizada para confecção de cercas, mourões, rodas, e também como fonte de energia (carvão vegetal) em

função do seu poder calorífico (FARIA, 1984). Além disso as suas vagens servem como alimentação para caprinos e ovinos (VIEIRA et al., 1998).

A jurema-preta, em função da quantidade de taninos presentes em sua casca e principalmente por ser uma espécie de alta densidade florística no Semi-Árido brasileiro, apresenta potencial para ser utilizada como produtora de taninos (PAES et al., 2006a). Tendo apresentado potencialidade no curtimento de peles caprinas (PAES et al., 2006b).

Na medicina caseira a casca de jurema-preta é utilizada, em pó, no tratamento de queimaduras, acne, e outros problemas de pele. Apresenta efeito antimicrobiano e analgésico. A casca da planta, assim como a sua raiz, apresenta efeitos psicoativos (MAIA, 2004).

A facilidade do desenvolvimento da jurema-preta em terrenos degradados torna esta planta presente em áreas de formações vegetais secundárias, demonstrando o seu potencial regenerador da vegetação nativa, uma vez que auxilia na fixação de nitrogênio no solo, assim como na formação de camadas de húmus, a partir de sua folhagem, além de ser utilizada no controle de erosão.

Para a apicultura a jurema-preta apresenta uma particularidade comum a algumas outras plantas da região, fornecendo néctar e pólen para as abelhas, principalmente durante os períodos de seca (MAIA, 2004).

Quimicamente a jurema-preta apresenta um alcalóide da família dos alucinógenos indólicos, como foi observado por Carlini; Masur e Graeff, citados por Bairrão (2003).

2.5 – Distribuição geográfica e características da madeira de jurema-preta

Segundo Faria (1984) é registrada a ocorrência da jurema-preta do Estado do Ceará até o Estado da Bahia. Sendo de maior ocorrência na Região da Caatinga Nordestina (PEREIRA FILHO, 2003).

Em função de poucos estudos referentes à caracterização físico-mecânica da madeira de jurema-preta, são raras as informações a respeito desta característica. Os únicos dados disponíveis são os referentes à sua densidade básica (OLIVEIRA, 2003; OLIVEIRA et al., 2006).

2.6 – Estruturas compostas de madeira

Como foi citado por Oliveira (2003) e Oliveira et al. (2006), o porte arbóreo-arbustiva da vegetação característica da Caatinga, com muitas ramificações e fustes tortuosos e retorcidos, limita a sua aplicação para fins industriais. Sua utilização tem sido restrita a estacas para cercas, lenha e carvão.

Essas características morfológicas da madeira de jurema-preta, dificulta ou até impossibilita suas aplicações estruturais. Assim, uma possibilidade de emprego da sua madeira para fins industriais seria a utilização de compostos de madeira com outros elementos sintéticos ou naturais, visando à construção de peças com maiores dimensões que a da madeira serrada. Dentre estas possibilidades, destacam-se os compósitos de plástico-madeira e a madeira laminada colada.

2.6.1 – Compósitos de plástico-madeira

A fabricação de produtos à base de materiais lignocelulósicos, como o aglomerado, além de permitir melhor aproveitamento da madeira, apresenta certas vantagens em relação a outros materiais, por serem renováveis, recicláveis e biodegradáveis (ELEOTÉRIO, citado por MILAGRES et al., 2006).

Milagres et al. (2006) fazem a observação de que a incorporação do resíduo de plástico na fabricação de compósito plástico-madeira, além de diminuir o consumo de madeira para o mesmo volume de chapas, pode contribuir para reduzir a poluição ambiental.

Segundo Maciel, citado por Milagres et al. (2006), os compósitos plástico-madeira podem ser fabricados a partir de uma matriz contínua ou descontínua de resina termoplástica reforçada com partículas de madeira. Os produtos, assim obtidos, associam as melhores qualidades de cada constituinte e se caracterizam por apresentar propriedades peculiares que os distinguem de outros materiais.

As citações sobre compósitos permitem afirmar que a utilização da mistura plástico-madeira possibilitaria um melhor aproveitamento da madeira de jurema-preta, que como visto, apresenta restrições, que dificultam o seu uso para fins industriais.

2.6.2 – Madeira laminada colada (MLC)

De acordo com Bono, citado por Oliveira (2005), a madeira laminada colada consiste na obtenção de peças estruturais a partir de lâminas de madeira coladas, com todas as fibras paralelas à direção longitudinal das peças.

Segundo Oliveira (2005), a aplicação da madeira laminada colada pode ser vista sob as mais variadas formas estruturais, sendo empregada em pequenas passarelas, mobiliários diversos, escadas e abrigos e até em grande estruturas concebidas sob as mais variadas formas estéticas.

A ABNT (1997) informa que a fabricação de elementos estruturais de madeira laminada colada deve ser conduzida em condições de controle industrial e que os adesivos para fins estruturais devem produzir ligações de resistência e durabilidade tais que a integridade da ligação colada seja mantida por toda a vida esperada da estrutura, na classe de serviço correspondente.

2.7 – Transdutor de deslocamento linear (LVDT)

LVDT é uma sigla utilizada para representar o termo em inglês “Linear Variable Differential Transformer” ou transformador diferencial variável linear. Um tipo de transdutor eletromecânico que consegue

converter o deslocamento linear de um objeto, ao qual esteja acoplado, num sinal elétrico correspondente. Os sensores lineares de um LVDT são capazes de medir movimentos tão pequenos quanto um milionésimo de milímetro, até vários centímetros.

2.7.1 – Funcionamento do LVDT

Segundo Rojas (2003), o princípio de medição do LVDT se baseia na transferência magnética, o que se traduz numa alta resolução, uma vez que a menor fração de movimento do núcleo magnético pode ser detectada por um condicionador de sinais adequado. O LVDT é um dispositivo eletromecânico que produz um sinal elétrico de saída proporcional ao deslocamento da sua parte móvel (núcleo magnético) composto por três bobinas cilíndricas, uma primária (excitada normalmente por uma corrente contínua) e duas secundárias, ligadas entre si em série e espaçadas de forma simétrica em relação à primária (Figura 5).

O núcleo magnético cilíndrico no interior dos enrolamentos encaminha o fluxo magnético através destes. Quando o núcleo se encontra na posição central (posição zero) relativamente às bobinas secundárias, as amplitudes das tensões induzidas em cada uma das bobinas são iguais, sendo, contudo, as respectivas polaridades de sinais opostas, resultando assim num sinal de saída nulo. Assim, a magnitude de saída aumenta de forma independente da direção do movimento, a partir da posição zero, estabelecida no início, podendo ter valor negativo ou positivo (Figura 6).

As tensões de saída são lidas por um sistema de aquisição de dados e convertidas, pelo "software" de controle - ("datalogger"), em medidas de distância.

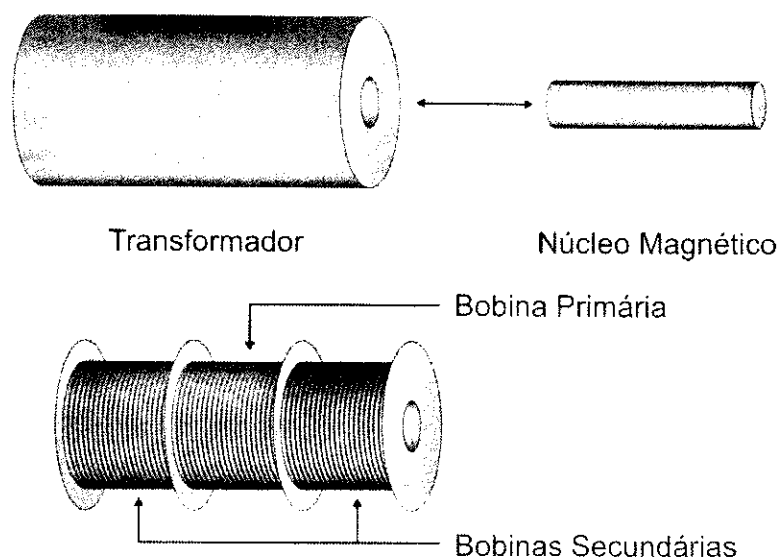


Figura 5. Elementos que compõem um transdutor de deslocamento linear (LVDT).

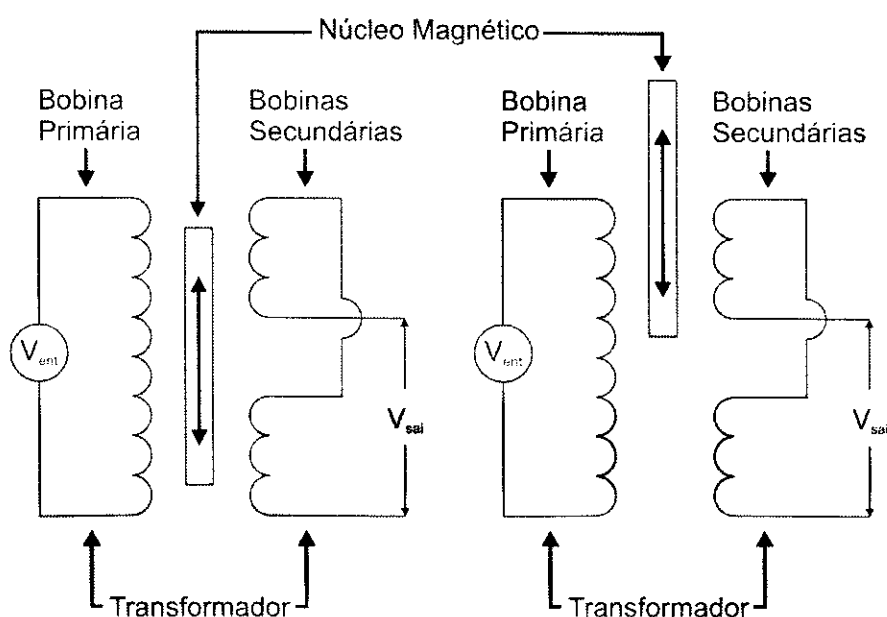


Figura 6. Esquema de funcionamento de um transdutor de deslocamento linear (LVDT).
(Adaptado do fabricante AST-Macro Sensors)

2.7.2 – Vantagens do uso e calibragem do LVDT

Em condição de uso normal o LVDT não apresenta qualquer contato mecânico entre os seus componentes internos, tornando o seu uso recomendado para a realização de medições de alta precisão.

Como o LVDT opera utilizando princípios eletromagnéticos numa estrutura livre de atritos, é capaz de registrar variações de deslocamento

muito pequenas. A precisão desta leitura é limitada apenas pelo ruído captado pelo condicionador de sinal e pela resolução de leitura deste sinal.

Em função da inexistência de partes mecânicas gerando atrito interno, o LVDT apresenta uma vida útil de longa duração, tornando a sua aplicação ideal para medições que envolvem alta repetibilidade.

Os materiais utilizados na construção de um LVDT proporcionam uma elevada robustez a diferentes condições climáticas adversas. Diferentes tipos apresentam resistência à umidade, vibração, temperaturas elevadas, interferências eletromagnéticas, ambientes corrosivos e até em ambientes radioativos.

Os LVDT's, como descrito no item 2.7.1, apresentam leituras correspondentes a variações elétricas, porém para o seu uso como equipamento de medição de distâncias, é necessário um processo de calibragem dos equipamentos junto ao "software" de controle, ou "datalogger", do sistema de aquisição de dados.

2.8 – Sistema de aquisição de dados

Segundo Libonati (2002), a informática, a cada dia, ganha maior aplicação nas engenharias de modo geral, e os sistemas digitais para aquisição de dados é um exemplo disto. Em diversas áreas da engenharia é necessária a realização de ensaios para determinar propriedades de materiais como madeira, solo, concreto e outros materiais de construção, em que diversas grandezas físicas são lidas e armazenadas ao longo do tempo, à medida que uma amostra do material é submetida a esforços mecânicos ou a mudanças das condições ambientais.

Os sistemas de aquisição de dados microprocessados são ferramentas poderosas na realização desses ensaios, pois permitem realizar essas leituras automaticamente. Isso proporciona maior confiabilidade dos dados, uma vez que a leitura manual é propícia a erros. Permite também um acompanhamento do ensaio por meio de gráficos

gerados à medida que as leituras são feitas, além de liberar o técnico para a realização de outras atividades no laboratório.

O "datalogger" faz parte do "software" de controle do sistema de aquisição de dados, e é o módulo responsável pelo registro dos dados coletados pelo sistema.

3 – MATERIAL E MÉTODOS

3.1 – Local de coleta do material

O material foi coletado em janeiro de 2005, na Fazenda Lameirão, no município de Santa Terezinha – PB, propriedade pertencente à Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

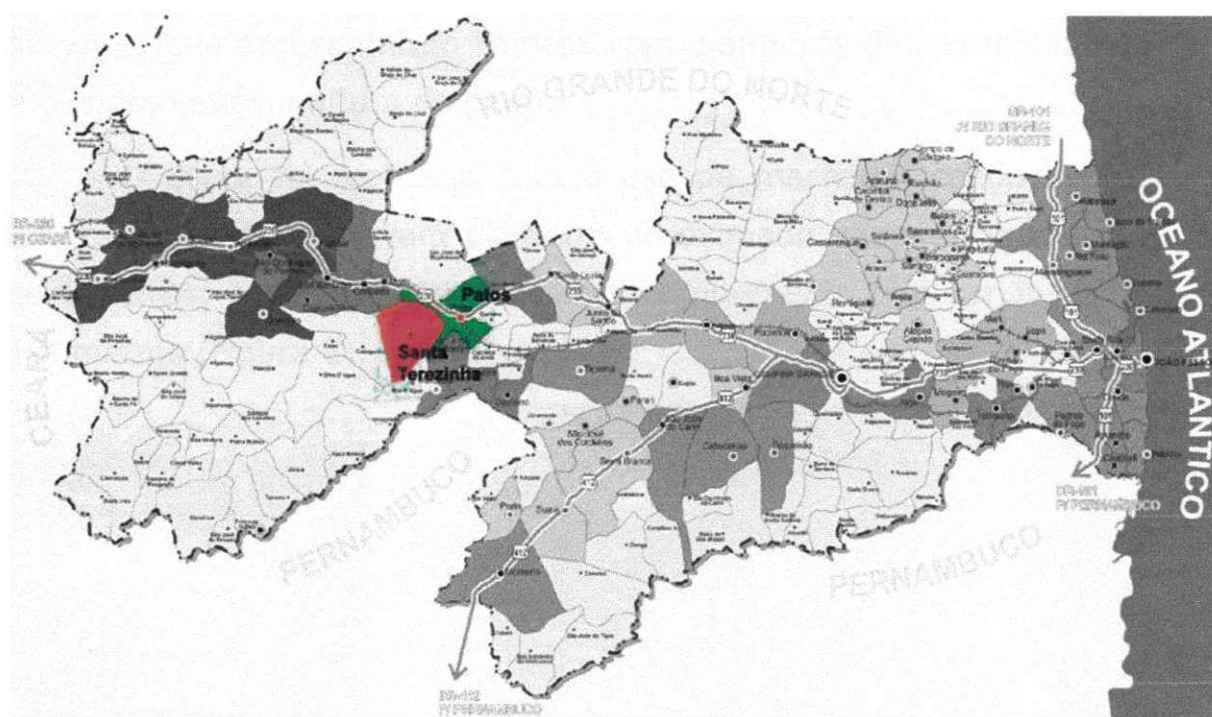


Figura 7. Localização da Microrregião de Patos e do município de Santa Terezinha (Adaptado de BRASIL, 1972).

Localizado na parte ocidental do Estado da Paraíba, distante 25 km do município de Patos, o município de Santa Terezinha (Latitude 7,08S; Longitude 37,44O) está posicionado na Microrregião do município de Patos, que pertence à Mesorregião do Sertão Paraibano (Figura 7). Com 2.544,8 km², a Microrregião de Patos ocupa 4,5% da superfície do Estado, concentra 117.500 habitantes e uma população urbana de 96.700 habitantes. Apesar de 17,7% da população da Microrregião ser rural, apenas o município de Patos concentra 95% da população urbana, mantendo os demais municípios uma predominância rural (BRASIL, 1972).

O clima da região de estudo se caracteriza por elevadas temperaturas médias anuais, 26°C, pequena amplitude térmica anual, 5°C, e médias totais anuais de precipitação que oscilam entre 500 e 800 mm/ano (BRASIL, 1972).

3.2 – Seleção e abate das plantas utilizadas

Foram selecionados para o abate exemplares com idades entre 8 a 12 anos, que apresentaram troncos com diâmetros de, no mínimo 15 cm e comprimentos a altura do peito.

O abate foi realizado com o uso de machado, sendo abatidas 5 árvores que apresentavam diâmetro aproximado variando entre 15 a 25 centímetros; e troncos retilíneos com comprimento que variavam de 1 a 1,8 metros (Figura 8).



Figura 8. Tronco de um dos exemplares abatidos.

3.3 – Identificação da espécie

Inicialmente foi feita uma identificação visual da espécie, no local do abate, pelo Sr. Pedro Andrade Mota, responsável pela administração da Fazenda Lameirão e conhecedor da vegetação local.

Posteriormente o material botânico (ramos, folhas, flores, frutos e sementes, além dos próprios troncos) das árvores abatidas, foram colhidos e enviados para a Professora Doutora em Botânica Maria das Graças Marinho, da Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal do Campus de Patos da UFCG, que por meio de comparações com ilustrações e descrições na literatura (BRAGA, 1976; MAIA, 2004), constataram que os exemplares pertenciam à espécie jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*, (Willd.) Poir.).

3.4 – Esquadrejamento das toras

Após a derrubada, os troncos das árvores foram transportados para o Laboratório de Tecnologia de Produtos Florestais (LTPF) da UFCG em Patos, e posteriormente encaminhados para a Serraria Dois Irmãos onde foram desdobrados em pranchões. Os pranchões foram secos em local coberto e ventilado no LTPF. Após secos, foram transportados para Campina Grande – PB, para serem desdobrados e climatizados para as condições locais.

Após a climatização, as peças foram esquadrejadas, sendo mantido um perfil quadrangular da sua seção transversal, com o intuito de facilitar a confecção dos corpos-de-prova (Figura 9).



Figura 9. Peças utilizadas para a confecção dos corpos-de-prova.

3.5 – Confecção dos corpos-de-prova

Após o esquadrejamento em perfis prismáticos, as peças foram transportadas para a Carpintaria do Curso de Engenharia Elétrica da UFCG, em Campina Grande – PB, para a confecção dos corpos-de-prova, necessários à realização dos ensaios físico-mecânicos (Figura 10).

Para a confecção dos corpos-de-prova foram empregados equipamentos desenvolvidos para o trabalho com madeira, como uma desempenadeira, desengrossadeira, serra manual esquadria e lixadeira circular.

Para a confecção dos corpos-de-prova foram seguidas as recomendações da NBR 7190 (ABNT, 1997).



Figura 10. Confecção dos corpos-de-prova utilizando uma serra manual esquadria.

3.6 – Transdutores de deslocamento linear (LVDTs)

Para a realização dos ensaios de compressão paralela às fibras, foram utilizados dois LVDTs, modelo PZ12, fabricados pela Gefran do Brasil (Figura 11), com alta resolução, substituindo os relógios comparadores sugeridos pela NBR 7190 (ABNT, 1997).

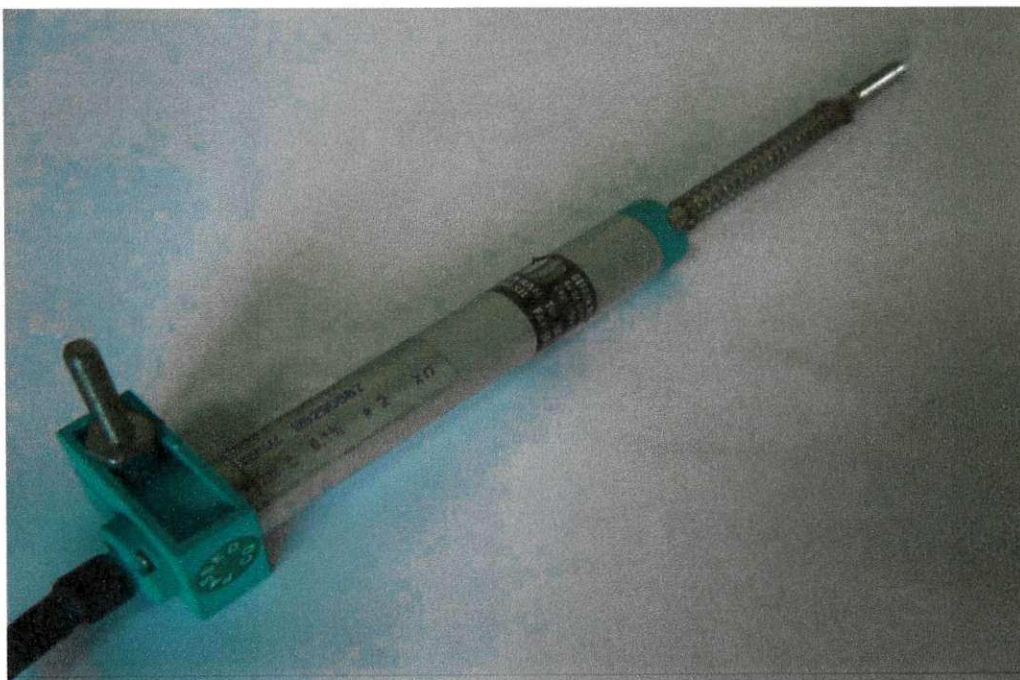


Figura 11. Transdutor de deslocamento linear (LVDT).

3.6.1 – Calibragem dos LVDT's

Os transdutores de deslocamento linear, também conhecidos como LVDT, foram devidamente calibrados no Laboratório Metrológico de Calibração (LMC), certificado pelo Instituto Nacional de Metrologia (INMETRO), no Centro Modelo de Formação Profissional "Prof. Stênio Lopes", do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), na cidade de Campina Grande-PB.

Em função do LMC ainda não ter executado anteriormente um procedimento de calibragem semelhante em LVDTs, o procedimento adotado para a aferição foi o mesmo utilizado para aferir relógios comparadores mecânicos ou digitais.

O equipamento utilizado para o procedimento de calibragem foi um "I-Checker", Serie 170, fabricado pela "Mitutoyo Corporation", capaz de aferir o LVDT com uma precisão de $0,02 \mu\text{m}$ (Figura 12).

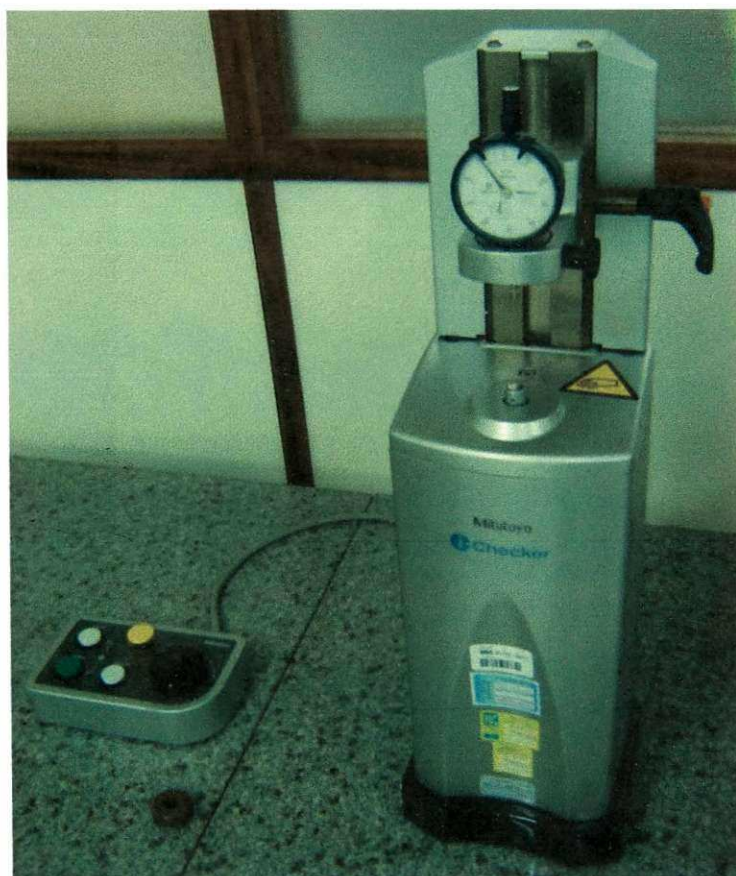


Figura 12. Equipamento utilizado para calibrar os transdutores de deslocamento linear

O procedimento de calibragem dos LVDTs consistia basicamente no deslocamento de uma medida preestabelecida, no "I-checker", de 20 mm, com a definição dos pontos inicial e final no "software" de controle do sistema de aquisição de dados. Além dos pontos inicial e final, foram definidos mais 8 pontos de calibragem, totalizando 10 pontos, com intervalos de 2 mm entre cada ponto.

Após o procedimento de calibragem, foi salvo um arquivo contendo as coordenadas de calibragem utilizadas no "software" de controle do sistema de aquisição de dados, com os dados de identificação do LVDT utilizado, que neste caso foi o número de série do LVDT.

3.7 – Sistema de aquisição de dados

O sistema de aquisição de dados utilizado nos ensaios de compressão paralela às fibras foi o "Spider8", fabricado pela "Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH (HBM)" (Figura 13).

O "software" utilizado para o controle do sistema de aquisição de dados foi o "CATMAN", Versão 4.5, fabricado pela "Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH (HBM)".

O Computador utilizado para a execução do "software" de controle do sistema de aquisição de dados foi um "Travelmate tx520", fabricado pela Acer.



Figura 13. Sistema de aquisição de dados "Spider8" da Hottinger Baldwin Messtechnik (HBM).

3.7.1 – Conexão dos LVDTs e do computador ao sistema de aquisição de dados

Para realizar a conexão dos LVDT ao sistema de aquisição de dados foi utilizado um cabo tipo manga singelo, composto por 4 fios de 26 AWG ("American wire gauge"), fabricado pela IFE – Cabos Especiais. A cabeaçoão foi feita seguindo o esquema de pinagem apresentado no manual do sistema de aquisição de dados, para a conexão de transdutores de deslocamento linear.

Cada LVDT foi conectado a uma das portas de comunicação disponíveis no sistema de aquisição de dados, apresentados no manual do equipamento.

Para realizar a conexão do computador, executando o programa de controle do sistema de aquisição de dados, foi utilizado um cabo paralelo padrão. A cabeaçoão foi feita seguindo o esquema de pinagem apresentado no manual do sistema de aquisição de dados, para conexão de um computador.

3.8 – Caracterização físico-mecânica da madeira

Foi feita uma caracterização simplificada da madeira de jurema-preta, de acordo com os métodos de ensaio especificados no Anexo B da NBR 7190 (ABNT 1997).

Com base em ensaios laboratoriais, devem ser realizadas as determinações, a 12% de teor de umidade, da resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0}) e da densidade aparente (ρ_{ap}).

A determinação da resistência à compressão normal às fibras (f_{c90}), foi obtida pelas estimativas previstas na NBR 7190 (ABNT, 1997), para caracterizaçoões simplificadas.

A caracterização da rigidez da madeira foi obtida pela determinação do valor médio do módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras

($E_{c0,m}$), e do valor médio do módulo de elasticidade à compressão normal às fibras ($E_{c90,m}$), na condição de teor de umidade de 12%.

Todos os ensaios físico-mecânicos foram realizados empregando corpos-de-prova livres de defeitos, com o objetivo de obter dados experimentais que permitissem a caracterização da madeira de jurema-preta, de acordo com as determinações apresentadas na NBR 7190 (ABNT, 1997).

Foram extraídas assim, as amostras para confecção dos corpos-de-prova de um lote constituído de 16 peças transversais de diferentes dimensões.

A NBR 7190 (ABNT, 1997) sugere a utilização da Equação 2 para o cálculo da estimativa dos valores probabilísticos característicos da resistência da madeira.

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

em que:

f_{c0k} = Valor característico de resistência; e

f_n = Resistência obtida em cada corpo-de-prova, a um teor de umidade de 12%.

Os valores especificados, de acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997), para as propriedades de resistência e de rigidez da madeira de jurema-preta, são correspondentes à classe 1 de umidade, que se constitui na condição padrão de referência, definida pelo teor de umidade de equilíbrio da madeira a 12% de umidade.

Na caracterização das propriedades de resistência e de rigidez dos lotes de material, os resultados dos ensaios realizados com diferentes teores de umidade da madeira, contidos num intervalo entre 10 a 20%,

devem ser apresentados com os valores corrigidos para a umidade padrão de 12%, classe 1 (NBR 7190 da ABNT, 1997).

A Equação 3 foi utilizada para a correção da resistência para a umidade padrão de 12%, enquanto a Equação 4 foi utilizada para a correção da rigidez.

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

$$E_{12} = E_{U\%} \left[1 + \frac{2 \times (U\% - 12)}{100} \right] \quad (4)$$

em que:

f_{12} = Resistência da madeira corrigida para a umidade de 12%;

$f_{U\%}$ = Resistência da madeira no teor de umidade do lote;

$U\%$ = Teor de umidade do lote;

E_{12} = Rigidez da madeira corrigida para a umidade de 12%; e

$E_{U\%}$ = Rigidez da madeira no teor de umidade do lote.

3.8.1 – Teor de umidade da madeira

O teor de umidade da madeira, com base seca, corresponde à relação entre a massa da água nela contida e a massa da madeira seca está representada na Equação 5.

$$U\% = \frac{m_i - m_s}{m_s} \times 100 \quad (5)$$

em que:

$U\%$ = Teor de umidade da madeira em %;

m_i = Massa inicial da madeira, em gramas; e

m_s = Massa seca da madeira, em gramas.

Foram extraídos 15 corpos-de-prova, confeccionados com isenção de defeitos e sem “queima” nas suas faces.

Os corpos-de-prova apresentaram a forma prismática com seção transversal retangular, com dimensões nominais de 2,0 cm x 3,0 cm e comprimento, ao longo das fibras, de 5,0 cm (Figura 14a e 14b).

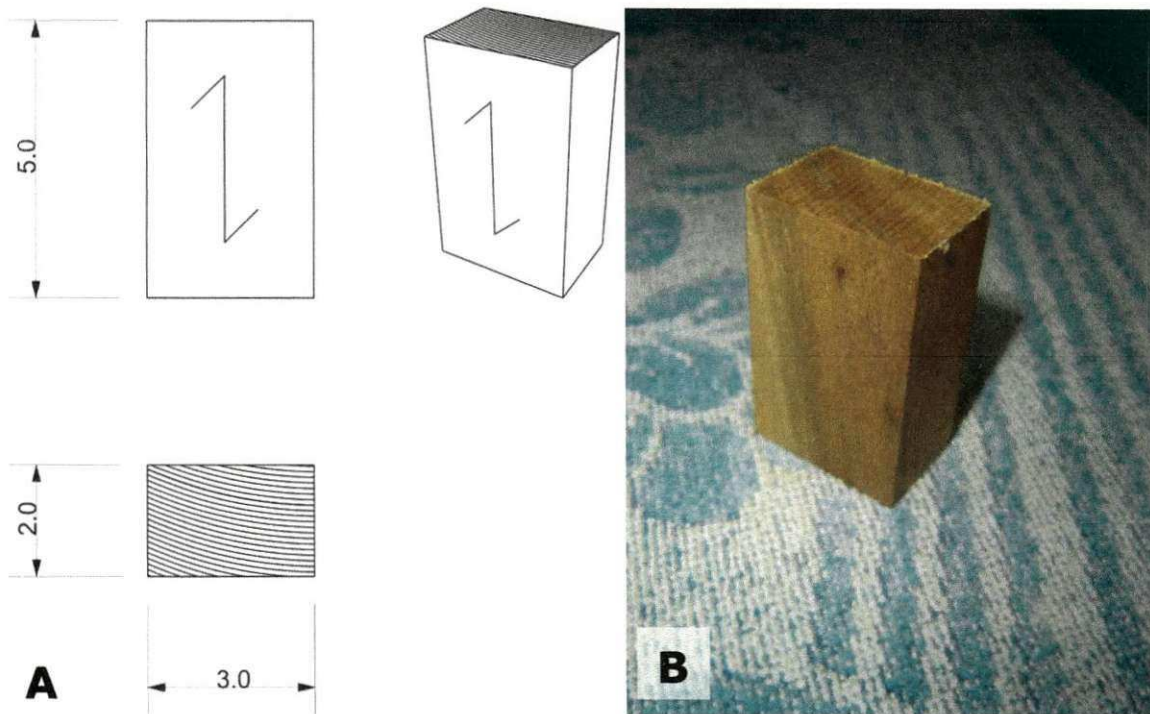


Figura 14. Medidas do corpo-de-prova para determinação das propriedades físicas da madeira (a) e corpo-de-prova para determinação da umidade da madeira (b).

Os ensaios de obtenção dos teores de umidade da madeira de jurema-preta foram realizados no LTPF na UFCG no Campus de Patos, de acordo com os procedimentos descritos na NBR 7190 (ABNT, 1997).

Os corpos-de-prova foram enumerados e pesados em balança digital com precisão de 0,01g, a fim de determinar a sua massa inicial (m_i). Uma vez obtida a massa inicial, os corpos de prova foram colocados numa estufa com temperatura ajustada para $103 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$, até adquirir massa constante.

Durante o processo de secagem a massa dos corpos-de-prova foram medidos a cada 6 horas até que ocorresse uma variação, entre duas medidas consecutivas, menor ou igual a 0,5% da última massa

medida, definindo assim a massa seca (m_s). Obtida a massa seca (m_s) dos corpos-de-prova, aplicou-se a Equação 5 para obtenção do teor de umidade.

3.8.2 – Densidade da madeira

A densidade básica da madeira foi obtida pelo emprego da Equação 6 e a densidade aparente foi obtida pelo emprego da Equação 7.

$$\rho_{bas} = \frac{m_s}{V_{sat}} \quad (6)$$

em que:

ρ_{bas} = Densidade básica da madeira, em Kg/m³;

m_s = Massa seca da madeira, em Kg; e

V_{sat} = Volume da madeira saturada, em m³.

$$\rho_{12} = \frac{m_{12}}{V_{12}} \quad (7)$$

em que:

ρ_{12} = Densidade básica da madeira a 12% de umidade, em Kg/m³;

$M_{U\%}$ = Massa da madeira a 12% de umidade, em Kg;

$V_{U\%}$ = Volume da madeira a 12% de umidade, em m³.

Foram extraídos 30 corpos-de-prova, confeccionados isentos de defeitos, de acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997).

Os corpos-de-prova apresentam a forma prismática com seção transversal retangular, com dimensões nominais de 2,0 cm x 3,0 cm e comprimento, ao longo das fibras, de 5,0 cm (Figura 14a e 14b).

Os ensaios de obtenção dos valores referentes à densidade básica e densidade aparente da madeira de jurema-preta, foram realizados no

LTPF na UFCG no Campus de Patos, de acordo com os procedimentos descritos na NBR 7190 (ABNT, 1997).

O volume saturado da madeira (V_{sat}) foi determinado após a imersão dos corpos-de-prova em água até que atingissem massa constante ou com no máximo 0,5% de variação em relação à medida anterior, e em seguida registrada as medidas, em diversos pontos, dos lados da seção transversal e do comprimento.

Para o cálculo da densidade básica da madeira, foram enumerados 12 corpos-de-prova e colocados numa estufa, como descrito no item 3.8.1, para o cálculo da massa seca da madeira (m_s). Para o cálculo dos valores referentes à densidade básica da madeira, empregou-se a Equação 6.

Para o cálculo da densidade aparente da madeira, foram enumerados 18 corpos-de-prova e postos em ambiente climatizado ($25 \pm 2^\circ\text{C}$ e $65 \pm 5\%$ de Umidade) até atingirem massa constante. Visto, nestas condições, a madeira atinge 12% de umidade de equilíbrio e os corpos-de-prova tiveram suas dimensões e massa determinadas e posteriormente foram postos em estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ até atingirem massa constante, para confirmar a umidade de equilíbrio da madeira. Em seguida empregou-se a Equação 7.

3.8.3 – Compressão Paralela às Fibras

Foram extraídos 15 corpos-de-prova, isentos de defeitos. Os corpos-de-prova apresentam a forma prismática com seção transversal quadrada de 5 x 5 cm e comprimento de 15 cm, ao longo das fibras (Figura 15a e 15b).

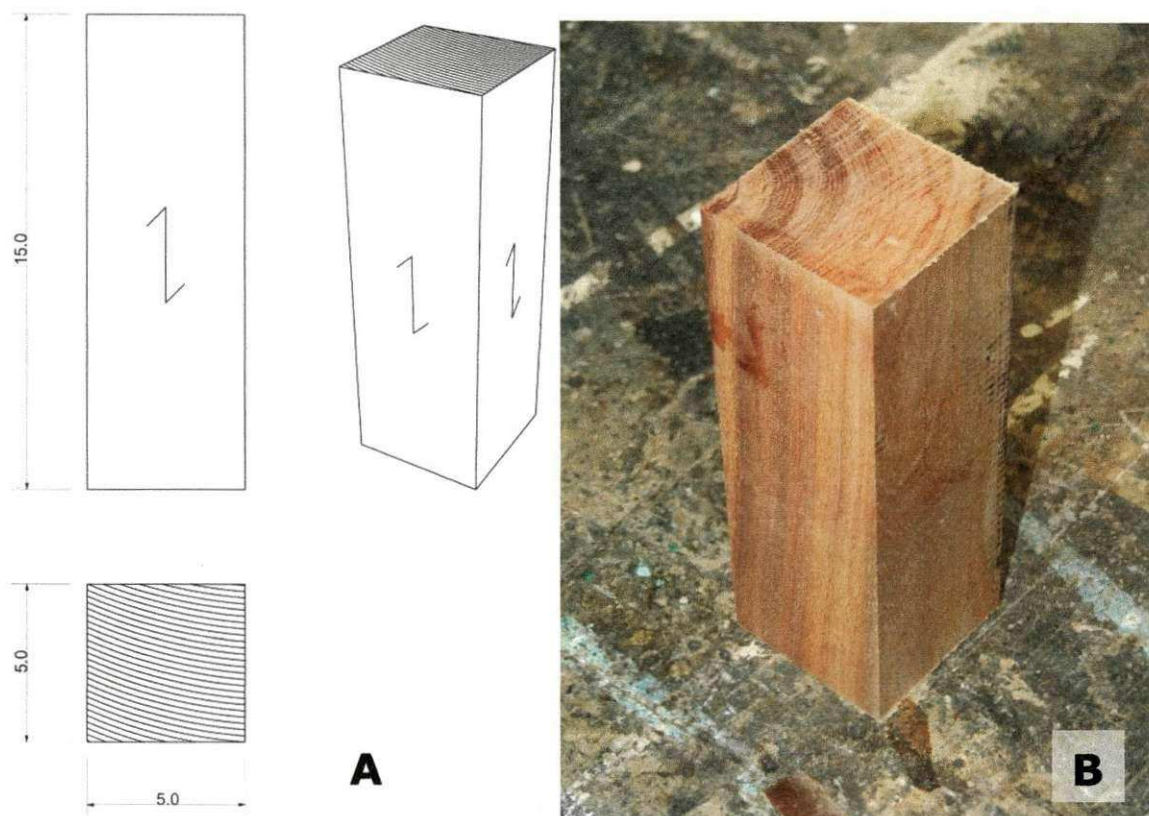


Figura 15. Medidas do corpo-de-prova para compressão paralela às fibras da madeira (em cm) (a) e corpo-de-prova para compressão paralela às fibras da madeira (b).

A resistência à compressão paralela às fibras da madeira (f_{c0}) foi obtida pela máxima tensão de compressão que pode atuar em um corpo-de-prova com seção transversal quadrada de 5,0 cm de lado e 15 cm de comprimento, representada na Equação 8.

$$f_{c0} = \frac{F_{c0,max}}{A} \quad (8)$$

em que:

f_{c0} = Resistência à compressão paralela às fibras, em Mega Pascal (MPa);

$F_{c0,max}$ = Máxima força de compressão aplicada ao corpo-de-prova durante o ensaio, em Newton (N); e

A = Área inicial da seção transversal comprimida do corpo-de-prova, em metro quadrado (m^2).

O valor característico da resistência à compressão paralela às fibras ($f_{c0,k}$) foi determinado pela Equação 2. A rigidez da madeira na direção paralela às fibras foi determinada por seu módulo de elasticidade, obtido do trecho linear do diagrama tensão x deformação específica, expresso em MPa.

O módulo de elasticidade foi determinado pela inclinação da reta secante à curva tensão x deformação, definida pelos pontos ($\sigma_{10\%}; \varepsilon_{10\%}$) e ($\sigma_{50\%}; \varepsilon_{50\%}$), respectivamente correspondentes a 10 e 50% da resistência à compressão paralela às fibras, medidas durante a execução do ensaio, e expressa na Equação 9.

$$E_{c0} = \frac{\sigma_{50\%} - \sigma_{10\%}}{\varepsilon_{50\%} - \varepsilon_{10\%}} \quad (9)$$

em que:

$\sigma_{n\%}$ = Tensões de compressão correspondentes a 10% e 50% da resistência f_{c0} ; e

$\varepsilon_{n\%}$ = Deformações específicas medidas no corpo-de-prova, correspondentes às tensões de $\sigma_{n\%}$.

Para se determinar as propriedades de resistência da madeira de jurema-preta, foram medidos os lados dos corpos-de-prova com um paquímetro digital de precisão 0,01 mm.

Foi realizado um ensaio destrutivo com um corpo-de-prova do lote, a partir de um carregamento monotônico crescente à taxa de 10 MPa por minuto, visando estimar o valor da resistência da madeira ($f_{c0,est}$).

Depois de estimado o valor da resistência da madeira, foram fixados dois LVDTs, em faces opostas dos corpos-de-prova, por meio de duas cantoneiras metálicas afixadas no corpo-de-prova por intermédio de dois parafusos de 1,5 x 10 mm, com uma distância nominal, entre as cantoneiras na linha de pregação, de 10 cm (Figura 16).

Os corpos-de-prova foram ajustados entre os pratos de uma máquina de ensaio da marca "Losenhausen" com capacidade máxima de 40 toneladas, sobre uma rótula e entre um espaçador metálico (Figura 16).

Constatou-se a necessidade da utilização de um espaçador de aço maciço entre os corpos-de-prova e os pratos da prensa, em função de algumas características dos LVDTs, que apresentavam uma fiação proeminente, que impedia o corpo-de-prova de ser posicionado na prensa (Figura 16).

Os LVDTs foram conectados ao sistema de aquisição de dados, juntamente com o computador contendo o "software" de controle. O "datalogger" foi executado juntamente com os dados de calibragem dos dois LVDTs usados no ensaio. Foi acionado o sistema de coleta de dados no "datalogger" com uma amostragem de recebimento de cinco leituras por segundo.

O carregamento foi realizado de forma monotônica crescente a uma taxa de 10 MPa por minuto com dois ciclos de carga e descarga, de acordo com diagrama apresentado na Figura 17, em que foram realizadas leituras nos pontos assinalados de 1 a 15.

Não foi necessária a leitura das deformações registradas, uma vez que estas foram registradas em tempo real pelo "datalogger". Coube ao observador apenas registrar o momento, decorrido do início do ensaio, em que o operador da prensa informava a passagem pelos pontos de carga e descarga com base nos valores estimados de 10, 20, 30, 40 e 50% da resistência máxima estimada ($f_{c0,est}$).

Os intervalos de 30 segundos entre cada carga e descarga foram controlados pelo operador da prensa, orientado por um cronômetro digital. Em seguida foi feito um cruzamento dos dados coletados pelo "datalogger" com as marcações de tempo, registrados anteriormente pelo observador, para poder realizar a leitura nos pontos pré-definidos.

Na Figura 16 podem-se observar os dois LVDTs posicionados nas laterais opostas do corpo-de-prova, um espaçador metálico posicionado acima do corpo de prova e a rótula posicionada na parte inferior do corpo-de-prova.



Figura 16. Corpo-de-prova alinhado entre os pratos da máquina de ensaios mecânicos.

No carregamento final, ao constatar que a carga estava a 70% do valor estimado ($f_{c0,est}$), o operador da máquina de ensaio informava a passagem por este ponto para poder se fazer o registro e em seguida se retirar os LVDTs do corpo-de-prova. Após a retirada dos LVDTs, elevava-se o carregamento até a ruptura do corpo-de-prova (Figura 18).

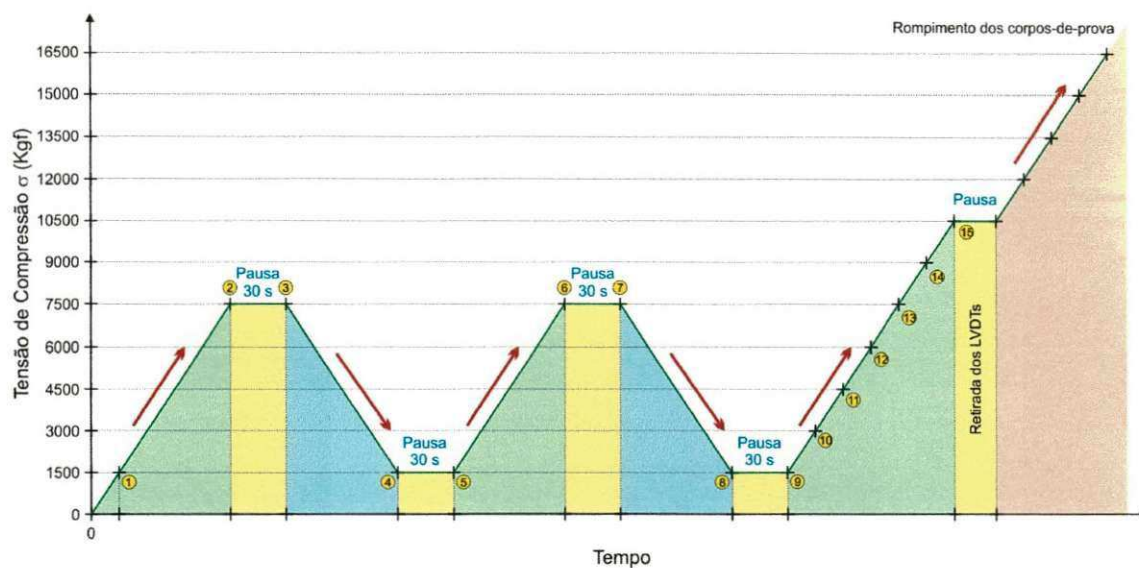


Figura 17. Diagrama de carregamento dos corpos-de-prova.



Figura 18. Corpo-de-prova após a ruptura.

Foram utilizados 12 corpos de prova para a obtenção dos dados referentes à compressão paralela às fibras da madeira.

A utilização de LVDTs conectados a um sistema de aquisição de dados proporcionou a capacidade de se executar um registro em tempo

real de todo o processo de carregamento ao longo do tempo em que o ensaio foi executado, como está exemplificado na Figura 19.

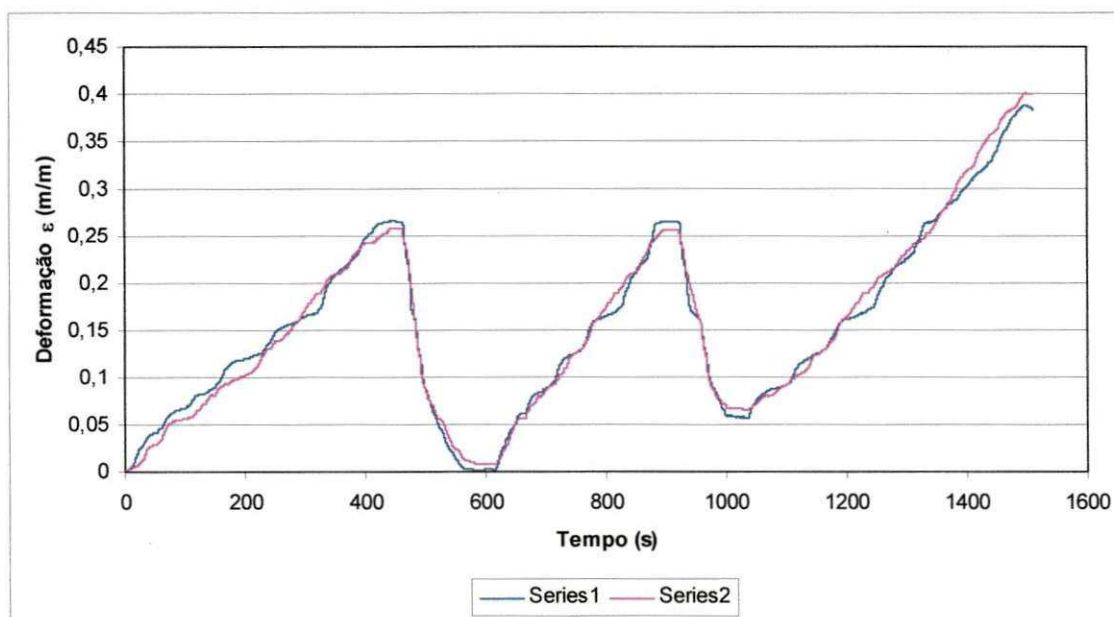


Figura 19. Gráfico de aquisição de dados dos transdutores de deslocamento linear (LVDTs) montados sobre o corpo-de-prova 6.

Os valores da resistência (σ) foram obtidos pelo emprego da Equação 10.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (10)$$

em que:

σ = Resistência definida pela força por área da seção transversal do corpo-de-prova, em MPa;

F = Força aplicada, em MPa; e

A = Área da seção transversal do corpo-de-prova, em cm^2 .

Os valores da resistência e rigidez obtidos no ensaio de compressão paralelas às fibras foram corrigidos para a umidade padrão de 12%, pelo emprego das Equações 3 e 4, respectivamente.

O valor característico da resistência da madeira à compressão paralela às fibras, foi obtido pelo emprego do estimador apresentado na Equação 2.

Como previsto na NBR 7190 (ABNT, 1997), a rigidez relativa a direção normal à fibras, foi estimada pelo emprego da Equação 1.

3.9 – Confeção de mobiliário doméstico

Neste trabalho, após a realização dos ensaios que possibilitaram a classificação da madeira de jurema-preta, procedeu-se a confecção de um protótipo de mobiliário fabricado a partir da madeira de jurema-preta. Este protótipo tem como objetivo apresentar a viabilidade prática da aplicação da madeira de jurema-preta na confecção de peças do mobiliário doméstico para comprovar os aspectos já apresentados anteriormente, das possibilidades do uso da madeira de jurema-preta na confecção destas peças em função das características de resistência e rigidez da madeira, obtidas durante os ensaios físico-mecânicos (Figura 20).

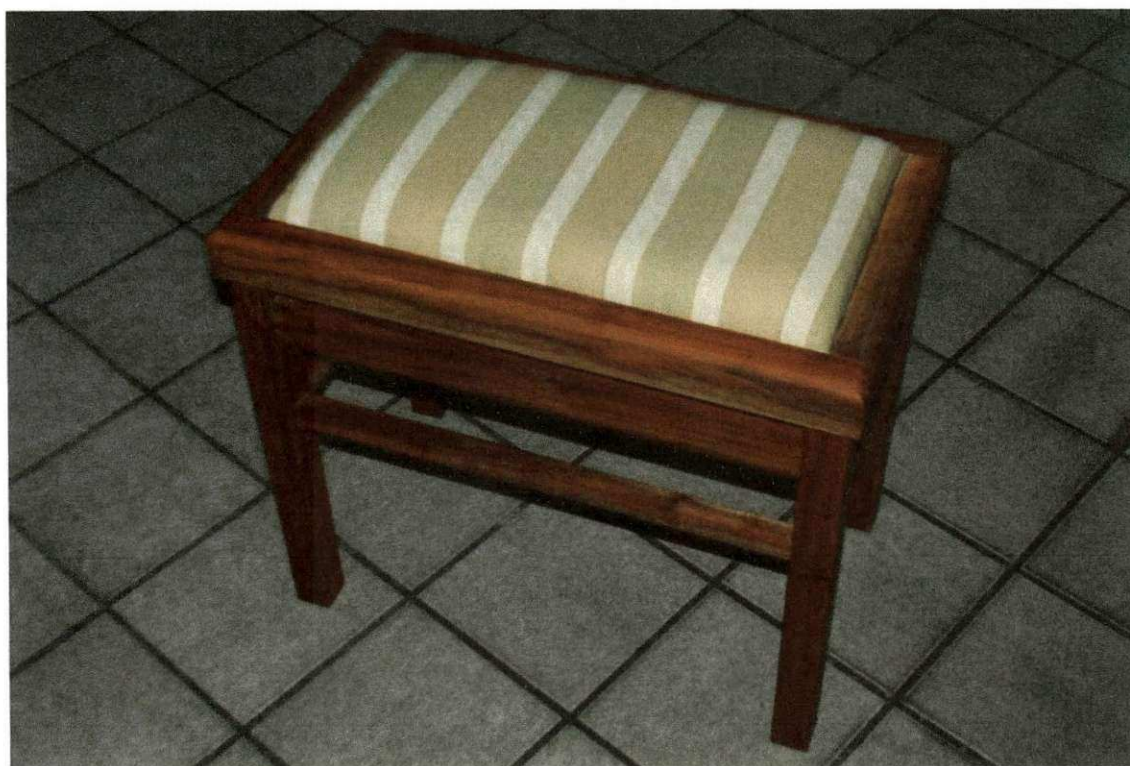


Figura 20. Protótipo de mobiliário doméstico confeccionado de madeira de jurema-preta.

O modelo de mobiliário escolhido para ser construído utilizando a madeira de jurema-preta, foi um típico assento de piano já existente no mercado, que por apresentar formas geométricas simples e peças estreitas e curtas, o enquadra com a disponibilidade da madeira a ser trabalhada.

A madeira disponível para a construção do mobiliário foi composta pela madeira rejeitada para a confecção dos corpos-de-prova utilizados nos ensaios físico-mecânicos, apresentando rachaduras, nós, e espessuras reduzidas (Figura 21).



Figura 21. Madeira apresentando defeitos que impossibilitaram o seu uso para confecção dos corpos-de-prova.

O assento foi confeccionado na carpintaria do curso de Engenharia Elétrica, utilizando os equipamentos normalmente disponíveis e utilizados na confecção de móveis de madeira na indústria moveleira.

Todas as partes do assento construído foram peças inteiras de madeira, unidas por encaixes, pregos e cola de acetato de polivinila (PVA).

O assento foi composto por uma peça central alcochoada, feita de uma peça de madeira compensada de 15 mm de espessura, uma peça de espuma de baixa densidade de 4 cm de espessura e revestimento de tecido de algodão colorido (Figura 22). Não foi aplicado qualquer tipo de proteção ou pintura à madeira do assento construído.

A ausência de um acabamento químico à madeira do mobiliário possibilitou a visualização natural das fibras que compõem a sua estrutura, assim como da cor da mesma, valorizando o produto por apresentar um aspecto considerado "agradável" e obtendo um baixo impacto ambiental pela ausência de substâncias químicas no processo de fabricação.

Por causa da alta densidade da madeira, o mobiliário apresentou um peso bastante elevado para uma estrutura tão pequena, o que na indústria moveleira é visto como sendo um indicativo de qualidade do produto, porém esta característica pode inviabilizar a sua aplicação na construção de móveis "portáteis".



Figura 22. Acolchoado revestido com algodão colorido.

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – Umidade da madeira

Os valores obtidos nos ensaios para cálculo do teor de umidade do lote de madeira de jurema-preta estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Teores de umidade dos corpos-de-prova da madeira de jurema-preta

Corpos-de-prova	Teor de Umidade (%)
1	11,32
2	11,36
3	11,31
4	10,66
5	11,25
6	10,11
7	10,65
8	10,56
9	10,47
10	11,30
11	11,27
12	11,19
13	10,89
14	11,56
15	11,46
Valor Médio	11,02
Desvio Padrão	0,43
CV (%)	3,93

O valor de umidade médio para o lote de madeira de jurema-preta ficou em $11,02 \pm 0,43\%$, com coeficiente de variação de 3,93%.

4.2 – Densidade da madeira

Os valores obtidos durante os ensaios para cálculo das densidades básica e aparente da madeira de jurema-preta, a partir do ensaio de 30 corpos-de-prova, sendo 12 para o cálculo da densidade básica, e 18 para o cálculo da densidade aparente, estão apresentados nas Tabelas 5 e 6, respectivamente.

Tabela 5. Densidade básica da madeira de jurema-preta

Corpo-de-prova	Massa Seca (g)	Volume Saturado (cm ³)	Densidade básica (g/cm ³)
2	31,70	32,94	0,96
10	31,82	32,99	0,96
13	29,90	33,88	0,88
15	28,97	33,67	0,86
17	30,89	33,44	0,92
19	32,47	33,12	0,98
21	32,39	33,31	0,97
23	31,70	32,99	0,96
24	30,50	33,57	0,91
26	30,74	33,83	0,91
27	31,85	33,39	0,95
28	32,13	33,26	0,97
Média	31,26	33,37	0,94
Desvio Padrão	-	-	0,04
CV %	-	-	4,18

Tabela 6. Densidade aparente da madeira de jurema-preta

Corpo-de-prova	Teor de Umidade (%)	Massa a 12,04% (g)	Dimensões dos corpos-de-prova (mm)			Volume a 12,04% (cm ³)	Densidade aparente (g/cm ³)
			Longitudinal	Radial	Tangencial		
1	12,17	34,47	51,59	30,65	20,29	32,08	1,07
3	12,08	32,94	51,20	30,69	20,67	32,48	1,01
4	11,88	32,77	49,99	29,91	19,85	29,68	1,10
5	12,48	35,79	51,09	30,87	20,73	32,69	1,09
6	12,01	34,23	50,79	30,89	20,99	32,93	1,04
7	11,81	34,47	51,01	30,76	20,73	32,53	1,06
8	11,88	34,85	50,59	30,89	20,97	32,77	1,06
9	11,83	33,83	51,25	30,69	20,69	32,54	1,04
11	11,74	33,80	51,84	30,73	20,71	32,99	1,02
12	12,46	35,47	51,34	31,05	20,57	32,79	1,08
14	12,57	36,01	51,01	31,01	20,78	32,87	1,10
16	11,96	35,01	51,25	30,79	20,46	32,29	1,08
18	11,67	31,67	50,83	30,91	20,35	31,97	0,99
20	11,83	34,41	50,71	30,91	20,98	32,89	1,05
22	12,50	35,73	51,09	30,47	20,21	31,46	1,14
25	11,80	32,69	50,77	30,76	20,54	32,08	1,02
29	12,81	36,27	50,69	30,62	20,43	31,71	1,14
30	11,29	32,43	50,90	30,51	20,69	32,13	1,01
Média	12,04	34,27	-	-	-	32,27	1,06
Desvio Padrão	0,39	-	-	-	-	-	0,04
CV %	3,20	-	-	-	-	-	4,07

O valor da densidade básica da madeira foi de $0,94 \pm 0,04 \text{ g/cm}^3$ ou $940 \pm 40 \text{ kg/m}^3$, com coeficiente de variação de 4,18%.

O valor da densidade aparente da madeira foi de $1,06 \pm 0,04 \text{ g/cm}^3$ ou $1.060 \pm 40 \text{ kg/m}^3$, com coeficiente de variação de 4,07%. O valor médio da umidade para o lote ensaiado foi de $12,04 \pm 0,39\%$, com coeficiente de variação de 3,2%.

4.3 – Compressão paralela às fibras e rigidez

Os valores obtidos, para cada corpo-de-prova, durante os ensaios de compressão paralela às fibras da madeira de jurema-preta, estão apresentados nos Anexos.

Os resultados com as devidas correções para a umidade padrão de 12%, dos valores obtidos durante os ensaios de compressão paralela às fibras da madeira, estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Resistência à compressão paralela às fibras (f_{co}) e rigidez na compressão paralela às fibras (E_{co}), da madeira de jurema-preta

Corpos-de-prova	Resistência (MPa)	Rigidez (MPa)
1	-	-
2	-	-
3	57,730	-
4	57,531	13074
5	57,820	13755
6	59,003	12112
7	56,876	14789
8	12,383	-
9	-	-
10	58,887	15843
11	58,639	13940
12	58,757	12727
13	58,996	12134
14	12,425	-
15	12,256	-

Os corpos-de-prova 8, 14 e 15, auxiliaram nos ajustes necessários dos equipamentos do laboratório, portanto os valores obtidos nestes ensaios foram descartados e não fizeram parte dos cálculos finais.

O corpo-de-prova 3 foi selecionado para a realização do ensaio destrutivo, utilizado para a definição do valor estimado da resistência da madeira ($f_{c0,est}$).

Os corpos-de-prova 1, 2 e 9, foram reprovados após inspeção visual que constatou defeitos na sua estrutura, que de acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997), não poderiam ser utilizados para a obtenção de um valor confiável.

O valor característico da resistência à compressão paralela às fibras foi calculado com base nos valores obtidos nos ensaios dos corpos-de-prova 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12 e 13, resultando no valor de $f_{c0k} = 59,143$ MPa.

Como foi proposto nos objetivos deste trabalho, a caracterização da madeira visava fornecer um parâmetro científico de comparação entre a resistência e rigidez da madeira de jurema-preta e a de outras madeiras já conhecidas e estudadas na região. Assim, na Tabela 8, estão apresentados os valores médios e característicos obtidos durante os ensaios de compressão paralela às fibras da madeira de jurema-preta.

Tabela 8. Valor característico da resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0k}); valor médio do módulo de elasticidade da compressão paralela às fibras ($E_{c0,m}$), a 12% de umidade

Resistência (MPa)	Rigidez (MPa)
59,143	13.257

Na Tabela 9 estão apresentados os valores sobre as características de resistência, rigidez e densidade aparente de jurema-preta, comparados aos de resistência e rigidez das espécies roxinho (*Peltogyne* sp.), maçaranduba (*Nanilkara huberi* Ducke Standl.), ipê (*Tabebuia serratifolia* Vanl. Nicholson), (AZEVEDO, 1999) e algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw

D.C.), (GOMES, 1999), bem como as suas respectivas classificações de dureza.

Tabela 9. Classificação, valor característico da resistência à compressão paralela às fibras (f_{cok}), valor médio do módulo de elasticidade da compressão paralela às fibras ($E_{c0,m}$) e densidade aparente (ρ_{ap}) das espécies jurema-preta; roxinho; maçaranduba; ipê e algaroba.

Espécies	Classes de resistência	f_{cok} (MPa)	$E_{c0,m}$ (MPa)	ρ_{ap} (kg/m³)
Jurema-preta	C 40	59,1	13.257	1.060
Roxinho	C 60	61,2	20.097	852
Maçaranduba	C 60	58,4	20.790	1.008
Ipê	C 60	76,0	18.011	1.068
Algaroba	C 60	92,9	22.210	1.068

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997); AZEVEDO (1999); GOMES (1999).

Como pode ser observado na Tabela 9, a madeira de jurema-preta se enquadra na classificação de resistência de C 40, com o valor característico da resistência à compressão paralela às fibras (f_{cok}) de 59,1 MPa, valor médio do módulo de elasticidade da compressão paralela às fibras ($E_{c0,m}$) de 13.257 MPa, e a densidade aparente (ρ_{ap}) de 1060 kg/m³, conforme apresentado no item 2.3.

Também se observa na Tabela 9 que ao comparar os valores obtidos nos ensaios da jurema-preta, que as características desta madeira se aproximam dos valores de outras madeiras conhecidas. A maçaranduba apresentou um valor de resistência inferior ao da jurema-preta, enquanto o roxinho apresentou uma pequena elevação em relação a este valor em referência ao mínimo exigido pela NBR 7190 (ABNT, 1997).

Ao observarem os dados da Tabela 9, pode-se constatar que o módulo de elasticidade da jurema-preta, que determina a rigidez da madeira, apresentou um valor bem inferior ao das outras espécies apresentadas. Este aspecto de baixa rigidez e alta resistência qualifica a madeira de jurema-preta como sendo ideal para a confecção de móveis, pois a resistência proporciona a segurança necessária à estrutura mobiliária

de suportar cargas, enquanto a baixa rigidez proporciona um melhor acabamento de sua superfície.

Ainda na Tabela 9 é possível observar que a densidade aparente da madeira de jurema-preta é tão elevada quanto da madeira de ipê e de algaroba, ambas as mais altas deste comparativo, e mais elevada que a densidade da madeira de roxinho e de maçaranduba.

Apesar da NBR 7190 (ABNT, 1997) determinar as condições para a classificação da madeira, em Azevedo (1999), foi considerado que a maçaranduba (*Nanilkara huberi* Ducke Standl) se enquadraria na classe de resistência C 60, embora os valores obtidos nos ensaios de compressão paralela apresentassem um valor característico inferior ao expresso na Tabela 3.

Caso sejam considerados as condições da NBR 7190 (ABNT, 1997) para a classificação da madeira, a madeira de jurema-preta se enquadraria na classe de resistência C 40, em função do seu valor característico de resistência ser inferior e diferente ao expresso na Tabela 3, mesmo esta diferença sendo de menos de 1 MPa, porém se considerar o método de avaliação utilizado por AZEVEDO (1999), a madeira de jurema-preta seria classificada como sendo uma C 60, o que ampliaria bastante as possibilidades de aplicações do seu uso comercial.

Como foi visto no item 2.7 e como também é apresentada na NBR 7190 (ABNT, 1997), a utilização de estruturas compostas como uma forma de ampliar as possibilidades do uso de uma madeira se aplica perfeitamente à madeira de jurema-preta, tendo em vista seu tronco curto e tortuoso.

A utilização da madeira laminada colada possibilitaria a confecção de peças mais extensas, tornando assim sua aplicação estrutural viável, a qual é limitada na sua forma natural em função das dimensões da planta, mas constatado à alta resistência que classificaram a madeira como sendo

C 40, poderia ser uma interessante alternativa econômica para a sua aplicação comercial.

A possibilidade de se utilizar a madeira de jurema-preta em estruturas aumenta consideravelmente o seu potencial econômico, uma vez que a área da construção civil está sempre em busca de opções economicamente mais interessantes, sem sacrificar a qualidade e a segurança das estruturas.

4.4 – Mobiliário doméstico

A utilização da madeira de uma planta abundante na Caatinga, como a jurema-preta, sem muito apelo comercial, que concentrava o seu uso principalmente na confecção de carvão vegetal com conseqüentes impactos ambientais, no que se refere à poluição, para a construção de móveis, possibilita a chance de se impulsionar o comércio da região, que sofre com a seca, falta de atenção dos governantes e que apresenta elevados índices de pobreza.

A construção de uma peça de mobiliário doméstico a partir da madeira de jurema-preta agrega valor e apresenta impactos positivos em todo o meio, tanto na sociedade, uma vez que surge uma nova fonte de renda e uma melhora na qualidade de vida das pessoas, como no ambiente, que não será agredido pela queima da madeira como fonte de energia.

Uma peça de mobiliário doméstico feita de madeira pode durar décadas, servindo para o seu propósito a diferentes gerações de uma mesma família e até de outras, enquanto a mesma madeira serviria para aquecer um fogão à lenha por algumas horas apenas. Desta forma ainda é possível promover o seqüestro do carbono, uma vez que a madeira não será queimada e assim não terá o seu carbono liberado para a atmosfera.

5 – CONCLUSÕES

Com os dados obtidos nos ensaios laboratoriais foi possível realizar a caracterização simplificada da madeira de jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir.), seguindo as recomendações Associação Brasileira de Normas Técnicas, e enquadrar esta madeira na classe C 40 de resistência.

A madeira de jurema-preta apresentou resistência equivalente a de outras madeiras comumente usadas na região, demonstrando assim um potencial de mercado do uso desta madeira na indústria local.

A possibilidade do uso da madeira de jurema-preta na indústria da região também apresenta aspectos ambientais positivos, uma vez que a sua madeira é comumente utilizada como fonte de energia (lenha e carvão vegetal).

Com base na classificação da resistência mecânica da madeira, a madeira apresentou possibilidade de emprego em estruturas e na confecção de móveis domésticos, agregando valor ao uso da madeira além de poder representar benefícios à sociedade, uma vez que a madeira passa a apresentar um maior potencial comercial.

6 - SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A caracterização completa da madeira de jurema-preta, para ser possível uma definição mais precisa de todas as aplicações possíveis de sua madeira.

A realização de estudos da madeira de jurema-preta na forma de madeira laminada colada (MLC), e subsequente caracterização, de forma a tornar possível a sua aplicação em estruturas de grande porte além de visar um melhor aproveitamento do material disponível.

Estudos da madeira de jurema-preta na forma de compósitos de madeira-plástico, visando eliminar desperdício do processo industrial que se utilize da sua madeira, além de auxiliar na reciclagem de materiais plásticos que poluem o ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7190:** Projeto de estruturas de madeira. Anexo B – Determinação das propriedades das madeiras para projeto de estruturas. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. 107p.

AZEVEDO, M. A. **Estrutura de madeira para cobertura de aviários no Estado da Paraíba.** 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1999.

BAIRRÃO, J. F. M. H. Raízes da jurema. **Psicologia USP**, São Paulo, v.14, n.1, p. 157-184, 2003.

BRAGA, R. **Plantas do nordeste, especialmente do Ceará.** 3ed. Mossoró: ESAM 1976, p.21.

BRASIL, Ministério da Agricultura. **Levantamento exploratório:** reconhecimento de solos do Estado da Paraíba. Rio de Janeiro, 1972.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira.** São Paulo: Nobel, 1991. 154p.

ESAU, K. **Anatomia das plantas com sementes.** São Paulo: Edgard Blücher, 1976. 293p.

FARIA, W. L. F. **A jurema preta (*Mimosa hostilis* Benth) como fonte energética do Semi-árido do Nordeste-Carvão.** 113f. 1984. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1984.

PEREIRA FILHO, J. M. P. et al. Efeito do tratamento com hidróxido de sódio sobre a fração fibrosa, digestibilidade e tanino do feno de jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*. Wild). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.1, p. 70-76, 2003.

FUSCO, P. B., Os caminhos da evolução da engenharia das madeiras. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA. São Carlos, 1989. **Anais**, v.6, 12p.

GALVÃO, A. P. M.; JANKOWSKY, I. P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 1985. 112p.

GOMES, J. J., **Características tecnológicas da Algorobeira – *Prosopis juliflora* (Sw) DC**. 118f. 1999. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1999.

LIBONATI, P. A. O., **Sistema de aquisição de dados para laboratórios**. 66f. 2002. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2002.

LIMA, C. R.; PAES, J. B.; COSTA SILVA, F. A. **Estimativas de umidade de equilíbrio para algumas localidades/regiões do Estado da Paraíba**. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, Belo Horizonte, 1995. 5. v.2, p. 107-112.

MAIA, G. N., **Caatinga: árvores e arbustos e suas utilidades**. São Paulo: D&Z Computação Gráfica e Editora, 2004. 413p.

MELLO, M. G. **A Alternativa biomassa: a solução brasileira**. Belo Horizonte, Florestal Acesita, 1979. 36p.

MILAGRES, E. G.; VITAL B. R.; DELLA LUCIA, R. M.; PIMENTA A. S. Compósitos de partículas de madeira de *Eucalyptus grandis*, polipropileno e polietileno de alta e baixa densidade. **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, n.3, p.463-470, 2006.

MOREIRA, W. S. **Relações entre propriedades físico-mecânicas e características anatômicas e químicas da madeira**. 107f. 1999. Dissertação (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

OLIVEIRA, A. K. F. **Caracterização físico-mecânica de laminado colado de bambu (*Dendrocalamus giganteus*) para revestimento de pisos.** 76f. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2005.

OLIVEIRA, E. Características anatômicas, químicas e térmicas da madeira de três espécies de maior ocorrência no semi-árido nordestino. 122f. 2003. Dissertação (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

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

PAES, J. B.; DINIZ, C. E. F.; MARINHO, I. V.; LIMA, C. R. Avaliação do potencial tanífero de seis espécies florestais de ocorrência no semi-árido brasileiro. **Cerne**, Lavras, v.12, n.3, p. 232-238, 2006a.

PAES, J. B.; MARINHO, I. V.; LIMA, R. A.; LIMA, C. R.; AZEVEDO, T. R. B. Viabilidade técnica dos taninos de quatro espécies florestais de ocorrência no semi-árido brasileiro no curtimento de peles. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.16, n.4, p.453-462, 2006b.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology.** 4.ed. New York: McGraw-Hill, 1980. 722p.

PAULA, J. E. Espécies nativas com perspectivas energéticas. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, Campos do Jordão, 1982. **Anais** do congresso nacional sobre essências nativas. São Paulo, Instituto Florestal, 1982. p.1259-315.

REZENDE, M. A.; ESCOBEDO J. F.; FERRAZ E. S. B. Retratibilidade volumétrica e densidade aparente da madeira em função da umidade. **IPEF**, n.39, p. 33-40, 1988.

ROJAS, J. S. D. Avaliação do uso do fluxo de seiva e da variação do diâmetro do caule e de ramos na determinação das condições hídricas de citros como base para o manejo de irrigação. 110f. 2003. Dissertação (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

SILVA, H.D. da; PIRES, I.E.; RIBASKI, J.; DRUMOND, M.A.; LIMA, P.C.F.; SOUZA, S.M.; FERREIRA, C.A. **Comportamento de essências florestais nas regiões árida e semi-árida do nordeste**. Brasília: 1980. 25p. Embrapa.

SKAAR, C. **Water in wood**. Syracuse: Syracuse University Press, 1972. 218p.

THIBAU, C. E. **Produção sustentada em florestas: conceitos metodológicos**. In: PENEDO W. R. Produção e utilização de carvão vegetal. Belo Horizonte: CETEC, 1982. p. 9-57.

TIGRE, C. B. **Silvicultura para matas xerófilas**. Fortaleza: DNOCS, 1970. 180p.

YAMAJI, F. M.; BONDUELLE, A. Utilização da serragem na produção de compositos plástico-madeira. **Floresta**, Curitiba, v.34, n.1, p.59-66, 2004.

ANEXOS

Valores obtidos nos ensaios realizados na madeira de jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*, (Willd.) Poir.).

Tabela 1A. Valores obtidos durante o ensaio de compressão paralela às fibras do corpo-de-prova 4.

	Carga Estimada $f_{c0,est}\%$	Carga (Kgf)	Deformação Específica ϵ			Tensão σ (MPa)
			Medidor 1	Medidor 2	Média (m)	
1º Ciclo	10%	1500	0,04729	0,05043	0,00049	5,870
	50%	7500	0,25802	0,23188	0,00245	29,352
	50%	7500	0,25802	0,23291	0,00245	29,352
	10%	1500	0,05757	0,05558	0,00057	5,870
2º Ciclo	10%	1500	0,05757	0,05558	0,00057	5,870
	50%	7500	0,26007	0,22981	0,00245	29,352
	50%	7500	0,26110	0,22981	0,00245	29,352
	10%	1500	0,05859	0,05558	0,00057	5,870
Ciclo Final	10%	1500	0,05859	0,05558	0,00057	5,870
	20%	3000	0,09149	0,09572	0,00094	11,741
	30%	4500	0,14597	0,13792	0,00142	17,611
	40%	6000	0,18606	0,16571	0,00176	23,482
	50%	7500	0,25185	0,22154	0,00237	29,352
	60%	9000	0,30428	0,24843	0,00276	35,223
	70%	10500	0,36698	0,28980	0,00328	41,093
Ruptura		14700	-	-	-	57,531

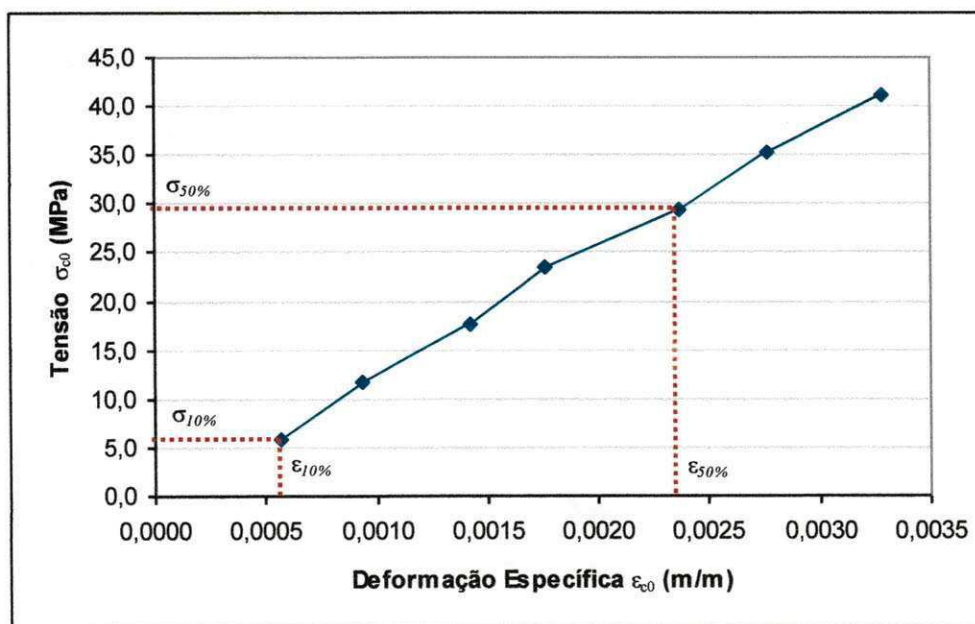


Figura 1A. Gráfico de tensão x deformação do corpo-de-prova 4.

Tabela 2A. Valores obtidos durante o ensaio de compressão paralela às fibras do corpo-de-prova 5.

	Carga Estimada $f_{c0,est\%}$	Carga (Kgf)	Deformação Específica ϵ			Tensão σ (MPa)
			Medidor 1	Medidor 2	Média (m)	
1º Ciclo	10%	1500	0,05140	0,03930	0,00045	5,940
	50%	7500	0,23540	0,23686	0,00236	29,702
	50%	7500	0,23643	0,23686	0,00237	29,702
	10%	1500	0,06065	0,05275	0,00057	5,940
2º Ciclo	10%	1500	0,08326	0,07861	0,00081	5,940
	50%	7500	0,22718	0,23583	0,00232	29,702
	50%	7500	0,22923	0,23686	0,00233	29,702
	10%	1500	0,05962	0,05275	0,00056	5,940
Ciclo Final	10%	1500	0,05859	0,04861	0,00054	5,940
	20%	3000	0,09457	0,09102	0,00093	11,881
	30%	4500	0,13466	0,13860	0,00137	17,821
	40%	6000	0,16756	0,17791	0,00173	23,762
	50%	7500	0,22101	0,23169	0,00226	29,702
	60%	9000	0,26727	0,28651	0,00277	35,643
	70%	10500	0,32072	0,34547	0,00333	41,583
Ruptura	14600	-	-	-	57,820	

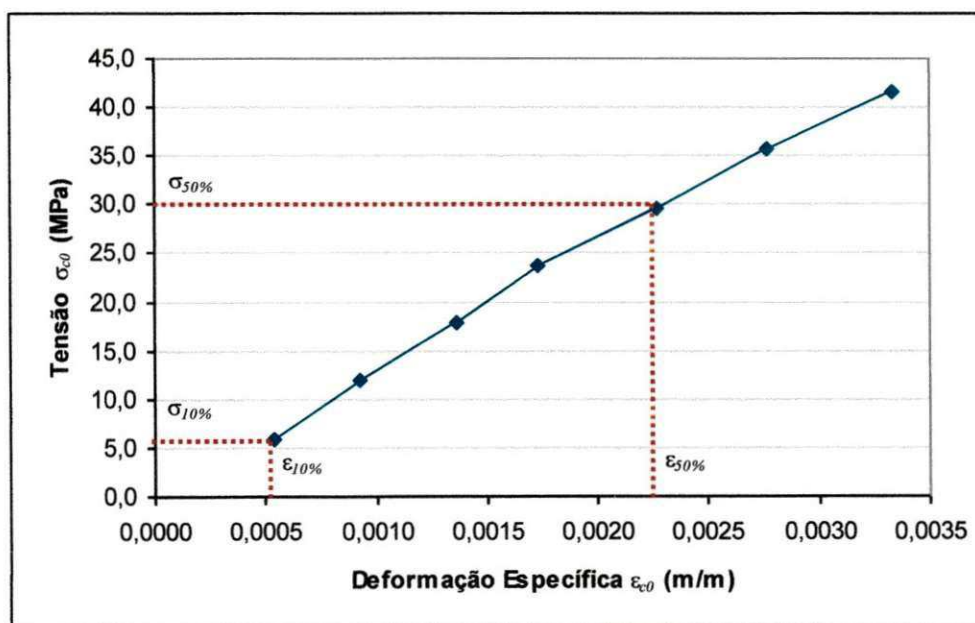


Figura 2A. Gráfico de tensão x deformação do corpo-de-prova 5.

Tabela 3A. Valores obtidos durante o ensaio de compressão paralela às fibras do corpo-de-prova 6.

	Carga Estimada $f_{c0,est\%}$	Carga (Kgf)	Deformação Específica ε			Tensão σ (MPa)
			Medidor 1	Medidor 2	Média (m)	
1º Ciclo	10%	1500	0,06373	0,05352	0,00059	5,980
	50%	7500	0,26521	0,25319	0,00259	29,900
	50%	7500	0,25288	0,24599	0,00249	29,900
	10%	1500	0,06168	0,05764	0,00060	5,980
2º Ciclo	10%	1500	0,08429	0,08028	0,00082	5,980
	50%	7500	0,26418	0,25422	0,00259	29,900
	50%	7500	0,26521	0,25628	0,00261	29,900
	10%	1500	0,05859	0,06690	0,00063	5,980
Ciclo Final	10%	1500	0,05757	0,06587	0,00062	5,980
	20%	3000	0,10896	0,10189	0,00105	11,960
	30%	4500	0,16139	0,16262	0,00162	17,940
	40%	6000	0,20765	0,21202	0,00210	23,920
	50%	7500	0,26418	0,25422	0,00259	29,900
	60%	9000	0,31558	0,33038	0,00323	35,880
	70%	10500	0,38754	0,39934	0,00393	41,860
Ruptura	14800	-	-	-	59,003	

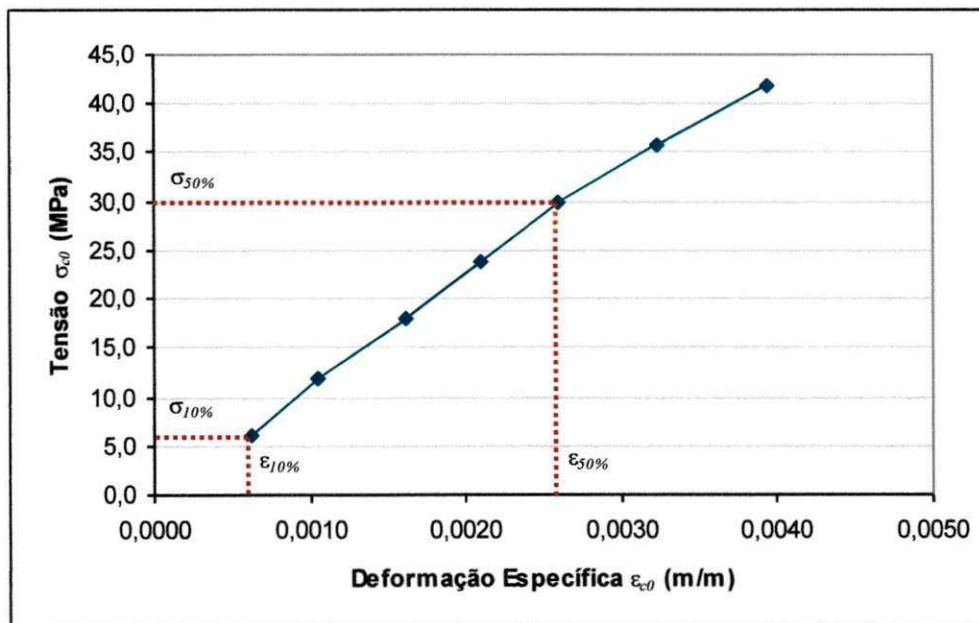


Figura 3A. Gráfico de tensão x deformação do corpo-de-prova 6.

Tabela 4A. Valores obtidos durante o ensaio de compressão paralela às fibras do corpo-de-prova 7.

	Carga Estimada $f_{c0,est\%}$	Carga (Kgf)	Deformação Específica ϵ			Tensão σ (MPa)
			Medidor 1	Medidor 2	Média (m)	
1º Ciclo	10%	1500	0,02775	0,03088	0,00029	6,008
	50%	7500	0,23746	0,17394	0,00206	30,040
	50%	7500	0,23746	0,17600	0,00207	30,040
	10%	1500	0,04009	0,04529	0,00043	6,008
2º Ciclo	10%	1500	0,04009	0,04529	0,00043	6,008
	50%	7500	0,23335	0,17909	0,00206	30,040
	50%	7500	0,23335	0,17909	0,00206	30,040
	10%	1500	0,03701	0,05146	0,00044	6,008
Ciclo Final	10%	1500	0,03803	0,05146	0,00045	6,008
	20%	3000	0,09354	0,08337	0,00088	12,016
	30%	4500	0,13261	0,09778	0,00115	18,024
	40%	6000	0,17372	0,13998	0,00157	24,032
	50%	7500	0,23335	0,18115	0,00207	30,040
	60%	9000	0,28886	0,23775	0,00263	36,048
	70%	10500	0,31455	0,30465	0,00310	42,056
	Ruptura	14200	-	-	-	56,876

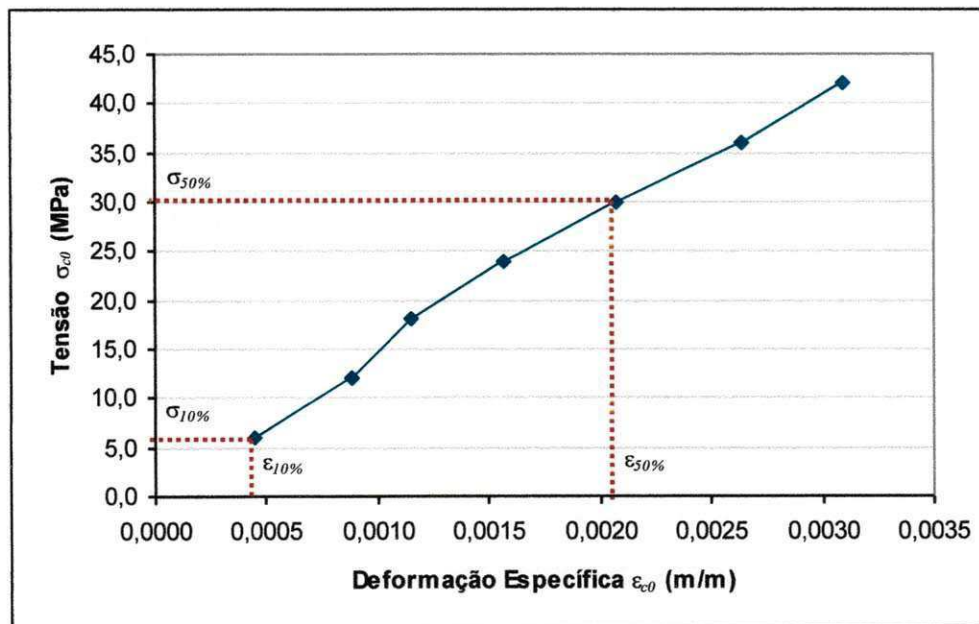


Figura 4A. Gráfico de tensão x deformação do corpo-de-prova 7.

Tabela 5A. Valores obtidos durante o ensaio de compressão paralela às fibras do corpo-de-prova 10.

	Carga Estimada $f_{c0,est\%}$	Carga (Kgf)	Deformação Específica ϵ			Tensão σ (MPa)
			Medidor 1	Medidor 2	Média (m)	
1º Ciclo	10%	1500	0,02775	0,02470	0,00026	5,968
	50%	7500	0,20559	0,18115	0,00193	29,841
	50%	7500	0,20662	0,18629	0,00196	29,841
	10%	1500	0,04112	0,03705	0,00039	5,968
2º Ciclo	10%	1500	0,04215	0,03705	0,00040	5,968
	50%	7500	0,20456	0,17600	0,00190	29,841
	50%	7500	0,20456	0,17291	0,00189	29,841
	10%	1500	0,04317	0,03705	0,00040	5,968
Ciclo Final	10%	1500	0,04215	0,03705	0,00040	5,968
	20%	3000	0,08532	0,06072	0,00073	11,937
	30%	4500	0,12952	0,09366	0,00112	17,905
	40%	6000	0,17167	0,13792	0,00155	23,873
	50%	7500	0,20456	0,17600	0,00190	29,841
	60%	9000	0,23026	0,21923	0,00225	35,810
	70%	10500	0,29194	0,27378	0,00283	41,778
	Ruptura	14800	-	-	-	58,887

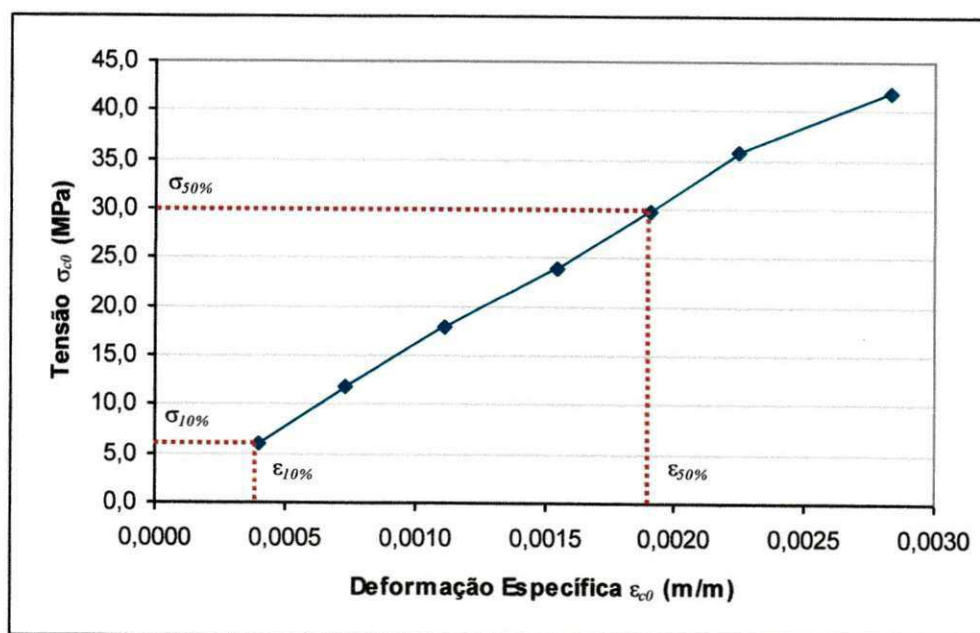


Figura 5A. Gráfico de tensão x deformação do corpo-de-prova 10.

Tabela 6A. Valores obtidos durante o ensaio de compressão paralela às fibras do corpo-de-prova 11.

	Carga Estimada $f_{c0,est}\%$	Carga (Kgf)	Deformação Específica ϵ			Tensão σ (MPa)
			Medidor 1	Medidor 2	Média (m)	
1º Ciclo	10%	1500	0,01748	0,04448	0,00031	6,004
	50%	7500	0,17989	0,26789	0,00224	30,020
	50%	7500	0,17886	0,26686	0,00223	30,020
	10%	1500	0,03803	0,06620	0,00052	6,004
2º Ciclo	10%	1500	0,03803	0,06723	0,00053	6,004
	50%	7500	0,06887	0,09619	0,00083	30,020
	50%	7500	0,03906	0,06723	0,00053	30,020
	10%	1500	0,08121	0,11274	0,00097	6,004
Ciclo Final	10%	1500	0,10280	0,13860	0,00121	6,004
	20%	3000	0,13158	0,18101	0,00156	12,008
	30%	4500	0,16550	0,23273	0,00199	18,012
	40%	6000	0,21793	0,29375	0,00256	24,016
	50%	7500	0,25082	0,33513	0,00293	30,020
	60%	9000	0,28063	0,39201	0,00336	36,024
	70%	10500	0,29194	0,41270	0,00352	42,028
Ruptura	14650	-	-	-	58,639	

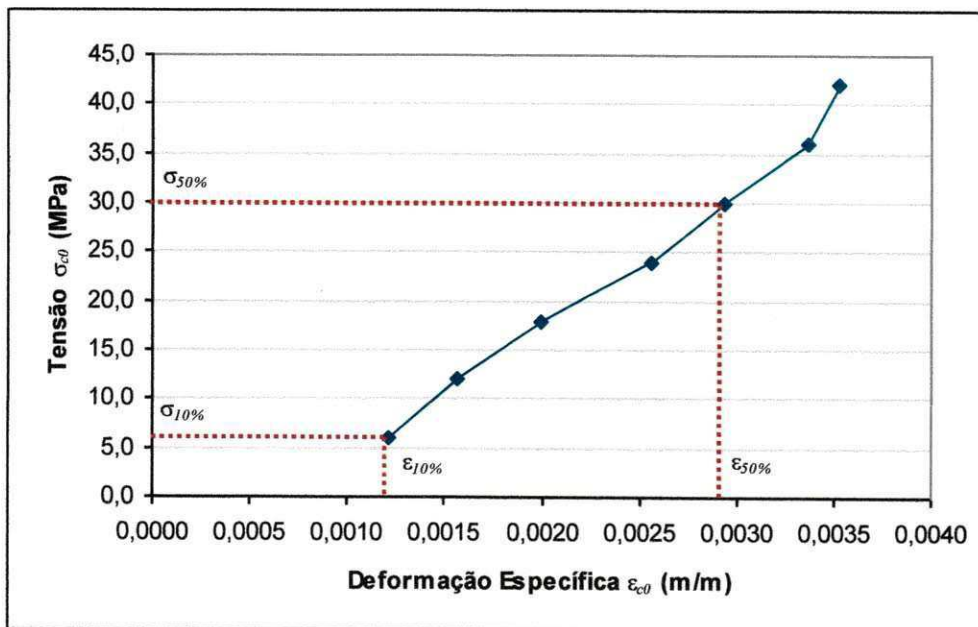


Figura 6A. Gráfico de tensão x deformação do corpo-de-prova 11.

Tabela 7A. Valores obtidos durante o ensaio de compressão paralela às fibras do corpo-de-prova 12.

	Carga Estimada $f_{c0,est\%}$	Carga (Kgf)	Deformação Específica ϵ			Tensão σ (MPa)
			Medidor 1	Medidor 2	Média (m)	
1º Ciclo	10%	1500	0,04420	0,00103	0,00023	6,016
	50%	7500	0,27241	0,17067	0,00222	30,080
	50%	7500	0,27652	0,17067	0,00224	30,080
	10%	1500	0,06579	0,01552	0,00041	6,016
2º Ciclo	10%	1500	0,06168	0,01345	0,00038	6,016
	50%	7500	0,26932	0,16963	0,00219	30,080
	50%	7500	0,27652	0,17067	0,00224	30,080
	10%	1500	0,06168	0,01241	0,00037	6,016
Ciclo Final	10%	1500	0,06990	0,00724	0,00039	6,016
	20%	3000	0,12335	0,03103	0,00077	12,032
	30%	4500	0,16858	0,07137	0,00120	18,048
	40%	6000	0,22615	0,11585	0,00171	24,064
	50%	7500	0,30016	0,15515	0,00228	30,080
	60%	9000	0,35259	0,19963	0,00276	36,096
	70%	10500	0,42866	0,23790	0,00333	42,112
Ruptura	14650	-	-	-	58,757	

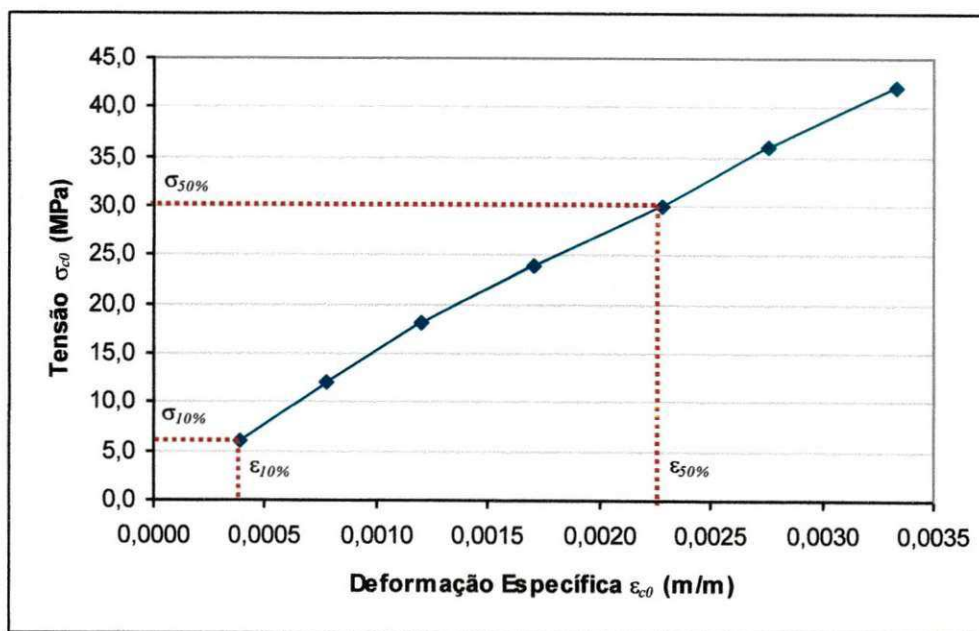


Figura 7A. Gráfico de tensão x deformação do corpo-de-prova 12.

Tabela 8A. Valores obtidos durante o ensaio de compressão paralela às fibras do corpo-de-prova 13.

	Carga Estimada $f_{c0,est}\%$	Carga (Kgf)	Deformação Específica ϵ			Tensão σ (MPa)
			Medidor 1	Medidor 2	Média (m)	
1º Ciclo	10%	1500	0,03187	0,05585	0,00044	6,020
	50%	7500	0,27858	0,25445	0,00267	30,100
	50%	7500	0,26213	0,23480	0,00248	30,100
	10%	1500	0,06168	0,05792	0,00060	6,020
2º Ciclo	10%	1500	0,05962	0,05689	0,00058	6,020
	50%	7500	0,27652	0,25238	0,00264	30,100
	50%	7500	0,27755	0,25238	0,00265	30,100
	10%	1500	0,06373	0,05792	0,00061	6,020
Ciclo Final	10%	1500	0,06065	0,05585	0,00058	6,020
	20%	3000	0,11308	0,10447	0,00109	12,040
	30%	4500	0,16550	0,14894	0,00157	18,060
	40%	6000	0,21587	0,20480	0,00210	24,080
	50%	7500	0,27138	0,24204	0,00257	30,100
	60%	9000	0,31455	0,29789	0,00306	36,120
	70%	10500	0,39268	0,34754	0,00370	42,140
	Ruptura	14700	-	-	-	58,996

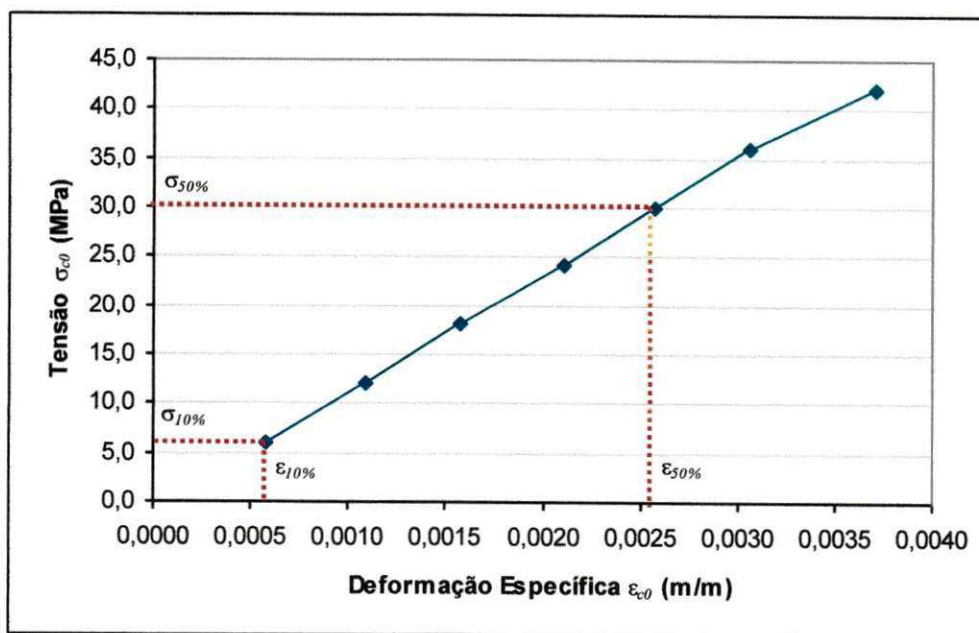


Figura 8A. Gráfico de tensão x deformação do corpo-de-prova 13.