



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
COPEAG - COORD. DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENG. AGRÍCOLA



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Dissertação de Mestrado

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA
DA MADEIRA CUMARU (*Amburana
cearensis*) PARA A APLICAÇÃO
EM MOBILIÁRIO

RA DE SOUSA TRAVASSOS BARBOSA

Campina Grande
Paraíba

**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 CUMARU (*Amburana
cearensis*) PARA A APLICAÇÃO EM MOBILIÁRIO**

UYARA DE SOUSA TRAVASSOS BARBOSA

**CAMPINA GRANDE
PARAÍBA – BRASIL
ABRIL – 2011**

UFCG

BIBLIOTECA

UFCG/BIBLIOTECA/RC

UYARA DE SOUSA TRAVASSOS BARBOSA

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DA MADEIRA CUMARU (*Amburana
cearensis*) PARA A APLICAÇÃO EM MOBILIÁRIO**

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: Alexandre José Soares Miná

CAMPINA GRANDE

PARAÍBA – BRASIL

ABRIL – 2011





FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCC

B238c

Barbosa, Uyara de Sousa Travassos

Caracterização Físico-Mecânica da Madeira de Cumaru (*Amburana cearensis*) para a Aplicação em Mobiliário / Uyara de Sousa Travassos Barbosa. - Campina Grande, 2011.

60 f.: il. col.

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

Orientador: Prof^o. Dr^o. Alexandre José Soares Miná.

1. *Amburana cearensis*. 2. Caatinga 3. Mobiliário. I. Título.

CDU – 624.011.1(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA



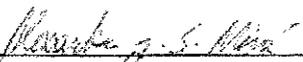
PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO MESTRADO

Uyara de Sousa Travassos Barbosa

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DA MADEIRA DE CUMARU (*Amburana
cearensis*) PARA A APLICAÇÃO EM MOBILIÁRIO

BANCA EXAMINADORA

PARECER



Dr. Alexandre José Soares Miná – Orientador

APROVADO



Dr. José Wallace Barbosa do Nascimento – Examinador

APROVADO



Dr. Cléber Brito de Souza – Examinador

APROVADO

ABRIL 2011

*Ao meu avô, Antonio Eulálio (in memoriam)
por ter sido o primeiro marceneiro e projetista que tive contato,
As minhas avós, Margarida Travassos e Anizia de Sousa (in memoriam),
primeiras grandes professoras em minha vida.*

AGRADECIMENTOS

A DEUS por toda a criação e proteção.

Aos meus pais, Robério e Dailza, pela vida que me deram e pelos esforços que sempre dedicaram pelos meus estudos. Ao meu esposo, Paulo, que sempre me incentivou em seguir o caminho da academia, contribuindo muitas vezes com idéias, correções e companheirismo ao longo do trabalho. Aos meus irmãos pelo apoio dado em cada momento, cada um a seu modo.

Ao Professor Alexandre Miná inicialmente pela disposição em ser meu orientador, pela sua orientação ao longo do desenvolvimento do trabalho, pela demonstração de conhecimento em todos os encontros, mesmo com todas as dificuldades.

Aos Professores Juarez Benigno Paes, pela orientação inicial, ainda no começo da idéia em ingressar ao programa de pós-graduação, e José Wallace Barbosa, pela ajuda na etapa de experimentos, fornecendo equipamentos necessários ao trabalho.

Ao Professor Cleber Brito de Souza pela participação na banca examinadora e contribuição ao trabalho.

Agradecimento especial aos amigos Pablo Torres e Mavinieux Vieira, pelo apoio em todas as etapas do projeto. Sem poder deixar de mencionar Mércia, Laura, Karoline e Nivaldo, que juntos enfrentamos todas as dificuldades e alegrias de se viver uma pós-graduação. Também não posso deixar de mencionar meus amigos e antigos professores do curso de Desenho Industrial. Em especial agradeço a Ana Flávia pelas conversas sobre formatações e dúvidas sobre as madeiras.

A CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo apoio financeiro, que sem ele, provavelmente o trabalho não teria sido o mesmo.

ABSTRACT

BARBOSA, U. de S. T. (2011). *Physical-mechanics characteristics of the Cumaru (*Amburana cearensis*) wood for use in furniture*. Dissertation (Master Degree) – Post-Graduation in Agricultural Engineering, Federal University of Campina Grande, Campina Grande – PB, 2011.

The sustainable usage of wood has been target of researches, that aims the preservation of biomes that are about to disappear. Among them it can be cited the Caatinga as a meaningful example. The reforestation, employing native species of each region is one of the main solutions for the decrease of exploration of forest reserve. The main objective of this work was to study the physical-mechanics characteristics of Cumaru wood (*Amburana cearensis*), a kind of species provided by the biome Caatinga. The physical-mechanics properties were determined following the recommendations of the Brazilian Standard Regulatory: Design of timber structures (NBR 7190/1997). The following tests were performed: determination of the moisture content, basic and apparent density, dimensional stability and determination of resistance and stiffness compression parallel to the fibers. The results indicate that Cumaru wood can be employed in structures, in furniture and other pieces of construction.

Keywords: Caatinga, resistance, furnishings

LISTA DE FIGURAS

Figura 01	Seção transversal de um tronco	5
Figura 02	Direções Axial ou Longitudinal, Tangencial e Radial de um tronco de madeira	6
Figura 03	Exemplar de Cumaru (<i>Amburana cearensis</i>)	7
Figura 04	Piso feito com madeira de Cumaru (<i>Amburana cearensis</i>)	8
Figura 05	Exemplar de Cumaru (<i>Amburana cearensis</i>) com padrões satisfatórios para as análises	16
Figura 06	Tronco de uma árvore selecionada	17
Figura 07	a) Troncos após desbaste; b) Esquema para retirada dos corpos-de-prova	18
Figura 08	Confecção dos corpos-de-prova	19
Figura 09	Acabamento dos corpos-de-prova	19
Figura 10	Corpo-de-prova para a determinação do Teor de Umidade	23
Figura 11	Diagrama de Kollmann	25
Figura 12	Diagrama Tensão x Deformação específica para a determinação da rigidez à compressão paralela às fibras	30
Figura 13	Corpo-de-prova para ensaio de compressão paralela às fibras	31
Figura 14	Transdutor de Deslocamento Linear (LVDT)	32
Figura 15	a) Arranjo de ensaio para compressão paralela às fibras, com instrumentação baseada em relógios comparadores; b) Arranjo de ensaio, com instrumentação baseada em transdutores de deslocamento linear – LVDT	32
Figura 16	a) Spider8; b) Tela inicial do software Catman	33
Figura 17	a) Máquina de Ensaios; b) Software <i>Trapezium</i> em execução	33
Figura 18	Diagrama de carregamento para ensaio de compressão paralela às fibras	34
Figura 19	Corpo-de-prova após a ruptura durante ensaio de compressão paralela	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 01	Classes de Umidade (NBR 7190, ABNT, 1997)	11
Tabela 02	Classes de Resistência das Coníferas - Valores na condição-padrão de referência U=12% (ABNT, 1997)	13
Tabela 03	Classes de Resistência das Dicotiledôneas - Valores na condição-padrão de referência U=12% (ABNT, 1997).....	13
Tabela 04	Números de corpos-de-prova utilizados em cada ensaio	22
Tabela 05	Coeficiente de Anisotropia Dimensional e a indicação de utilização para cada valor	28
Tabela 06	Teor de umidade da madeira <i>Amburana cearensis</i>	37
Tabela 07	Densidade aparente corrigida para a umidade de referência de 12% da madeira <i>Amburana cearensis</i>	38
Tabela 08	Densidade básica da madeira <i>Amburana cearensis</i>	39
Tabela 09	Deformação específica de retração, deformação específica de inchamento e variação volumétrica da madeira <i>Amburana cearensis</i>	41
Tabela 10	Coeficiente de anisotropia dimensional na retração e no inchamento da madeira <i>Amburana cearensis</i>	42
Tabela 11	Resistência à compressão paralela corrigida para a umidade padrão de 12% (f_{c0}) para a madeira <i>Amburana cearensis</i>	43
Tabela 12	Rigidez à compressão paralela corrigida para a umidade padrão de 12% (E_{c0}) para a madeira <i>Amburana cearensis</i>	44
Tabela 13	Densidade Básica (ρ_{bas}), Densidade Aparente (ρ_{ap12}), Resistência (f_{c0}) e Rigidez (E_{c0}) para a madeira <i>Amburana cearensis</i>	44
Tabela 14	Valores Característicos de resistência e rigidez para a madeira <i>Amburana cearensis</i>	45

Tabela 15	Valores para comparação de Densidade Aparente ($\rho_{ap 12}$), Resistência (f_{c0}) e Rigidez (E_{c0}) de algumas espécies.	46
Tabela 16	Densidade Aparente e Densidade Básica para a árvore 1.	53
Tabela 17	Densidade Aparente e Densidade Básica para a árvore 2.	53
Tabela 18	Densidade Aparente e Densidade Básica para a árvore 3.	54
Tabela 19	Densidade Aparente e Densidade Básica para a árvore 5.	54
Tabela 20	Densidade Aparente e Densidade Básica para a árvore 6.	54
Tabela 21	Deformação específica de retração, deformação específica de inchamento e variação volumétrica para a árvore 1.	55
Tabela 22	Deformação específica de retração, deformação específica de inchamento e variação volumétrica para a árvore 2.	55
Tabela 23	Deformação específica de retração, deformação específica de inchamento e variação volumétrica para a árvore 5.	56
Tabela 24	Deformação específica de retração, deformação específica de inchamento e variação volumétrica para a árvore 6.	56
Tabela 25	Coefficiente de Anisotropia Dimensional na retração e no inchamento para a árvore 1.	57
Tabela 26	Coefficiente de Anisotropia Dimensional na retração e no inchamento para a árvore 2.	57
Tabela 27	Coefficiente de Anisotropia Dimensional na retração e no inchamento para a árvore 5.	58
Tabela 28	Coefficiente de Anisotropia Dimensional na retração e no inchamento para a árvore 6.	58
Tabela 29	Resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0}) corrigida para a umidade padrão de 12% para todas as árvores.	59
Tabela 30	Rigidez à compressão paralela às fibras corrigida para a umidade padrão de 12% (E_{c0}) para todas as árvores.	60

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
2.1 Características gerais da madeira	4
2.2 Características da madeira de Cumaru (<i>Amburana cearencis</i>)	6
2.3 Histórico do reflorestamento no Brasil	9
2.4 Propriedades físico-mecânicas da madeira	10
2.4.1 Teor de Umidade	10
2.4.2 Densidade	11
2.4.3 Estabilidade dimensional da madeira	11
2.4.4 Resistência e Rigidez da madeira	12
2.5 Mobiliários	14
3. MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1 Seleção das árvores e coleta do material para análise	16
3.2 Confeção dos corpos-de-prova	18
3.3 Propriedades físico-mecânicas	20
3.3.1 Teor de umidade	23
3.3.2 Densidade aparente	24
3.3.3 Densidade básica	26
3.3.4 Estabilidade dimensional da madeira	27
3.3.5 Resistência e Rigidez à compressão paralela às fibras	29
3.4 Análise dos resultados	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37

4.1 Propriedades físico-mecânicas	37
4.1.1 Teor de umidade	37
4.1.2 Densidade aparente	38
4.1.3 Densidade básica	39
4.1.4 Estabilidade dimensional da madeira	40
4.1.5 Compressão paralela às fibras	42
4.1.5.1 Resistência	42
4.1.5.2 Rigidez	43
4.1.5.3 Valor característico da madeira estudada.	44
4.1.5.4 Estimativa de valores característicos	45
4.1.5.5 Comparação das propriedades com outras madeiras já estudadas	45
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	47
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	48
APÊNDICE	52

1. INTRODUÇÃO

Os recursos vegetais sempre foram utilizados como fonte de alimentação e proteção. Tal uso vem se tornando cada vez mais melhorado, devido ao acúmulo de conhecimento adquirido ao longo do tempo. Durante muito tempo, o homem interferiu no meio ambiente sem muita preocupação com a conservação da vegetação, atualmente tem surgido cada vez mais a preocupação em conservar a biodiversidade do planeta. O que dá margem para a disputa entre a conservação dos recursos naturais e a necessidade de aumentar as áreas produtivas para garantir o crescimento econômico (SILVA, 2003).

A partir dessa disputa nasceu o conceito de Desenvolvimento Sustentável, que nada mais é do que o equilíbrio entre a proteção ambiental e o desenvolvimento sócio-econômico. Seguindo esse conceito é possível utilizar os recursos vegetais de forma equilibrada, trazendo benefícios econômicos para a sociedade atual e as gerações futuras. Uma maneira de contribuir com isso é a utilização de madeiras provenientes de áreas de reflorestamento, evitando-se assim a exploração de áreas florestais, preservando espécies nativas.

Apesar de existir pouco investimento em reflorestamento no Brasil, a taxa de produção de madeira proveniente de matas nativas entre 1990 e 2006 diminuiu em torno de 6,48%. Enquanto que a taxa da produção de madeira proveniente de floresta plantada cresceu 3,50%. Observa-se uma troca de importância entre as florestas nativas e as plantadas, fato este influenciado por diversos fatores, tais como: redução de matas nativas próximos a centros comerciais e pressões ambientais (BACHA, 2008).

O reflorestamento é uma medida essencial para a proteção ambiental, por contribuir com a manutenção e recuperação de áreas degradadas (TORRES, 2008). O reflorestamento e a exploração adequada das florestas também é um fator que pode gerar emprego e renda para diversos setores da economia. Segundo Silva (2003), o Estado da Paraíba apresenta mais da metade de sua área com problemas graves de degradação ambiental. Dessa forma, o reflorestamento pode contribuir para o restabelecimento de áreas degradadas nessa região.

A Caatinga é um dos biomas brasileiros que abrange o semi-árido brasileiro, estando grande parte do território do estado da Paraíba incluindo neste bioma. Já foi considerado como um bioma pobre e sem biodiversidade, por esse motivo foi por muito tempo desvalorizado e desconhecido. Porém, este mito está começando a ser desconsiderado após estudos de alguns pesquisadores na região, que estão descobrindo a grande variedade de tipos vegetais e elevado número de espécies animais (SILVA, 2003). O conhecimento das espécies vegetais nativas desse bioma torna-se de extrema importância para o plantio visando a recuperação de áreas degradadas, e implantação de áreas silviculturais.

As madeiras da Caatinga são, em sua grande maioria, utilizadas como fonte de energia, na forma de lenha e carvão. São ainda utilizadas, em escala menor, como produtos para o meio rural, tais como estacas e mourões, e em escala menor ainda, está seu uso em produtos que exigem maior seleção de material, como por exemplo, os mobiliários (TORRES, 2008).

O Cumaru (*Ambuna cearensis*) é uma espécie de árvore bastante comum da Caatinga. É encontrada também em outras regiões, como a região central do país. É árvore comum nas Florestas Estacionais, podendo ser encontrada em uma ampla distribuição da América do Sul (RAMOS et al., 2003). Trata-se de uma madeira que merece especial atenção por está sendo explorada de forma irregular em muitas regiões sem a devida reposição (RAMOS et al., 2003).

Como características, a árvore de Cumaru emite um tronco ereto, podendo atingir de 10 a 20 metros de altura (RAMOS et al., 2003). Uma utilização bastante difundida dessa madeira é devido ao seu odor de cumarina que é proveniente da casca e da semente. Sendo muito utilizada como perfumes e medicamentos para diversas enfermidades. A função de medicamento por parte da *Amburana cearensis* já está bastante difundida, encontrando-se diversos trabalhos relacionados divulgando esta capacidade da sua semente.

Investigações a cerca das características físico-mecânicas da madeira de Cumaru é importante porque deve gerar informações que indiquem outros usos para essa madeira, que possam agregar valor e aumentar a sua comercialização de forma selecionada, e, ao mesmo tempo, contribuir para o desenvolvimento sustentável da caatinga nordestina.

Segundo Oliveira (2005) os avanços tecnológicos contribuem para uma ampliação nos meios de produção e para o surgimento de novos materiais, ampliando as possibilidades de concepção dos projetos.

O objetivo deste trabalho foi analisar as características físico-mecânicas da madeira de Cumaru (*Amburana cearensis*) visando sua aplicação na indústria moveleira. Como objetivos específicos podem-se listar os seguintes:

- Determinar a resistência e a rigidez à compressão paralela às fibras da madeira de Cumaru;
- Avaliar a densidade e a estabilidade dimensional da madeira de Cumaru;
- Avaliar o potencial da madeira na fabricação de móveis.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão apresentados aspectos da madeira analisada, detalhando sua espécie, origens e utilizações. Além da questão do reflorestamento no contexto mundial e local, e, uma descrição das propriedades físico-mecânicas necessárias para a caracterização simplificada de madeiras para projetos estruturais.

2.1 Características gerais da madeira

A madeira é um organismo morto proveniente das árvores, que botanicamente são classificadas como Fanerógamas, as quais se dividem em dois tipos: Gimnospermas e Angiospermas (CALIL JÚNIOR et al., 2003).

As Gimnospermas (semente nua, que não está protegida), também chamadas de coníferas, são aquelas que possuem uma madeira macia (*softwood*). Suas folhas possuem forma de agulhas ou escamas. São comuns em regiões de clima temperado e frio, podendo ser encontradas algumas espécies em regiões de clima tropical. Seu crescimento é rápido, sendo por esse motivo usado em florestas plantadas para o uso da madeira proveniente de seu tronco. Exemplos deste tipo de árvores são os pinheiros (CALIL JÚNIOR et al., 2003; PFEIL e PFEIL, 2003).

As Angiospermas, também chamadas de folhosas, possuem uma madeira dura (*hardwood*) e são mais pesadas que as coníferas. Suas folhas apresentam formatos diversos, que são renovadas periodicamente. Estão presentes quase que exclusivamente em florestas tropicais, apresentando um crescimento lento. Entre as espécies desse grupo estão os ipês, aroeira, carvalho, eucaliptos, etc. (CALIL JÚNIOR et al., 2003, e PFEIL e PFEIL, 2003).

As folhosas podem ainda serem divididas em dois tipos: as monocotiledôneas e as dicotiledôneas. As primeiras são aquelas que não produzem madeira, como o bambu, a cana-de-açúcar, o arroz, o milho, etc., onde as sementes não podem ser divididas. Já as dicotiledôneas produzem madeira e suas sementes podem ser divididas.

As dicotiledôneas crescem através da adição de camadas externas sob a casca, crescendo no sentido horizontal, em relação ao diâmetro, e vertical, em relação à altura. Na figura 01 observa-se a seção transversal de um tronco de madeira onde são identificadas as camadas a que compõe, sendo elas:

- Casca: é a proteção externa da árvore sendo formada por uma camada morta externa, e uma camada viva interna (câmbio vascular), que é responsável por conduzir alimento que vem das folhas para as partes em crescimento;
- Alburno: é a camada formada por células vivas, responsáveis por conduzir a seiva das raízes até as folhas, características de madeiras “moles”;
- Cerne: são as células que com o tempo se tornam inativas, tendo a função de sustentar o tronco, características de madeira “dura”;
- Medula: é um tecido macio, fruto da fase inicial de crescimento da madeira.

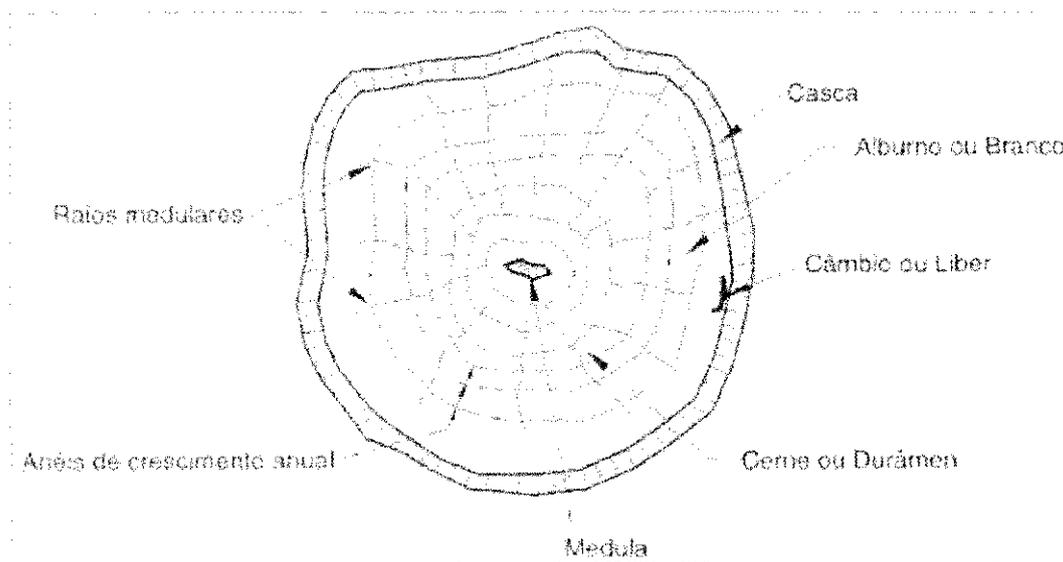


Figura 01: Seção transversal de um tronco (PFEIL e PFEIL, 2003)

As fibras da madeira representam importante fator ao se analisar algumas propriedades do material, como por exemplo, as propriedades mecânicas. A madeira é um material anisotrópico, ou seja, as propriedades variam com a direção considerada. Classificam-se tais direções em

função das fibras, sendo três as principais: longitudinal ou axial, a própria direção das fibras; radial, no sentido dos anéis de crescimento (ou raio medular); e, tangencial, tangente aos anéis de crescimento, como pode ser observado na figura 02 (CALIL JÚNIOR et al., 2003).

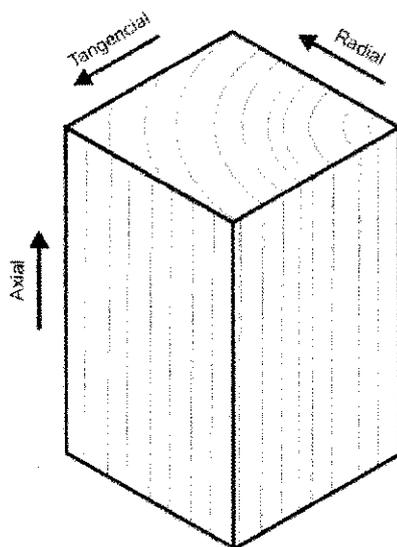


Figura 02: Direções Axial ou Longitudinal, Tangencial e Radial de um tronco de madeira

2.2 Características da madeira de Cumaru (*Amburana cearensis*)

O Cumaru, também chamado de cerejeira, amburana, cumaré, cumaru-das-caatingas, cumaru-de-cheiro, entre outros (LORENZI, 2009), é uma espécie de planta cujo nome científico é *Amburana cearensis* (Figura 03), pertencente à família Leguminosae (ou Fabacea) e da subfamília Papilionoideae (ou Faboideae), pode ser encontrada em diversos tipos de ecossistemas, como por exemplo, a Floresta Amazônica, o Cerrado e a Caatinga. Segundo Ramos et al. (2003), é característica de Florestas Estacionais. No Brasil, pode ser encontrada do Nordeste à região Central, com ênfase para a caatinga e florestas pluviais do Vale do Rio Doce, em Minas Gerais (CUNHA e FERREIRA, 2003).



Figura 03: Exemplar de Cumaru (*Amburana cearensis*)

A altura da árvore pode variar entre 4 e 10 metros na caatinga e entre 10 e 20 metros na floresta pluvial e caducifolia (LORENZI, 2009). A casca possui espessura fina, cerca de 7 mm, cor vermelho-pardacenta, é lisa, e quando descamado solta lâminas delgadas irregulares, com consistência de cortiça, e possui odor característico de cumarina (RIZZINI, 2000). Seu cerne possui cor de amarelo a marrom, diferindo da cor do alborno.

Da mesma forma que a casca da *Amburana cearensis*, as sementes exalam um forte odor de cumarina. Segundo Rizzini (2000), esse odor pode permanecer durante um longo tempo após ser colhida a semente, podendo chegar a 20 anos. O fruto é em forma de vagem achatada e na cor preta. A semente, que fica no interior da vagem, possui forma oval, às vezes arredondada. Sua textura é rugosa. Com um sabor amargo e picante, além de apresentar elevado teor de gordura.

A *Amburana cearensis* apresenta diversas possibilidades de utilização. Suas aplicações vão desde a medicina caseira, marcenaria, perfumaria, e até ajudar na preservação de áreas degradadas (CUNHA e FERREIRA, 2003).

Como propriedade medicinal utiliza-se em grande parte a semente da planta. Esta possui características aromáticas, muito utilizadas para perfumar roupas. A casca é também utilizada

2.3 Histórico do reflorestamento no Brasil

O Reflorestamento é uma medida de proteção ambiental, que visa contribuir com a exploração sustentável dos recursos florestais, sendo, na grande maioria, sua utilização voltada para a recuperação de áreas degradadas, ou para a produção de bens como celulose e papel, siderúrgicas, painéis, móveis, entre outros (BARBOSA et al., 2010; VIEIRA, 2006).

Segundo Guedes (1984) existem algumas visões a respeito do reflorestamento. A primeira visão gira em torno do reflorestamento como uma compensação natural aos efeitos do desmatamento. A segunda, uma visão economista, posiciona o reflorestamento como um meio de geração de empregos e melhora na balança comercial, através de exportações ou como recurso energético.

A cobertura vegetal do mundo é de cerca de 4,5 bilhões de hectares, o que equivalente a quase cinco vezes o território do Brasil. Desse total, 45% são de florestas de coníferas, em sua maioria constituída por espécies de pinheiros localizadas, na maior parte, no hemisfério norte. Apresenta uma diversidade botânica reduzida, quando comparadas com florestas de folhosas (STUMPP, 2008). As coníferas são árvores de rápido crescimento, por esse motivo são bastante utilizadas em reflorestamentos com fins comerciais. No Brasil, as madeiras adotadas em reflorestamentos são, em sua maioria, espécies exóticas como o Eucalyptus e o Pinus (CALIL JÚNIOR et al., 2003; PINHEIRO, 2001).

Com a intensificação, após a Segunda Guerra Mundial, da atividade extrativa predatória dos recursos florestais e conseqüente diminuição desses, as matérias-primas florestais alcançaram preços altíssimos. Com isso, o reflorestamento para suprir tais atividades ganhou grande impulso através de incentivos fiscais por parte do Governo Federal e da criação do Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal – IBDF (CALIL JÚNIOR et al., 2003; GUEDES, 1984).

O reflorestamento na região Nordeste do Brasil iniciou com a formação de florestas protetoras, com a introdução de plantas exóticas resistentes às secas. Optou-se, em sua maioria, pelas espécies forrageiras, a exemplo da algarobeira de origem peruana, muito empregada nas décadas de 1970 e 1980, por fornecer forragens fartas nos períodos de seca para o gado. Em particular para o Estado da Paraíba, foram adotadas as políticas do Projeto Algodora, que visava o aumento da oferta de forragem e a geração de novos ecossistemas (GUEDES, 1984).

2.4 Propriedades físico-mecânicas da madeira

Conhecer as Propriedades das Madeiras é importante para seu emprego racional. Essas propriedades são condicionadas por sua estrutura anatômica, podendo variar bastante entre as espécies. Para tal, existem métodos de ensaios que devem ser seguidos para a determinação das propriedades, como a Norma Brasileira Regulamentadora, NBR 7190, proposta pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT.

Tais ensaios vão desde os ensaios físicos com a determinação do teor de umidade da amostra, densidade e estabilidade dimensional, até os ensaios mecânicos, como compressão, flexão e tração. A seguir foram definidos alguns desses métodos de ensaios, que serão utilizados como meio de investigação.

2.4.1 Teor de umidade

O teor de umidade é definido como a quantidade de água presente em um corpo, podendo estar presente na madeira de duas formas: no interior e nas paredes das fibras. No caso das madeiras, o teor de umidade pode variar muito, seja pela espécie, seja pela idade de corte. As plantas recém-cortadas apresentam um teor de umidade maior do que aquelas que já ultrapassaram alguns dias de seu corte. A água contida nas células evapora continuamente até atingir o ponto de saturação das fibras, momento em que a água no interior das fibras evaporou por completo, mantendo-se apenas a água localizada no interior das paredes celulares, correspondendo ao grau de umidade de cerca de 30%. (PFEIL & PFEIL, 2003; CARLIL JÚNIOR et al., 2003).

O ensaio de teor de umidade tem o objetivo de verificar a quantidade de água presente em uma determinada amostra. Pode servir para identificar o quanto a madeira poderá está susceptível ao ataque de organismos xilófagos, pois quanto maior for o teor de umidade da amostra, maior será sua susceptibilidade ao ataque. Mobiliários podem estar susceptíveis a esses ataques, a depender de sua utilização. O conhecimento dessa propriedade se torna importante para se determinar tratamentos preservativos ou métodos de secagem da madeira, visando uma maior durabilidade do móvel.

De acordo com a NBR 7190/1997, as estruturas de madeira são admitidas dentro de classes de umidade, em função da Umidade Relativa do Ar (Tabela 01), que têm por finalidade ajustar as propriedades da madeira em função das condições ambientais, devendo todos os resultados serem ajustados para a Umidade de Equilíbrio de 12%. Por tratar-se de uma propriedade que influencia todas as demais propriedades físico-mecânicas, como por exemplo, o aumento de valores correspondentes às propriedades de resistência e elasticidade quando a madeira encontra-se seca, adota-se o teor de umidade-padrão de referência (PFEIL e PFEIL, 2003; CARLIL JÚNIOR et al., 2003; ABNT, 1997).

Tabela 01: Classes de Umidade (NBR 7190, ABNT, 1997).

Classes de Umidade	Umidade Relativa do Ar (U_{amb})	Umidade de Equilíbrio da Madeira (U_{eq})
1	$\leq 65\%$	12%
2	$65\% \leq U_{amb} \leq 75\%$	15%
3	$75\% \leq U_{amb} \leq 85\%$	18%
4	$U_{amb} > 85\%$, durante longos períodos	$\geq 25\%$

2.4.2 Densidade

Densidade é a relação entre a massa e o volume de um corpo. A NBR 7190/1997 define dois tipos de densidade: a Densidade Básica (ρ_{bas}) e a Densidade Aparente (ρ_{ap}). A densidade básica é a relação entre a massa da madeira seca e o volume verde de um corpo de prova, enquanto que a densidade aparente relaciona a massa ao teor de umidade padrão de 12% (LOPES, 2007).

2.4.3 Estabilidade dimensional da madeira

Estabilidade dimensional da madeira é definida como o resultado da perda ou ganho (retração ou inchamento) de água abaixo do ponto de saturação das fibras, que é o processo de

perda contínua de água da madeira, quando exposta ao meio ambiente depois de abatida (CALIL JÚNIOR et al., 2003). É caracterizada pelas relações de retração e inchamento dos corpos-de-prova nas direções longitudinal, radial e tangencial. Quanto menor a diferença da retração nas direções, melhor será a madeira para utilização em mobiliário (TORRES, 2008). Essa relação é um dos fatores responsáveis pelo aparecimento de trincas, rachaduras, empenamentos e outros defeitos ocasionados pelos processos de secagem.

De acordo com Calil Júnior et al. (2003), por a madeira ser um material ortotrópico, ou seja, apresentarem características diferentes de acordo com as três direções principais (Figura 02), as variações dimensionais acontecem em diferentes proporções nas direções radiais e tangenciais, sendo considerada desprezível na direção longitudinal.

A variação dimensional é mais importante na direção tangencial, podendo variar de 5% a 30% da dimensão verde da madeira (logo após o corte). Já a retração na direção radial é normalmente cerca da metade da retração na direção tangencial, enquanto que na direção longitudinal muitas vezes não passa de 1% (PFEIL e PFEIL, 2003).

Isso acontece porque as células que compõem os anéis de crescimento se orientam no sentido da casca para a medula, apresentando então uma baixa retrabilidade, além dos anéis imporem restrição a movimentação dimensional na direção radial. Na direção tangencial não existe esses tipos de elementos anatômicos, dessa forma a variação dimensional tende a ser mais elevada (CALIL JÚNIOR et al., 2003).

2.4.4 Resistência e rigidez da madeira

A resistência é definida como a habilidade do material em suportar tensões. Na madeira é determinada como a máxima tensão que pode ser aplicada a corpos-de-prova, até que sejam determinados fenômenos comportamentais, como ruptura ou deformação específica excessiva.

A Rigidez de um material é definida como o quanto um material deforma quando exposto a uma determinada força. Na madeira, a rigidez é determinada pelo valor médio do módulo de elasticidade, obtido na direção paralela às fibras (E_{c0}) através do ensaio de compressão paralela às fibras, e na direção normal às fibras (E_{c90}) através do ensaio de compressão normal às fibras.

Com os valores obtidos nos ensaios, as madeiras são classificadas dentro de classes de resistência (Tabelas 02 e 03), que visa padronizar as propriedades das madeiras, não mais por meio de espécies, mas por meio de classes de resistência. Esse tipo de classificação facilita o uso de madeiras legais, pois o projeto não fica condicionado a uma determinada espécie de madeira.

Tabela 02: Classes de Resistência das Coníferas - Valores na condição-padrão de referência U=12% (ABNT, 1997).

Classes	f_{c0k} (MPa)	f_{vk} (MPa)	$E_{c0,m}$ (MPa)	$\rho_{bas,m}$ (kg/m ³)	$\rho_{aparente}$ (kg/m ³)
C 20	20	4	3 500	400	500
C 25	25	5	8 500	450	550
C 30	30	6	14 500	500	600

Tabela 03: Classes de Resistência das Dicotiledôneas - Valores na condição-padrão de referência U=12% (ABNT, 1997).

Classes	f_{c0k} (MPa)	f_{vk} (MPa)	$E_{c0,m}$ (MPa)	$\rho_{bas,m}$ (kg/m ³)	$\rho_{aparente}$ (kg/m ³)
C 20	20	4	9 500	500	650
C 30	30	5	14 500	650	800
C 40	40	6	19 500	750	950
C 60	60	8	24 500	800	1 000

A determinação das propriedades mecânicas é um meio importante para a classificação das madeiras de acordo com as Classes de Resistência propostas pela NBR 7190/1997. Gomes et al (2007) analisaram a espécie de algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw.)) através dos ensaios mecânicos de compressão paralela, tração e cisalhamento, visando determinar as características tecnológicas da espécie, classificando-a dentro da Classe C60 das dicotiledôneas, de acordo com a tabela 03. Já Rocha (2007) utilizou apenas o ensaio de compressão paralela para a determinação da resistência e rigidez da madeira de Jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* Willd. Poir), classificando a madeira dentro da Classe C40 das dicotiledôneas.

2.5 Mobiliários

Um móvel é uma peça de mobília, tendo como função suportar o peso de pessoas e objetos, facilitando, assim, as atividades cotidianas daqueles que os possuem. Alguns exemplos são: camas, cadeiras, estantes, entre outros. Trata-se de objetos que são fabricados, tradicionalmente com madeiras. Porém, com o advento da tecnologia e a facilidade de se encontrar novos materiais e novas técnicas de produção, podem ser encontrados móveis feitos com os mais variados tipos de materiais, tais como: metal, pedra, cerâmica e plástico.

Esses objetos devem fornecer aos usuários bem-estar ao utilizá-los. Uma cadeira deve acomodar perfeitamente seu usuário, além de necessitar suportar o seu peso. Para isso, se fazem necessário alguns estudos durante o projeto de mobiliários. Alguns exemplos são relacionados a seguir:

- Ensaio físico-mecânico com os materiais a serem utilizados na sua fabricação;
- Estudos sobre as características biológicas e químicas do material a ser utilizado;
- Estudos ergonômicos;
- Estudos estéticos.

A indústria brasileira de móveis é um dos setores em maior destaque no país, tanto pela importância do valor de produção como pela geração de emprego, sendo um setor formado por cerca de 17.000 empresas (ABIMÓVEL, 2009). São segmentadas, muitas vezes, por meio do material base de sua produção, madeira, plástico, metal, e, na sua função, tais como móveis residenciais, de escritório, etc. O segmento que engloba o mobiliário de madeira abrange cerca de 91% das empresas. Trata-se de um segmento em crescente expansão, merecendo atenção dos governos, tanto em relação ao aumento de exportações como na criação de empregos (ULIANA, 2005).

Os mobiliários de madeiras foram, tradicionalmente, produzidos com madeiras de lei, proveniente em sua grande maioria de florestas nativas, caracterizadas como madeiras de resistência física e mecânica elevada, tendo com exemplo o Carvalho, muito comum no hemisfério Norte; e, o Cedro e o Jatobá, no Brasil. Com o aumento da necessidade da madeira e a

diminuição da disponibilidade de florestas nativas, começou a utilização de madeira proveniente de florestas plantadas, árvores de rápido crescimento e menores resistências. Dessa forma, se faz cada vez mais necessário a investigação das propriedades físicas e mecânicas das madeiras, visando determinar sua classe de resistência, adequando assim a sua utilização. Lopes (2007) e Pazetto (2009) analisaram propriedades físicas e mecânicas em tipos de madeiras distintos, mostrando a importância de se realizar tais estudos.

Lopes (2007) estudou três espécies de eucalipto (*Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptu dunni*), analisando aspectos estéticos, físicos e mecânicos, visando sua aplicação na indústria moveleira. A autora seguiu a metodologia sugerida pela NBR 7190/1997, tendo realizado ensaios de densidade básica, variação dimensional e módulos de ruptura e elasticidade. Concluindo que as espécies são compatíveis para o uso na indústria moveleira, sendo a madeira de *Eucalyptu urophylla* a que apresentou melhor desempenho para as propriedades mecânicas e menores valores para a variação dimensional.

Outros produtos provenientes das florestas plantadas que vem sendo bastante utilizado na indústria de mobiliário são o MDF (*Medium Density Fiberboard*) e o MDP (*Medium Density Particleboard*). São fabricados a partir de fibras de madeiras e resinas sintéticas, sendo coladas através de pressão. Pazetto (2009) estudou o comportamento deformacional dos painéis de MDF e MDP utilizados na fabricação de móveis. Realizou para isso ensaios físicos de densidade aparente e teor de umidade, além da determinação das propriedades mecânicas de elasticidade e rigidez através do ensaio de flexão estática. As amostras analisadas variaram em espessuras e em tamanho do vão. Observou-se que vãos menores são mais resistentes a flexão, independente da espessura.

3. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi iniciada com a coleta do material a ser ensaiado. Sendo em seguida, foram confeccionados os corpos-de-prova, seguindo as recomendações da NBR 7190 (ABNT, 1997), para a realização dos ensaios físico-mecânicos. Após a realização dos ensaios, os resultados obtidos foram analisados.

3.1 Seleção das árvores e coleta do material para análise

As árvores foram coletadas no bioma da Caatinga brasileira, mais precisamente no estado da Paraíba, no município de São José dos Cordeiros, pertencente a mesorregião da Borborema e microrregião do Cariri Ocidental (Latitude de 7° 23' S, Longitude de 36° 48' W, altitude de 527 metros), na Fazenda Dois Riachos, de propriedade do Senhor Vandson de Souza Braz, em Abril de 2010. A figura 05 ilustra uma árvore com padrões ideais onde foram extraídos materiais para as análises propostas.

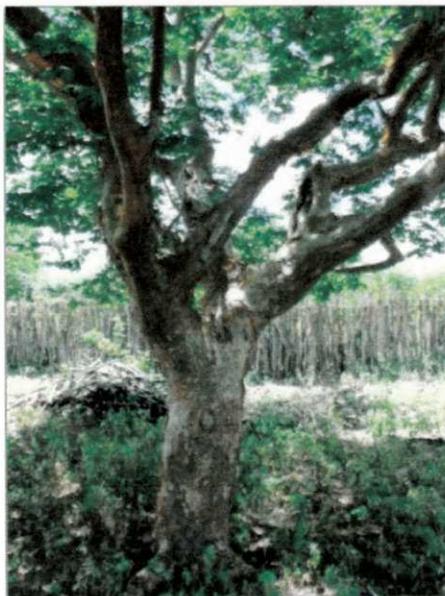


Figura 05: Exemplar de Cumaru (*Amburana cearensis*) com padrões satisfatórios para as análises

Foram selecionadas árvores com aproximadamente 15 anos de idade, conforme informações do proprietário, apresentando troncos com diâmetros de aproximadamente 28 cm, e alturas entre 1 metro e 1,45 metros de tronco. O abate foi realizado através de motosserra, tendo sido abatidas seis árvores, escolhidas aleatoriamente dentre as árvores indicadas pelo proprietário. A figura 06 mostra troncos de árvores selecionadas, após o corte.



Figura 06: Tronco de uma árvore selecionada

Os seis troncos foram transportados para o Laboratório de Construções Rurais e Ambiente (LaCRA), na Universidade Federal de Campina Grande, na cidade de Campina Grande (Latitude de 7° 13' S, Longitude de 35° 52' W, altitude de 551 metros). Onde foram armazenadas ao ar livre, para a secagem da madeira, até serem levados, no mês de Julho de 2010, para a Serraria Batista Barros, localizada também na cidade de Campina Grande, para a confecção dos corpos-de-prova.

3.2 Confeção dos corpos-de-prova

Os troncos foram desdobrados em pranchas de acordo com o esquema da figura 07b, seguindo as medidas nos sentidos transversais e radiais determinadas pela NBR 7190/1997 para os corpos-de-prova, por exemplo: 3cm x 2cm para os ensaios físicos, e 5cm x 5cm para o ensaio mecânico. Foram retiradas amostras de todos os troncos para a realização de cada ensaio físico e mecânico.

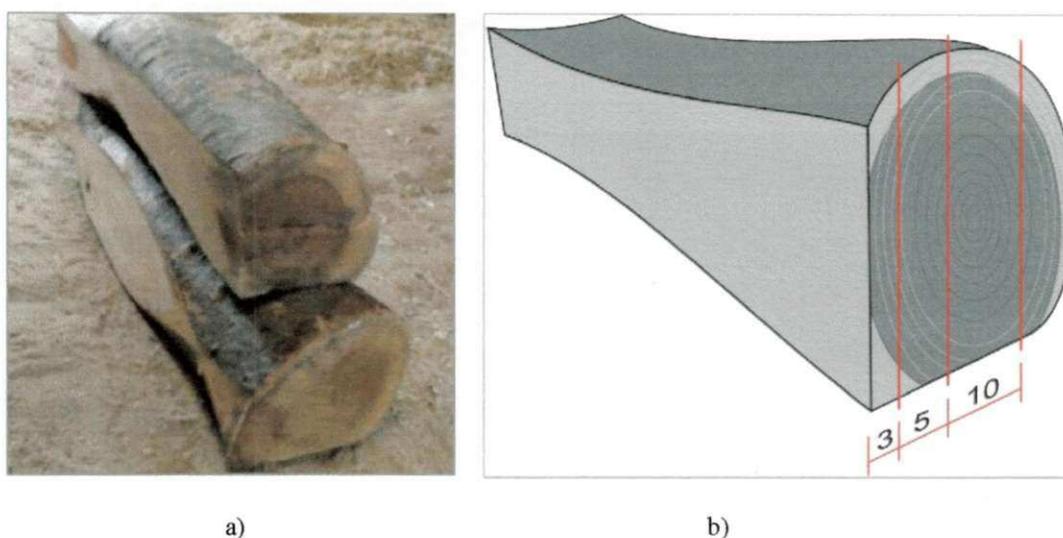


Figura 07: a) Troncos após desbaste; b) Esquema para retirada dos corpos-de-prova

Depois do desdobro, os corpos-de-prova foram confeccionados de acordo com as dimensões especificadas pela NBR 7190/1997 (Figura 08). Para tanto foram utilizados equipamentos apropriados para o trabalho com madeira, tais como desempenadeira e serra de fita.

Com os corpos-de-prova nas dimensões corretas, o material foi levado para a Oficina de Modelos do curso de Desenho Industrial da Universidade Federal de Campina Grande, para ser dado o acabamento, utilizando-se para isso de uma lixadeira elétrica. Em seguida, foram levados para o Centro de Madeira da cidade de Campina Grande, finalizando a confecção dos corpos de prova (Figura 09).

Observou-se que os corpos-de-prova obtidos a partir da árvore 4 apresentaram defeitos aparentes. Dessa forma, foram descartados, não sendo utilizados na realização dos ensaios físicos e mecânicos.



Figura 08: Confeção dos corpos-de-prova

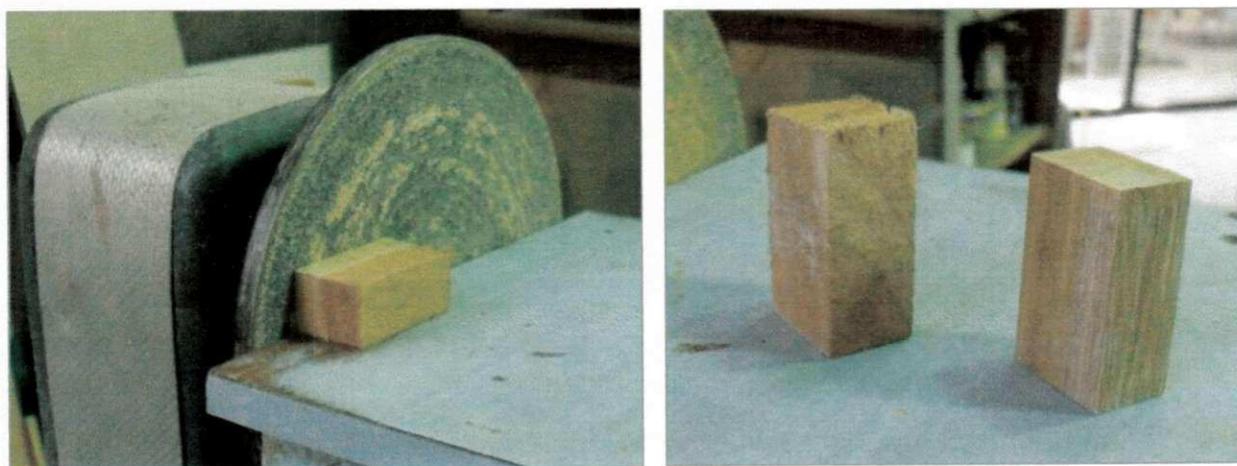


Figura 09: Acabamento dos corpos-de-prova

3.3 Propriedades físico-mecânicas

A NBR 7190/1997 especifica três tipos de caracterização das propriedades da madeira: caracterização completa, mínima e simplificada. Para a caracterização completa da madeira devem ser realizados ensaios para se determinar valores, referidos à condição-padrão de teor de umidade de 12%, de resistência e rigidez à compressão paralela e normal às fibras, à tração paralela e normal, cisalhamento, embutimento, e, densidade básica e aparente. Já para a caracterização mínima, são necessários os ensaios de resistência e rigidez à compressão paralela às fibras, tração paralela, cisalhamento e densidade básica e aparente. A caracterização simplificada é feita a partir do ensaio de compressão paralela às fibras, podendo-se determinar os valores característicos das demais resistências a partir do valor característico obtido através do ensaio de compressão paralela às fibras (ABNT, 1997).

Valor característico corresponde ao percentil de 5% de uma distribuição de probabilidade que melhor se ajusta a partir de resultados obtidos em um determinado ensaio. Para a madeira, em particular, os valores de resistência estão relacionados a valores inferiores, com 5% de probabilidade de serem ultrapassados desfavoravelmente (MARTÍNEZ-ESPINOSA et al., 2004). De acordo com a NBR 7190/1997, os valores característicos das propriedades da madeira devem ser estimados através da seguinte equação:

$$f_{c0,k} = \left[2 \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{\frac{n}{2}-1}}{\frac{n}{2}-1} - f_{\frac{n}{2}} \right] \times 1,1 \quad (01)$$

Em que,

$f_{c0,k}$ = Valor característico da resistência;

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

Sendo que os resultados devem ser colocados em ordem crescente, $f_1 \leq f_2 \leq f_3 \leq \dots \leq f_n$, desprezando-se o valor mais alto, caso o número de corpos-de-prova for ímpar, não devendo ser tomado valor inferior a f_1 para $f_{c0,k}$, nem a 0,7 do valor médio.

Foram realizados ensaios físico-mecânicos com a madeira de Cumaru (*Amburana cearensis*), seguindo as recomendações da NBR 7190 (ABNT, 1997), para uma caracterização simplificada. Essa caracterização é feita a partir do ensaio de compressão paralela às fibras, adotando-se as relações descritas abaixo para a determinação dos valores característicos das demais resistências.

$$f_{c0,k}/f_{t0,k} = 0,77 \quad (02)$$

$$f_{tM,k}/f_{t0,k} = 1,0 \quad (03)$$

$$f_{c90,k}/f_{c0,k} = 0,25 \quad (04)$$

$$f_{e0,k}/f_{c0,k} = 1,0 \quad (05)$$

$$f_{e90,k}/f_{c0,k} = 0,25 \quad (06)$$

$$\text{Para as coníferas: } f_{v0,k}/f_{c0,k} = 0,15 \quad (07)$$

$$\text{E para as dicotiledôneas: } f_{v0,k}/f_{c0,k} = 0,12 \quad (08)$$

A determinação da rigidez através da caracterização simplificada pode ser feita a partir do ensaio de compressão paralela às fibras adotando-se as seguintes relações:

$$E_{c90} = \frac{E_{c0}}{20} \quad (09)$$

Admite-se que os valores médios dos módulos de elasticidade à compressão paralela e à tração paralela às fibras sejam iguais:

$$E_{c0} = E_{t0} \quad (10)$$

Na impossibilidade da realização do ensaio de compressão simples, permite-se avaliar o módulo à compressão por meio do ensaio de flexão, admitindo-se as seguintes relações:

$$\text{Para as coníferas: } E_M = 0,85 E_{c0} \quad (11)$$

$$\text{E para as dicotiledôneas: } E_M = 0,90 E_{c0} \quad (12)$$

Em que,

$f_{c0,k}$ = valor característico da resistência à compressão paralela às fibras;

$f_{c90,k}$ = valor característico da resistência à compressão normal às fibras;

$f_{t0,k}$ = valor característico da resistência à tração paralela às fibras às fibras;

$f_{tM,k}$ = valor característico da resistência à tração na flexão;

$f_{e0,k}$ = valor característico da resistência ao embutimento paralelo às fibras;

$f_{e90,k}$ = valor característico da resistência ao embutimento normal às fibras;

$f_{v0,k}$ = valor característico da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras;

E_{c0} = valor médio da rigidez à compressão paralela às fibras;

E_{c90} = valor médio da rigidez à compressão normal às fibras;

E_{t0} = valor médio da rigidez à tração paralela às fibras;

E_M = valor médio da rigidez à flexão;

Na tabela 04 têm-se o número de corpos-de-prova para cada árvore utilizada em cada ensaio. Observa-se que os corpos-de-prova obtidos a partir da árvore 04 não foram utilizados no ensaio, por apresentarem defeitos aparentes.

Tabela 04: Números de corpos-de-prova utilizados em cada ensaio.

Ensaio	Árvore 01	Árvore 02	Árvore 03	Árvore 05	Árvore 06	TOTAL
Teor de Umidade e Densidade Aparente	6	6	6	6	6	30
Densidade Básica	6	6	6	6	6	30
Estabilidade Dimensional	6	6	-	6	6	24
Compressão Paralela	5	5	6	4	5	25

Os ensaios físicos foram realizados no Laboratório de Construções Rurais e Ambiente (LaCRA), da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, durante o mês de Setembro de 2010. Os ensaios mecânicos foram realizados na Sala de Ensaio Mecânicos do Laboratório de

Reciclagem, no período de Novembro/Dezembro de 2010. Ambos os laboratórios estão localizados na Universidade Federal de Campina Grande, campus de Campina Grande, PB.

3.3.1 Teor de umidade

De acordo com a NBR 7190/1997, o teor de umidade é encontrado através da seguinte equação:

$$U(\%) = \frac{m_i - m_s}{m_s} \times 100 \quad (13)$$

Em que:

m_i = massa inicial da madeira (g);

m_s = massa da madeira seca (g).

O corpo-de-prova utilizado para a realização deste ensaio, seguindo as recomendações da NBR 7190/1997, teve 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 10).

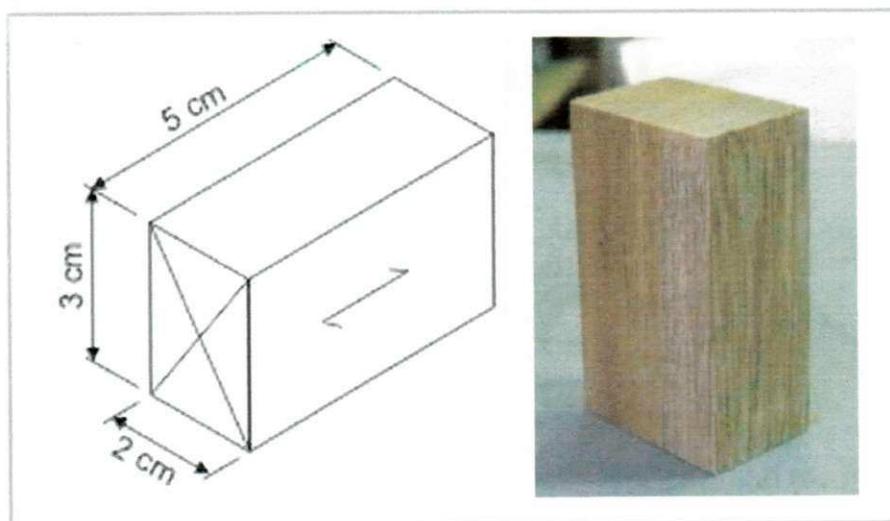


Figura 10: Corpo-de-prova para a determinação do teor de umidade

O ensaio foi iniciado com a determinação da massa inicial (m_i) do corpo-de-prova em uma balança de sensibilidade de 0,01 g. Após a medição, os corpos-de-prova foram levados à uma estufa com temperatura de $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, para assim ser encontrada a massa seca (m_s) da madeira. Para isto, a cada 6 horas foi verificada a massa dos corpos-de-prova, até o ponto em que ocorreu, entre duas medidas consecutivas, uma variação menor ou igual a 0,5% da última massa medida. Encontrada a massa seca (m_s), aplicou-se os resultados na equação (13), obtendo o valor do teor de umidade da amostra.

3.3.2 Densidade aparente

A Densidade Aparente é uma massa específica convencional, definida pela razão entre a massa e o volume do corpo-de-prova com teor de umidade de 12%, encontrada através da seguinte expressão:

$$\rho_{ap} = \frac{m_{12}}{V_{12}} \quad (14)$$

Em que,

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

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

Em geral, os ensaios são realizados em corpos-de-prova com teor de umidade não necessariamente igual a 12%. Para a correção dos valores de densidade aparente para a umidade de 12 % podem ser usados dois procedimentos: a equação de Logsdon e o diagrama de Kollmann.

Logsdon (1998, apud CALIL JÚNIOR et al., 2003), propôs uma equação para se fazer esta correção:

$$\rho_{12} = \rho_U + \rho_U \left[(1 + \delta_V) \frac{(12+U)}{100} \right] \quad (15)$$

Sabendo que:

$$\delta_V = \frac{\Delta V}{U} \quad \text{e} \quad \Delta V = \frac{V_U - V_s}{V_s} \times 100$$

Em que:

ρ_{12} = Densidade aparente à umidade de 12% (g/cm^3);

ρ_U = Densidade aparente à umidade de U% (g/cm^3);

U = Umidade da madeira no instante do ensaio (%);

δ_V = coeficiente de retrabilidade volumétrico;

ΔV = retração volumétrica;

V_U = volume do corpo-de-prova com umidade de U% (cm^3);

V_s = volume do corpo-de-prova seco (cm^3).

O diagrama elaborado por Kollmann também pode ser utilizado para se fazer a correção da densidade aparente. A figura 11 representa tal diagrama (CALIL JÚNIOR et al., 2003). Para encontrar o valor corrigido através desse diagrama, é usado o valor do teor de umidade e a densidade aparente, encontrados através das equações (13) e (14).

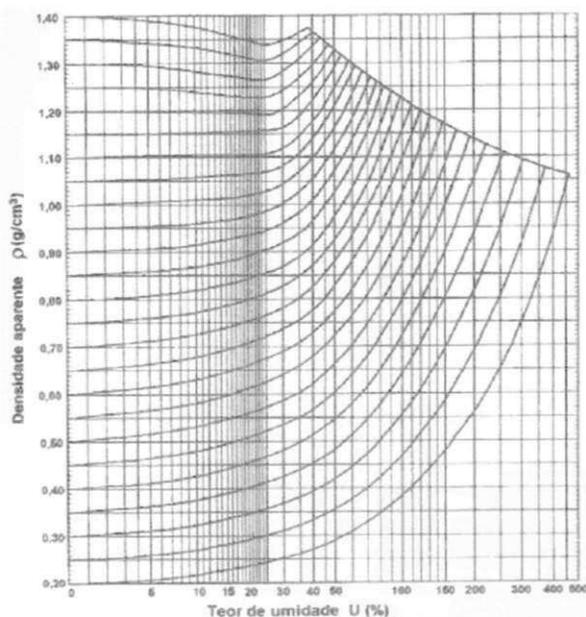


Figura 11: Diagrama de Kollmann (CALIL JÚNIOR et al., 2003)

O corpo-de-prova para este ensaio tem formato prismático com seção transversal retangular de 2,0 cm x 3,0 cm de lado e comprimento ao longo das fibras de 5,0 cm, semelhante ao corpo-de-prova utilizado para o ensaio de teor de umidade (Figura 10).

Com os valores obtidos no ensaio de teor de umidade aplicou-se a equação (14), obtendo o valor de ρ_U (Densidade Aparente para a umidade U encontrada). Posteriormente foi feita a correção da densidade para o teor de umidade de referência de 12%, de acordo com o que especifica a NBR 7190/1997, utilizando-se para isso a equação (15).

Além disso, os dados foram colocados no diagrama de Kollmann para se encontrar por meio desse outro procedimento o valor corrigido para o teor de umidade padrão de 12%.

Os valores obtidos através da equação de Logsdon e do diagrama de Kollmann foram comparados, para verificação de possível diferença.

3.3.3 Densidade básica

A Densidade Básica da madeira é definida como o quociente da massa seca pelo volume saturado, sendo encontrada através da equação abaixo:

$$\rho_{bas} = \frac{m_s}{V_{sat}} \quad (16)$$

Em que,

m_s = massa seca da madeira (g);

V_{sat} = volume da madeira saturada (cm³).

O corpo-de-prova para este ensaio tem as dimensões iguais ao utilizado para o ensaio de teor de umidade (Figura 10). Deve compreender pelo menos 5 anéis de crescimento na seção transversal, caso não seja possível com as dimensões definidas, a seção transversal deve ser aumentada (ANBT, 1997).

A massa seca (m_s) foi determinada seguindo o mesmo procedimento utilizado no ensaio do teor de umidade. Em seguida, os corpos-de-prova foram imersos em água até atingirem massa constante, com uma variação de 0,5% em relação à medida anterior. Com o corpo-de-prova

saturado, determinaram-se as medidas dos lados da seção transversal e do comprimento, utilizando-se para isso um paquímetro, com precisão de 0,1 mm, para assim ser determinado o volume saturado. Com esses valores, aplicou-se na equação (16) encontrando os valores da densidade básica.

3.3.4 Estabilidade dimensional da madeira

As deformações específicas de retração e inchamento são consideradas como índices de estabilidade dimensional, sendo determinada para cada direção preferencial das fibras (longitudinal, radial e tangencial). Para o cálculo desses valores, são utilizadas as dimensões da madeira saturada e seca, e encontradas através das seguintes equações (ANBT, 1997):

$$\varepsilon_{r,x} = \left(\frac{L_{x,sat} - L_{x,seca}}{L_{x,sat}} \right) \times 100 \quad (17)$$

$$\varepsilon_{i,x} = \left(\frac{L_{x,sat} - L_{x,seca}}{L_{x,seca}} \right) \times 100 \quad (18)$$

Em que,

$\varepsilon_{r,x}$ = deformação específica de retração;

$\varepsilon_{i,x}$ = deformação específica de inchamento;

$L_{x,sat}$ = dimensão da madeira saturada, de acordo com a direção preferencial;

$L_{x,seca}$ = dimensão da madeira seca, de acordo com a direção preferencial.

r = índice referente à retração;

i = índice referente ao inchamento;

x = direção das fibras: 1 – longitudinal, 2 – radial e 3 – tangencial;

A variação volumétrica é determinada através da seguinte equação:

$$\Delta V = \frac{V_{sat} - V_{seca}}{V_{seca}} \times 100 \quad (19)$$

Sabendo que,

ΔV = variação volumétrica

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

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

O coeficiente de anisotropia dimensional na retração e no inchamento é definido pela relação da deformação ocorrida na direção tangencial pela direção radial (T/R). O conhecimento desse coeficiente se torna útil no estudo das madeiras, por poder indicar a melhor utilização, em relação à variação dimensional. Na tabela 05, Logsdon e Penna (2004) expressam a qualidade de uso da madeira de acordo com o coeficiente de anisotropia dimensional na retração e no inchamento.

Tabela 05: Coeficiente de anisotropia dimensional e a indicação de utilização para cada valor (LOGSDON e PENNA, 2004).

Coeficiente de Anisotropia		Qualidade da Madeira	Utilização Indicada
Retração	Inchamento		
Até 1,50	Até 1,54	Excelente	Móveis finos, esquadrias, barcos, aparelhos musicais, aparelhos de esporte e etc.
1,50 a 2,00	1,54 a 2,10	Normal	Estante, mesas, armários, usos que permitam pequenos empenamentos.
Acima de 2,00	Acima de 2,10	Ruim	Construção civil (observadas as características mecânicas), carvão, lenha e etc.

Para a realização deste ensaio, o corpo-de-prova deve ter formato prismático com seção transversal retangular de 2,0 cm x 2,0 cm e comprimento ao longo das fibras de 5,0 cm (Figura 10).

Para o ensaio de retrabilidade, foram feitas as medidas iniciais, utilizando um paquímetro, das direções longitudinal, radial e tangencial dos corpos-de-prova, inicialmente saturados ($L_{\infty,\text{sat}}$).

Em seguida foram colocados em estufa, seguindo o mesmo processo de secagem da madeira utilizado nos ensaios de teor de umidade e densidade básica, até que as medidas das seções tivessem uma variação menor que 0,02 mm entre duas medidas consecutivas ($L_{x,seca}$). Os valores obtidos foram então aplicados na equação (17).

Para o ensaio de inchamento, foram feitas medições com um paquímetro nas direções longitudinal, radial e tangencial nos corpos-de-prova, inicialmente secos ($L_{x,seca}$). Posteriormente, foram imersos em água, seguindo o mesmo processo para a determinação do volume saturado no ensaio de densidade básica. Obtendo as medidas das direções longitudinal, radial e tangencial ($L_{x,sat}$). Com esses valores, aplicou-se na equação (18).

Os valores obtidos através do ensaio de estabilidade dimensional da madeira de cumaru foram utilizados para o cálculo da variação volumétrica através da equação (19). Esses dados também foram utilizados para o cálculo do coeficiente de anisotropia dimensional na retração e no inchamento, sendo os valores comparados com os dados fornecidos na Tabela 05.

3.3.5 Resistência e rigidez à compressão paralela às fibras

De acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997), a resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0}) pode ser encontrada através da seguinte equação:

$$f_{c0} = \frac{F_{c0,max}}{A} \quad (20)$$

Em que,

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

$F_{c0,Max}$ = força máxima de compressão (N);

A = área inicial da seção transversal comprimida (m^2).

Já a rigidez da madeira na direção paralela às fibras, é determinada através do módulo de elasticidade, que deve ser obtido através do gráfico, tensão x deformação específica (Figura 12). O módulo de elasticidade é dado pela inclinação da reta secante à curva tensão x deformação que é definida pelos pontos ($\sigma_{10\%}$; $\epsilon_{10\%}$) e ($\sigma_{50\%}$; $\epsilon_{50\%}$), obtido através da equação abaixo:

$$E_{c0} = \frac{\sigma_{50\%} - \sigma_{10\%}}{\varepsilon_{50\%} - \varepsilon_{10\%}} \quad (21)$$

Em que,

E_{c0} = módulo de elasticidade na direção paralela às fibras (MPa);

$\sigma_{50\%}$ e $\sigma_{10\%}$ = tensões de compressão correspondentes a 10 e 50% da resistência f_{c0} , estimada em um ensaio destrutivo inicial;

$\varepsilon_{50\%}$ e $\varepsilon_{10\%}$ = deformações específicas medidas no corpo-de-prova, correspondentes às tensões de $\sigma_{50\%}$ e $\sigma_{10\%}$.

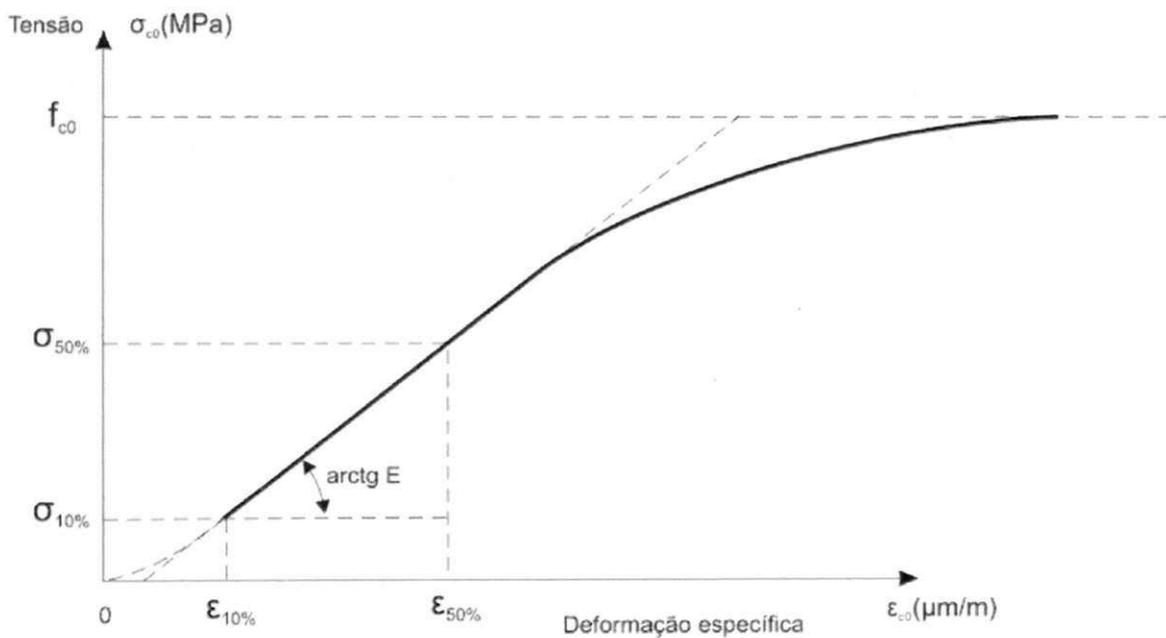


Figura 12: Diagrama ensaio x Deformação específica para a determinação da rigidez à compressão paralela às fibras (ABNT, 1997).

Os resultados de resistência e rigidez devem ser corrigidos para a umidade padrão de referência, 12%, adotado pela NBR 7190/1997, através das seguintes equações:

$$f_{12} = f_{U\%} \left[1 + \frac{3(U\% - 12)}{100} \right] \quad (22)$$

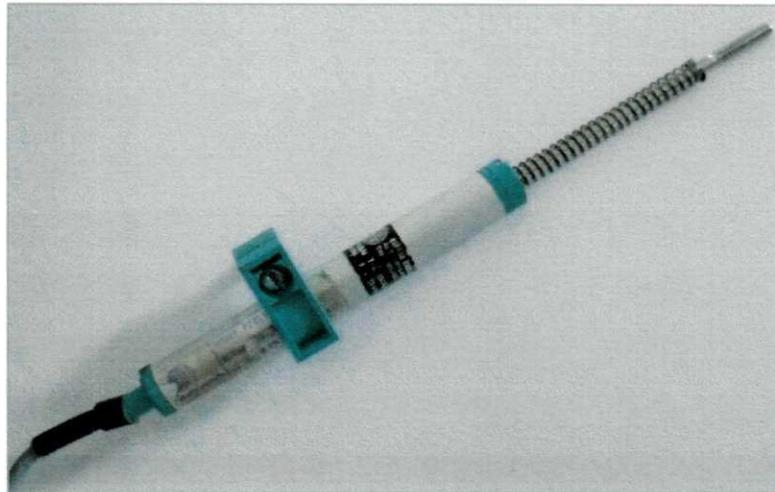


Figura 14: Transdutor de Deslocamento Linear (LVDT)

Os LVDT's foram fixados por meio de quatro cantoneiras pregadas em faces opostas no corpo-de-prova por meio de parafusos, com uma distância nominal de 10 cm entre as pregações (Figura 15), de acordo com o procedimento descrito por Rocha (2007).

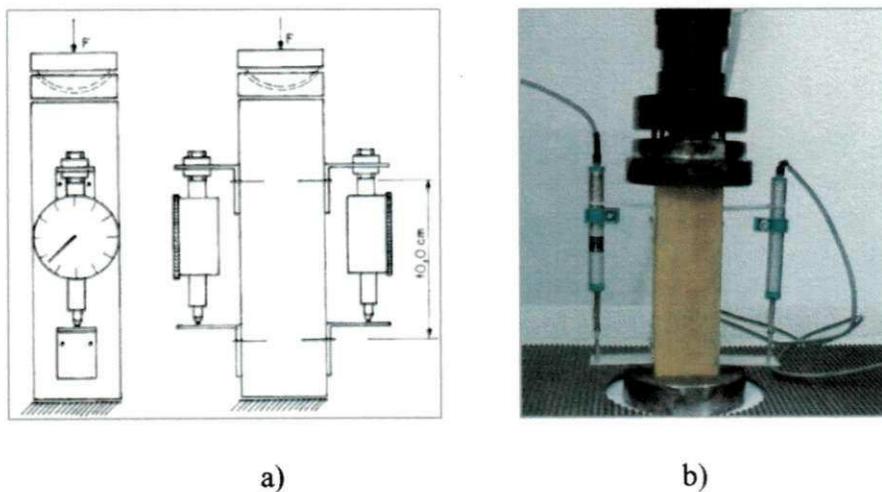
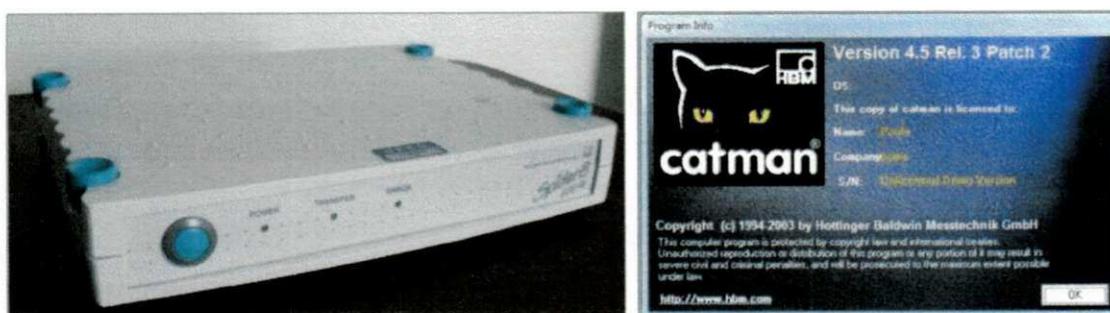


Figura 15: a) Arranjo de ensaio para compressão paralela às fibras, com instrumentação baseada em relógios comparadores (ABNT, 1997); b) Arranjo de ensaio, com instrumentação baseada em transdutores de deslocamento linear – LVDT

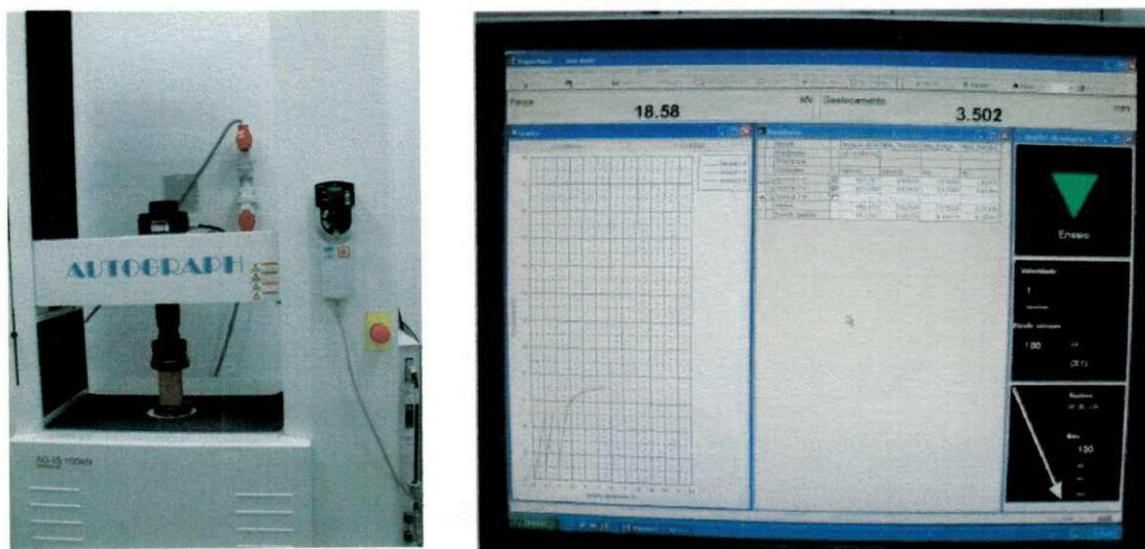
Os LVDT's foram ligados a um aparelho Spider 8 da marca "HBM", um equipamento com sistema de aquisição de dados, que por sua vez foi conectado a um microcomputador com o software *Catman* (Figura 16), onde através do *Data Logger* fez os registros da deformação dos corpos-de-prova. Para a determinação da resistência, foi utilizada uma Máquina de ensaios, Modelo Autograph AG-IS 100kN, da marca Shimadzu, ligada a um segundo microcomputador, onde o software *Trapezium* fazia todos os registros de força utilizados (Figura 17).



a)

b)

Figura 16: a) Spider8; b) Tela inicial do software Catman



a)

b)

Figura 17: a) Máquina de Ensaios; b) Software *Trapezium* em execução

A resistência foi determinada através de carregamento monotônico crescente, com uma taxa de cerca de 10 MPa/min. Inicialmente foi estimada a resistência da madeira ($f_{c0,est}$) através de ensaio destrutivo em um corpo-de-prova. Com a resistência estimada, o carregamento foi aplicado em dois ciclos de carga e descarga, de acordo com o diagrama de carregamento (Figura 18), fazendo-se registros das cargas e das deformações em cada ponto do diagrama de carregamento. Os dois ciclos de carga e descarga são necessários para acomodar as fibras da madeira.

Ao final do segundo ciclo, elevou-se a carga até a ruptura do corpo-de-prova. No momento em que a carga atingiu 70% de seu valor estimado, retiraram-se os LVDTs, evitando assim que fossem danificados.

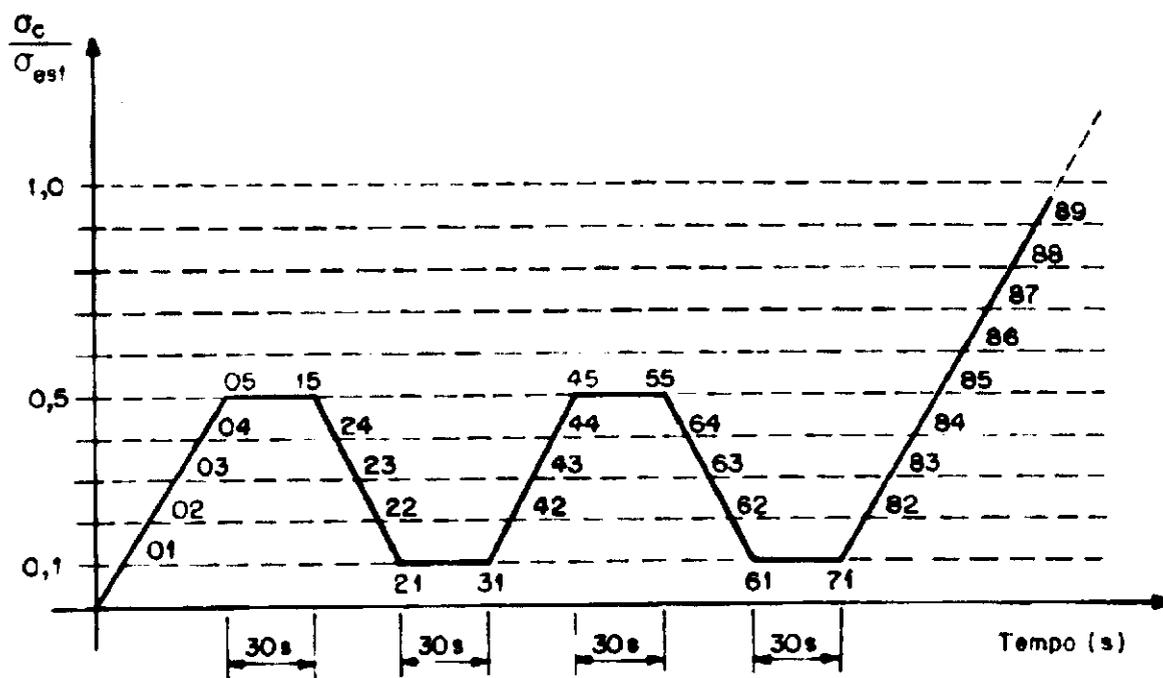


Figura 18: Diagrama de carregamento para ensaio de compressão paralela às fibras (ABNT, 1997)

Na figura 19, pode-se observar um corpo-de-prova após o rompimento durante a realização do ensaio de compressão paralela às fibras.

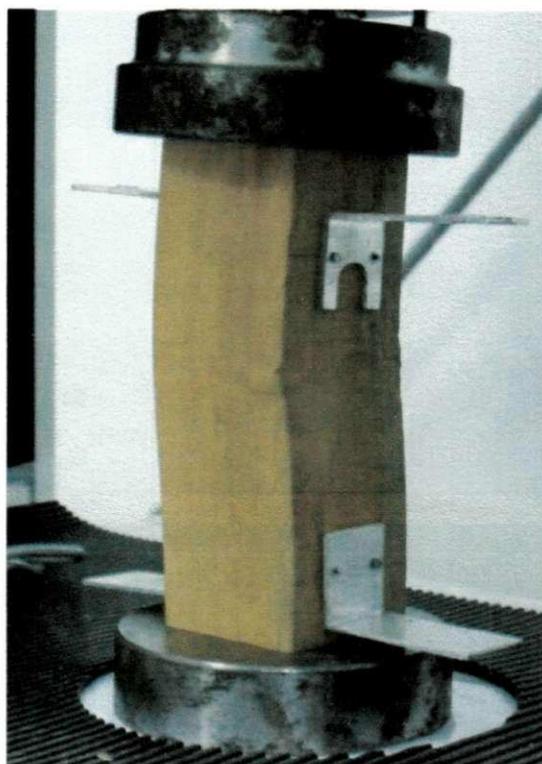


Figura 19: Corpo-de-prova após a ruptura durante ensaio de compressão paralela

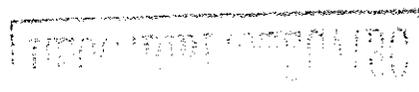
Os dados obtidos da força máxima aplicada em cada corpo-de-prova e da área da seção transversal dos corpos-de-prova foram aplicados na equação (20), obtendo-se os valores de resistência para cada corpo-de-prova. Da mesma forma, os dados das tensões e deformações foram aplicados na equação (21), obtendo os valores de rigidez.

Para a correção dos valores de resistência e rigidez para o teor de umidade padrão de 12% foram usadas as equações (22) e (23), como indica a NBR 7190/1997.

A partir do valor característico da resistência obtido através da equação (01) e da rigidez média obtidos com o ensaio de compressão paralela às fibras, os demais valores de resistência e rigidez à compressão normal, tração paralela, flexão, cisalhamento e embutimento foram estimados através das equações de (02) a (12).

3.4 Análise dos resultados

As propriedades físicas (teor de umidade, densidade básica e aparente, retração, inchamento e variação volumétrica) e mecânicas (resistência e rigidez à compressão paralela às fibras) foram analisadas através de procedimentos estatísticos descritivos, utilizando para isso valores de média, desvio padrão e coeficiente de variação.



4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo segue uma descrição dos resultados obtidos através dos ensaios realizados para uma caracterização simplificada da madeira, de acordo com a NBR 7190/1997, sendo eles: Teor de Umidade, Densidade Básica e Aparente, Estabilidade Dimensional e Compressão Paralela às Fibras.

4.1 Propriedades físico-mecânicas

4.1.1 Teor de umidade

O valor do teor de umidade médio encontrado para a madeira *Amburana cearensis* ficou em 31,06%, com coeficiente de variação de 29,74% (Tabela 06).

Tabela 06: Teor de umidade da madeira *Amburana cearensis*.

Árvore	U (%)
1	42,84
2	27,93
3	22,66
5	38,74
6	23,12
Média	31,06
Desvio Padrão	9,24
CV (%)	29,74

Os valores apresentados na tabela 06 são médias dos valores de teor de umidade obtidos para cada árvore analisada, sabendo que para cada árvore foram utilizados 6 corpos-de-prova (Tabela 04). Os corpos-de-prova da árvore 4 não foram utilizados nestes ensaios, por

apresentarem problemas, como nós e conterem apenas albúmeno. Pode-se ainda destacar o alto teor de umidade das Árvores 1 e 5, quando comparada com as outras.

Todos os valores obtidos foram superiores a 20%, podendo-se considerar que todas as peças estavam com teor de umidade superior ao ponto de saturação das fibras.

4.1.2 Densidade aparente

A densidade aparente média, para a umidade de 12%, para a madeira analisada foi de 0,58 g/cm³ ou 580 kg/m³, com coeficiente de variação de 3,95% (Tabela 07). Para a correção dos valores de densidade aparente foram usados o Diagrama de Kolmann e a Equação de Logsdon, obtendo-se valores médios coincidentes. Para este ensaio também não foram utilizados corpos-de-prova da árvore 4.

Tabela 07: Densidade aparente corrigida para a umidade de referência de 12% da madeira *Amburana cearensis*.

Árvore	$\rho_{ap 12\%}$ (g/cm ³)
1	0,60
2	0,60
3	0,56
5	0,55
6	0,58
Média	0,58
Desvio Padrão	0,02
CV (%)	3,95

Observa-se um baixo valor para o Coeficiente de Variação, mostrando homogeneidade nos valores obtidos para a densidade aparente.

4.1.3 Densidade básica

A Densidade Básica ficou em $0,52 \text{ g/cm}^3$ ou 520 kg/m^3 , com coeficiente de variação de 8,60% (Tabela 08). Da mesma forma que nos demais não foram utilizados corpos-de-prova da árvore 4.

Tabela 08: Densidade básica da madeira *Amburana cearensis*.

Árvore	$\rho_{bas} (\text{g/cm}^3)$
1	0,53
2	0,59
3	0,47
5	0,52
6	0,50
Média	0,52
Desvio Padrão	0,05
CV (%)	8,60

Do mesmo modo que no ensaio de densidade aparente, o coeficiente de variação apresentou um valor relativamente baixo, indicando que os dados estão homogêneos.

Vale et al. (2005) apud Gatti et al. (2009) classificam as madeiras de acordo com o valor da densidade básica em madeira de baixa densidade aquelas com valor até $0,5 \text{ g/cm}^3$, moderadamente duras para valores entre $0,5$ e $0,7 \text{ g/cm}^3$, e duras as que apresentam valores superiores a $0,7 \text{ g/cm}^3$. Gatti et al. (2009) citam ainda que madeira com alta densidade são indicadas para a produção de energia, não sendo indicadas para a confecção de pequenos objetos. Por serem mais duras, apresentam dificuldades em se trabalhar com ferramentas, apesar de apresentarem maiores resistências mecânicas. O mesmo autor recomenda ainda que para pequenos objetos de madeira, tais como brinquedos, utensílios domésticos e de escritório, deve-se utilizar madeira de densidade moderadamente duras.

Em estudo realizado no município de Piracicaba, no estado de São Paulo, Gatti et al. (2009) estudaram a densidade de onze espécies utilizadas na ornamentação urbana. A maior parte dos resultados apontou para madeiras de densidade moderadamente duras, a exemplo da madeira

de Rosedá (densidade básica de $0,59 \text{ g/cm}^3$), Falso-chorão ($0,53 \text{ g/cm}^3$) e Canelinha ($0,52 \text{ g/cm}^3$). Comparando esses valores com o resultado obtido com a madeira de Cumaru ($0,52 \text{ g/cm}^3$), verifica-se a proximidade dos valores, podendo classificar a madeira de Cumaru como moderadamente dura.

Icimoto et al. (2009) estudaram as propriedades físicas da madeira de Angico Branco, com o objetivo de enfatizar a importância das propriedades físicas em detrimento das propriedades mecânicas. Obteve para a densidade básica um valor médio de $0,64 \text{ g/cm}^3$ e para densidade aparente $0,72 \text{ g/cm}^3$. Os valores da madeira de Cumaru ficaram abaixo desses valores, $0,52$ e $0,58 \text{ g/cm}^3$, respectivamente. Porém, se observados os valores individuais de cada corpo-de-prova, verifica-se que para a madeira de Angico Branco obteve alguns valores mais próximos da madeira de Cumaru ($0,58 \text{ g/cm}^3$). Do mesmo modo que para a madeira de Cumaru alguns valores para as densidades estão acima de $0,60 \text{ g/cm}^3$. Para o autor, são valores intermediários, implicando em boas propriedades mecânicas, e a possibilidade de aplicação da madeira na indústria de mobiliários.

Os valores obtidos para todos os corpos-de-prova utilizados nos ensaios de densidade básica e densidade aparente encontram-se no Apêndice A.

4.1.4 Estabilidade dimensional

A deformação média de retração na direção longitudinal foi de $0,64\%$, com coeficiente de variação de $22,06\%$, na direção radial foi de $3,47\%$, com coeficiente de variação de $21,77\%$, e na direção tangencial foi de $4,99\%$, com coeficiente de variação de $32,84\%$ (Tabela 09).

Já a deformação média de inchamento na direção longitudinal foi de $0,84\%$, com coeficiente de variação de $22,96\%$, na direção radial foi de $2,13\%$, com coeficiente de variação de $22,94\%$, e na direção tangencial foi de $3,76\%$, com coeficiente de variação de $18,21\%$. A variação volumétrica média foi de $7,10\%$, com coeficiente de variação de $7,76\%$ (Tabela 09).

Observa-se que tanto na retração quanto no inchamento a deformação na direção tangencial foi maior que na radial, e a deformação na direção longitudinal não passou de 1% , estando de acordo com Calil Júnior et al. (2003) e Pfeil e Pfeil (2003).

Tabela 09: Deformação específica de retração, deformação específica de inchamento e variação volumétrica da madeira *Amburana cearensis*.

Árvore	$\epsilon_{r,1}$	$\epsilon_{r,2}$	$\epsilon_{r,3}$	$\epsilon_{i,1}$	$\epsilon_{i,2}$	$\epsilon_{i,3}$	AV
1	0,59	4,21	7,41	0,65	1,95	4,68	7,73
2	0,49	3,99	3,75	0,78	2,67	3,51	7,33
5	0,65	2,62	4,52	0,82	1,55	3,80	6,47
6	0,82	3,06	4,30	1,11	2,37	3,05	6,86
Média	0,64	3,47	4,99	0,84	2,13	3,76	7,10
Desvio Padrão	0,14	0,75	1,64	0,19	0,49	0,68	0,55
CV (%)	22,06	21,77	32,84	22,96	22,94	18,21	7,76

* O índice 1 equivale a direção longitudinal, o índice 2 a direção radial e o índice 3 a direção tangencial.

Os valores de coeficiente de variação obtidos foram relativamente altos, ainda assim podem ser considerados normais, com exceção da retração na direção tangencial. Essa variabilidade possa ser explicada pelo grande valor de retração obtido para a árvore 1, provavelmente pelo alto teor de umidade (42,84%), conforme destacado anteriormente. Por outro lado, o valor do coeficiente de variação da variação volumétrica (7,76%) pode ser considerado baixo.

Calil Júnior et al. (2003) citam que as espécies que possuem uma baixa relação de deformação na direção tangencial e radial (T/R) e baixos valores de retração tangencial e radial são as que apresentam melhor desempenho quanto a estabilidade dimensional. Na tabela 10 encontram-se os valores para a madeira estudada. O valor obtido para a relação T/R de retração ficou em 1,58, com coeficiente de variação de 25,89%, e para o inchamento, a relação T/R ficou em 2,03, com coeficiente de variação de 35,22% (Tabela 10).

Os valores da relação T/R obtidos no ensaio se enquadram na qualidade normal, de acordo com a classificação sugerida por Logsdon e Penna (2004) resumida na tabela 05. Nesta classificação a madeira pode ser empregada na indústria moveleira em produtos que aceitem pequenos empenamentos, como estantes, mesas, armários etc. Os valores de coeficiente de variação (%) foram relativamente altos, sendo maiores no inchamento do que na retração. Apesar da variabilidade dos resultados pode-se dizer que a madeira estudada, quando usada na fabricação de móveis não deve apresentar problemas de retração.

Tabela 10: Coeficiente de anisotropia dimensional na retração e no inchamento da madeira *Amburana cearensis*.

Árvore	Relação T/R de retração	Relação de T/R de inchamento
1	1,87	2,54
2	1,02	1,37
5	1,90	2,75
6	1,54	1,40
Média	1,58	2,03
Desvio Padrão	0,41	0,72
CV (%)	25,89	35,22

Os resultados obtidos para o coeficiente de anisotropia dimensional (R/T) na retração, apesar da variabilidade dos dados, ficaram todos abaixo de 2,00, com valor médio de 1,58. Os resultados, para o mesmo coeficiente, no inchamento foram mais variáveis, apresentando alguns valores acima de 2,10, mas o valor médio foi de 2,03, menor, portanto, que 2,10.

4.1.5 Compressão paralela às fibras

4.1.5.1 Resistência

Na tabela 11, pode-se observar os valores de resistência corrigidos para o teor de umidade padrão de 12% para todas as árvores analisadas. O valor médio da resistência à compressão paralela às fibras obtido, corrigido para o teor de umidade padrão de 12%, ficou em 26,42 MPa, com coeficiente de variação de 4,74% (Tabela 11).

Estando todos os corpos-de-prova com umidade superior ao ponto de saturação das fibras, para correção dos valores de resistência para o teor de umidade de 12%, foi usada a umidade de 20% na equação (10).

Tabela 11: Resistência à compressão paralela corrigida para a umidade padrão de 12% (f_{c0}) para a madeira *Amburana cearensis*.

Árvore	f_{c0} (MPa)
1	24,85
2	25,56
3	27,75
5	26,38
6	27,56
Média	26,42
Desvio Padrão	1,25
CV (%)	4,75

É importante destacar o baixo valor do coeficiente de variação (%) para a resistência (f_{c0}), mostrando a grande homogeneidade da madeira estudada, para essa propriedade.

4.1.5.2 Rigidez

Na tabela 12, observam-se os valores de rigidez corrigidos para a umidade padrão de 12%. A rigidez média corrigida para a umidade padrão de 12%, obtida através do mesmo ensaio para o cálculo da resistência, ficou em 18.156,06 MPa, com coeficiente de variação de 8,34%.

Da mesma forma que na resistência, foi usado o valor de 20% para na equação (10) para a correção da rigidez para o teor de umidade padrão de 12%. Destaca-se também a homogeneidade dos resultados da rigidez para a madeira estudada, através do baixo valor do coeficiente de variação (%).

Os valores de resistência e rigidez obtidos em cada corpo-de-prova são apresentados no Apêndice C.

Tabela 12: Rigidez à compressão paralela corrigida para a umidade padrão de 12% (E_{c0}) para a madeira *Amburana cearensis*.

Árvore	E_{c0} (MPa)
1	17.124,68
2	20.151,00
3	18.750,94
4	16.287,74
5	17.185,74
6	19.436,23
Média	18.156,06
Desvio Padrão	1.514,49
CV (%)	8,342

4.1.5.3 Valor característico da madeira estudada

O valor característico da resistência obtido através do estimador da equação (10) ficou em 26,55 MPa.

A partir do valor característico da resistência e de acordo com a classificação proposta pela NBR 7190/1997 a madeira de *Amburana cearensis* pode ser enquadrada na classe C20 das classes de referência para as dicotiledôneas (Tabela 03).

Na tabela 13 podem ser observados um resumo dos resultados obtidos para a madeira de *Amburana cearensis*.

Tabela 13: Densidade Básica (ρ_{bas}), Densidade Aparente (ρ_{ap12}), Resistência (f_{c0}) e Rigidez (E_{c0}) para a madeira *Amburana cearensis*.

ρ_{bas} (Kg/m ³)	ρ_{ap12} (Kg/m ³)	f_{c0} (MPa)	E_{c0} (MPa)
520	580	26	18.156

4.1.5.4 Estimativa de valores característicos

Os valores característicos de resistência e rigidez para as demais propriedades mecânicas foram estimados através da resistência à compressão paralela obtido no ensaio, tais valores estão apresentados na tabela 14.

Tabela 14: Valores característicos estimados de resistência e rigidez para a madeira *Amburana cearensis*.

Ensaio	Valores Característicos (MPa)
Resistência à tração paralela (f_{0p})	34,49
Resistência à compressão normal (f_{c90})	6,64
Resistência à tensão na flexão (f_{b1})	34,49
Resistência ao embutimento paralelo (f_{0p})	26,55
Resistência ao embutimento normal (f_{c90})	6,64
Resistência ao cisalhamento paralelo (f_{0p})	3,19
Rigidez à compressão normal (E_{c90})	907,80
Rigidez à tração paralela (E_{0p})	18.156,06
Rigidez à flexão (E_{b1})	16.340,45

4.1.5.5 Comparação das propriedades com outras madeiras já estudadas

Para fins de comparação, na tabela 15 são apresentados valores de referências das espécies de Algaroba, *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. (Leguminosae) (GOMES et al., 2007), Cedro-marinho, *Guarea trichilioides* L. (Meliaceae) (LOGSDON et al., 2008b), Angelim pedra-verdadeiro, *Dinizia excelsa* (Leguminosae) (ABNT, 1997), Jurema-preta *Mimosa tenuiflora* Willd. Poir. (Leguminosae) (ROCHA, 2007), e Peroba-mica *Aspidosperma populifolium* A. DC. (Apocynaceae) (LOGSDON et al., 2008a).

Tabela 15: Valores para comparação de Densidade Aparente (ρ_{ap12}), Resistência (f_{c0}) e Rigidez (E_{c0}) de algumas espécies.

Espécie	ρ_{ap12} (Kg/m ³)	f_{c12} (MPa)	E_{c12} (MPa)	Classe
Cumaru (espécie estudada)	580,0	26,4	18.156	C20
Algaroba (GOMES et al., 2007)	1.068,6	86,6	22.330	C60
Jurema-Preta (Rocha, 2007)	1.060,0	59,1	13.257	C40
Angelim pedra-verdadeiro (ABNT, 1997)	1.170,0	76,7	16.694	C60
Cedro-marinheiro (LOGSDON et al., 2008b)	760,4	57,0	18.241	C50
Peroba-mica (LOGSDON et al., 2008a)	725,9	64,8	16.263	C60

A espécie de Algaroba, analisada por Gomes et al. (2007), tinha idade em torno de 10 anos, tendo sido extraída do município de Coxixola, Paraíba, pertencente a mesorregião da Borborema, dentro do bioma da Caatinga. Da mesma forma, a madeira Jurema-preta analisada por Rocha (2007) também foi extraída da Caatinga, mas especificamente na cidade de Santa Terezinha (Mesorregião do Sertão Paraibano), Paraíba, com idades entre 8 e 10 anos. Ambas fazem parte do mesmo bioma onde a madeira de Cumaru (*Amburana cearensis*) foi extraída, a Caatinga.

As madeiras Cedro-marinheiro e Peroba-mica, analisadas por Logsdon et al. (2008b) e Logsdon et al. (2008a), respectivamente, foram extraídas da região amazônica, com resistência de mediana a alta. São madeiras indicadas para a aplicação em estruturas de médio e grande porte.

As espécies de Algaroba, Angelim pedra-verdadeiro e Jurema-preta, classificadas com C60, C40 e C60, respectivamente, pertencem à mesma família que a Cumaru, C20, a Leguminosae. Entre elas, a madeira de cumaru apresentou resistência inferior, talvez pelo fato da madeira ter apresentado um alto valor de teor de umidade, o que pode acarretar em diminuição das propriedades mecânicas. Porém, o módulo de elasticidade foi um dos maiores, ficando abaixo apenas da madeira de Algaroba, espécie muito utilizada em reflorestamentos na região Nordeste na década de 1970.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Para a madeira de cumaru foram obtidos valores de resistência e rigidez à compressão paralela de 26 MPa e 18.156 MPa, respectivamente, e coeficiente de anisotropia dimensional de retração e inchamento (T/R) de 1,58 e 2,03, respectivamente.

Com os resultados obtidos através de uma caracterização simplificada, seguindo as recomendações da NBR 7190/1997, enquadra-se a madeira na classe C20. Podendo ser indicada para usos em produtos que não exijam grandes esforços, como mobiliários e produtos da arquitetura rural, como cercas, portões e elementos de paisagismo.

O coeficiente de anisotropia obtido através da classificação proposta por Logsdon e Penna (2004) (Tabela 02) confirma a utilização da madeira indicada anteriormente. Tendo se enquadrado na qualidade normal, que vai de 1,50 a 2,00 para a retração e 1,54 a 2,10 para o inchamento. Essa classificação direciona o uso da madeira em produtos que aceitam leves empenamentos, tais como estantes, mesas e armários.

Para uso da madeira de cumaru em estruturas de obras civis sugere-se um estudo mais aprofundado com a realização dos demais ensaios mecânicos descritos pela NBR 7190/1997, tais como flexão, tração paralela e normal às fibras, cisalhamento, embutimento, etc. visando dessa forma, obter uma caracterização completa da madeira. Sugere-se ainda um estudo sobre as propriedades físicas e mecânicas das galhadas das árvores, buscando uma nova metodologia de ensaios, e, aproveitamento total das árvores coletadas.

É importante ressaltar que o uso de tratamentos preservativos nas madeiras antes da confecção dos produtos desejados, aumenta a vida útil das peças produzidas. Aconselha-se então o estudo do tratamento que melhor se adapte a madeira *Amburana cearensis*.

Com a adoção da madeira em questão em reflorestamentos, visando seu emprego na indústria de mobiliários, por exemplo, podem-se adotar medidas de manejo, que direcionam o crescimento e a qualidade da madeira para o determinado fim a que se deseja. Sugere-se com este trabalho que essa posição possa acontecer na região da caatinga, visando à produção de uma madeira de qualidade e que está em vias de desaparecer.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIMÓVEL. **Panorama do Setor Moveleiro 2008 – 2009**. Disponível em: <
http://www.abimovel.com/abimovel_novo/info_programa_setor_moveleiro.php>, acessado em
Fevereiro de 2011.
- ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190 - Projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997, 107p.
- ABRAF – Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. Anuário estatístico da ABRAF 2010, ano base 2009. Brasília, 2010.
- BACHA, C. J. C. **Análise da Evolução do Reflorestamento no Brasil**. Revista de Economia Agrícola, São Paulo – SP, v. 55, n. 2, p 5-24, jul/dez – 2008.
- BARBOSA, U. de S. T.; MINÁ, A. J. S.; ALEXANDRE, M. V. **Avaliação da caracterização físico-mecânica de madeiras juvenis de reflorestamento**. XII Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, Lavras – MG, 2010.
- CALIL Jr, C.; LAHR, F. A. R.; DIAS, A. A. **Dimensionamento de Elementos Estruturais de Madeira**. Manole: Barueri, SP. 2003.
- CUNHA, M. do L.; FERREIRA, R. A. **Aspectos morfológicos da semente e do desenvolvimento da planta jovem de *Amburana cearensis* (Arr. Cam.) A. C. Smith – Cumarú – Leguminosae papilionoideae**. Revista Brasileira de Sementes, vol. 25, n. 2, p. 89 a 96, 2003.
- GATTI, R. C.; ARTHUSO, J. P.; NOLASCO, A. M.; ULIANA, L. R. **Densidade Básica e Aparente da madeira de galhos de onze espécies utilizadas em arborização urbana**. XVII Simpósio Internacional de Iniciação Científica da Universidade de São Paulo. São Paulo -SP, 2009.
- GOMES, J. J.; TOLEDO FILHO, R. D.; NASCIMENTO, J. W. B. do; SILVA, V. R. da; NÓBREGA, M. V. da. **Características tecnológicas da *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. e**

- alternativas para o uso racional.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande – PB, v. 11, n. 5, set/out – 2007.
- GUEDES, C. C. **A política de reflorestamento na Paraíba.** Dissertação (Mestrado em Economia) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1984.
- ICIMOTO, F. H.; CAMPOS, C. I. de; FERRO, F. S. **Análise das propriedades físicas do angico branco.** XXI Congresso de Iniciação Científica da UNESP. São José do Rio Preto - SP, 2009.
- LOGSDON, N. B.; FINGER, Z.; BORGES, C. G. A. **Caracterização Físico-mecânica da Madeira de Peroba-Mica, *Aspidosperma populifolium* A. DC. (Apocynaceae).** Revista Floresta, Curitiba – PR, v. 38, n. 1, p 11-21, jan/mar – 2008a.
- LOGSDON, N. B.; FINGER, Z.; PENNA, J. E. **Caracterização físico-mecânica da madeira de Cedro-marinheiro, *Guarea trichilioides* L. (Meliaceae).** Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 36, n. 77, p. 43-51, mar. 2008b.
- LOGSDON, N. B.; PENNA, J. E. **Análise Comparativa entre os Coeficientes de Anisotropia Dimensional da Madeira, no Inchamento e na Retração.** Revista Agricultura Tropical, Cuiabá – MT, v.8, n.1, p. 9-20, 2004.
- LOPES, C. S. D. **Caracterização da madeira de três espécies de eucalipto para uso em movelaria.** Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2007.
- LORENZI, Harri. **Árvores Brasileiras: Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil.** 3ª edição, v. 1. Nova Odessa, SP: Editora Plantarum, 2009.
- MARTÍNEZ-ESPINOSA, M.; CALIL JR, C.; LAHR, F. A. R. **Métodos paramétricos e não-paramétricos para determinar o valor característico em resultados de ensaio de madeira.** Scientia Forestalis, n.66, p. 76-83, dez 2004.
- OLIVEIRA, A. K. F. de. **Caracterização físico-mecânicas de laminado colado de bambu (*Dendrocalamus giganteus*) para revestimento de pisos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, 2005.

- PAZETTO, V. M. de F. **Efeito da espessura e do vão sobre deformação em flexão de painéis de madeira utilizados na produção de móveis.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, 2009.
- PFEIL, Walter & PFEIL, Michèle. **Estruturas de Madeira.** 6ª Edição. LTC Editora, Rio de Janeiro – RJ, 2003
- PINHEIRO, R. V. **Influência da preservação contra a demanda biológica em propriedades de resistência e de elasticidade da madeira.** Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 2001.
- RAMOS, K. M. O.; FELFILI, J. M.; FAGG, C. W.; SOUSA-SILVA, J. C.; FRANCO, A. C. **Desenvolvimento inicial e repartição de biomassa de *Amburana Cearensis* (Allemão) A. C. Smith, em diferentes condições de sombreamento.** Sociedade Botânica do Brasil, v. 18, n. 2, p 351-358, 2003.
- RIZZINI, C. T. **Plantas do Brasil: Árvores e Madeiras Úteis do Brasil.** Manual de Dendrologia Brasileira. 5ª edição. Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo, 2000.
- ROCHA, H. L. S. da. **Caracterização físico-mecânica da madeira de Jurema-Preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd) Poir.) visando seu emprego na indústria madeireira do semi-árido brasileiro.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, 2007.
- SAMPAIO, E. V. S. B.; GIULIETTI, A. M.; VIRGÍNIO, J.; GAMARRA-ROJAS, C. F. L. **Vegetação e Flora da Caatinga.** Contribuição ao Workshop Avaliação e Identificação de Ações Prioritárias para a Conservação, Utilização Sustentável e Repartição dos Benefícios da Biodiversidade do Bioma Caatinga, em Petrolina, 5/2000. Associação Plantas do Nordeste – APNE, Centro Nordestino de Informações sobre Plantas – CNIP. Recife, 2002.
- SILVA, José Maria Cardoso da; TABARELLI, Marcelo; FONSECA, Mônica Tavares da; LINS, Livia Vanucci (Org.). **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação.** Brasília, DF: Ministério de Meio Ambiente, Universidade Federal de Pernambuco, 2003.

STUMPP, Eugen. **O futuro nas madeiras de reflorestamento**. Revista da Madeira, n° 112, Abril/2008. Disponível em: <
http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1242&subject=Pin%E1ceas&title=O%20futuro%20das%20madeiras%20de%20reflorestamento>, acessado em Fevereiro de 2011.

TORRES, P. M. de A. **Caracterização da Madeira Juvenil de *Eucalyptus camaldulensis* DEHNH. para aplicação da arquitetura rural**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, 2008.

ULIANA, L. R. **Diagnóstico da geração de resíduos na produção de móveis: subsídios para a gestão empresarial**. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2005.

VIEIRA, G. A. (Org.). **Florestas Plantadas: Um compromisso com o desenvolvimento social**. Associação Mineira de Silvicultura, 2006.

APÊNDICE

Apêndice A

Valores de Densidade Aparente e Densidade Básica para todos os corpos-de-prova analisados.

Tabela 16: Densidade Aparente e Densidade Básica para a árvore 1.

Corpo-de-prova	$\rho_{app,12\%}$ (g/cm ³)	ρ_{bas} (g/cm ³)
1	0,50	0,53
2	0,60	0,55
3	0,67	0,51
4	0,66	0,57
5	0,53	0,51
6	0,52	0,56
Média	0,60	0,54
Desvio Padrão	0,07	0,02
CV (%)	12,02	3,98

Tabela 17: Densidade Aparente e Densidade Básica para a árvore 2.

Corpo-de-prova	$\rho_{app,12\%}$ (g/cm ³)	ρ_{bas} (g/cm ³)
1	0,68	0,55
2	0,66	0,56
3	0,62	0,58
4	0,66	0,57
5	0,49	0,56
6	0,50	0,60
Média	0,62	0,59
Desvio Padrão	0,08	0,04
CV (%)	14,12	6,79

Tabela 18: Densidade Aparente e Densidade Básica para a árvore 3.

Corpo-de-prova	$\rho_{ap,12\%}$ (g/cm ³)	ρ_{bas} (g/cm ³)
1	0,56	0,46
2	0,54	0,49
3	0,58	0,47
4	0,55	0,46
5	0,55	0,48
6	0,56	0,46
Média	0,56	0,47
Desvio Padrão	0,01	0,01
CV (%)	2,45	2,69

Tabela 19: Densidade Aparente e Densidade Básica para a árvore 5.

Corpo-de-prova	$\rho_{ap,12\%}$ (g/cm ³)	ρ_{bas} (g/cm ³)
1	0,59	0,49
2	0,61	0,49
3	0,51	0,53
4	0,51	0,52
5	0,50	0,50
6	0,57	0,56
Média	0,55	0,52
Desvio Padrão	0,04	0,03
CV (%)	7,97	5,32

Tabela 20: Densidade Aparente e Densidade Básica para a árvore 6.

Corpo-de-prova	$\rho_{ap,12\%}$ (g/cm ³)	ρ_{bas} (g/cm ³)
1	0,59	0,46
2	0,52	0,58
3	0,54	0,58
4	0,54	0,46
5	0,54	0,46
6	0,74	0,46
Média	0,58	0,50
Desvio Padrão	0,08	0,06
CV (%)	14,28	12,39

Apêndice B

Valores de Deformação Específica de Retração, Deformação Específica de Inchamento, Variação Volumétrica, Coeficiente de Anisotropia Dimensional na retração e no inchamento para todos os corpos-de-prova analisados. Os corpos-de-prova das árvores 3 e 4 não foram utilizados por apresentarem defeitos.

Tabela 21: Deformação específica de retração, deformação específica de inchamento e variação volumétrica para a árvore 1.

Corpo-de-prova	$\epsilon_{r,1}$	$\epsilon_{r,2}$	$\epsilon_{r,3}$	$\epsilon_{i,1}$	$\epsilon_{i,2}$	$\epsilon_{i,3}$	ΔV
1	0,78	3,28	9,00	0,78	1,67	3,21	8,13
2	0,20	5,33	5,50	0,39	2,07	4,55	7,40
3	0,20	3,67	6,50	0,59	1,03	2,60	4,35
4	1,37	5,63	9,23	1,37	2,89	5,35	10,31
5	0,00	4,67	8,21	0,20	1,72	7,25	9,92
6	0,98	2,67	6,00	0,59	2,34	3,00	6,29
Média	0,59	4,21	7,41	0,65	1,95	4,68	7,73
Desvio Padrão	0,51	1,18	1,61	0,41	0,64	1,08	2,25
CV (%)	91,89	28,16	21,72	62,01	32,74	36,04	29,64

Tabela 22: Deformação específica de retração, deformação específica de inchamento e variação volumétrica para a árvore 2.

Corpo-de-prova	$\epsilon_{r,1}$	$\epsilon_{r,2}$	$\epsilon_{r,3}$	$\epsilon_{i,1}$	$\epsilon_{i,2}$	$\epsilon_{i,3}$	ΔV
1	0,78	4,52	4,50	1,17	1,99	4,02	7,56
2	0,20	4,92	4,50	0,39	3,01	3,54	7,30
3	0,20	4,26	5,00	0,59	2,67	4,52	8,24
4	0,00	4,92	1,00	0,79	3,01	1,00	4,98
5	1,54	2,67	4,00	1,35	2,67	4,00	8,48
6	0,20	2,67	3,50	0,39	2,67	3,98	7,42
Média	0,49	3,99	3,75	0,78	2,67	3,51	7,33
Desvio Padrão	0,58	1,06	1,44	0,40	0,37	1,27	1,25
CV (%)	119,65	26,46	38,41	51,79	14,01	36,15	16,99

Tabela 23: Deformação específica de retração, deformação específica de inchamento e variação volumétrica para a árvore 5.

Corpo-de-prova	$\epsilon_{r,1}$	$\epsilon_{r,2}$	$\epsilon_{r,3}$	$\epsilon_{i,1}$	$\epsilon_{i,2}$	$\epsilon_{i,3}$	ΔV
1	1,17	1,97	5,50	0,20	1,64	5,97	8,34
2	1,19	1,67	3,90	2,16	2,32	1,50	6,22
3	0,00	3,55	3,50	0,20	1,32	3,50	5,22
4	0,00	3,33	4,74	0,99	1,36	4,74	7,48
5	0,99	1,97	4,50	0,60	0,99	4,50	6,40
6	0,58	3,23	5,00	0,78	1,64	2,56	5,16
Média	0,65	2,62	4,52	0,82	1,55	3,80	6,47
Desvio Padrão	0,55	0,84	0,73	0,73	0,45	1,61	1,26
CV (%)	84,27	31,95	16,13	88,91	29,00	42,46	19,40

Tabela 24: Deformação específica de retração, deformação específica de inchamento e variação volumétrica para a árvore 6.

Corpo-de-prova	$\epsilon_{r,1}$	$\epsilon_{r,2}$	$\epsilon_{r,3}$	$\epsilon_{i,1}$	$\epsilon_{i,2}$	$\epsilon_{i,3}$	ΔV
1	0,39	3,33	4,29	0,39	3,65	2,90	7,31
2	0,00	2,90	4,29	0,40	2,27	3,37	6,31
3	0,98	3,55	4,29	0,98	1,64	4,74	7,79
4	1,80	2,00	4,76	1,80	2,33	3,85	8,43
5	0,00	2,30	4,76	0,58	1,32	1,96	3,98
6	1,75	4,20	3,41	2,56	2,99	1,49	7,33
Média	0,82	3,06	4,30	1,11	2,37	3,05	6,86
Desvio Padrão	0,82	0,84	0,49	0,86	0,86	1,20	1,57
CV (%)	100,18	27,34	11,45	77,87	35,14	39,40	22,92

Tabela 25: Coeficiente de Anisotropia Dimensional na retração e no inchamento para a árvore 1.

Corpo-de-prova	Coeficiente de Anisotropia na retração	Coeficiente de Anisotropia no inchamento
1	2,75	3,15
2	1,03	2,20
3	1,77	2,53
4	1,64	1,85
5	1,76	4,22
6	2,25	1,32
Média	1,87	2,54
Desvio Padrão	0,58	1,02
CV (%)	31,13	40,33

Tabela 26: Coeficiente de Anisotropia Dimensional na retração e no inchamento para a árvore 2.

Corpo-de-prova	Coeficiente de Anisotropia na retração	Coeficiente de Anisotropia no inchamento
1	1,00	2,02
2	0,92	1,17
3	1,17	1,70
4	0,20	0,33
5	1,50	1,50
6	1,31	1,49
Média	1,02	1,37
Desvio Padrão	0,45	0,58
CV (%)	44,58	42,32

Tabela 27: Coeficiente de Anisotropia Dimensional na retração e no inchamento para a árvore 5.

Corpo-de-prova	Coeficiente de Anisotropia na retração	Coeficiente de Anisotropia no inchamento
1	2,80	3,63
2	2,34	0,65
3	0,99	2,65
4	1,42	2,48
5	2,29	4,53
6	1,55	1,56
Média	1,90	2,75
Desvio Padrão	0,68	1,44
CV (%)	36,02	52,12

Tabela 28: Coeficiente de Anisotropia Dimensional na retração e no inchamento para a árvore 6.

Corpo-de-prova	Coeficiente de Anisotropia na retração	Coeficiente de Anisotropia no inchamento
1	1,29	0,79
2	1,48	1,48
3	1,21	2,88
4	2,38	1,65
5	2,07	1,48
6	0,80	0,50
Média	1,54	1,46
Desvio Padrão	0,59	0,83
CV (%)	38,12	56,52

Apêndice C

Valores de Resistência à compressão paralela às fibras corrigida para a Umidade padrão de 12%, para todos os corpos-de-prova analisados. Os corpos-de-prova nº 6 da árvore 1, nº 4 da árvore 2, nº 6 da árvore 4, nº 5 e 6 da árvore 5 e nº 6 da árvore 6 não foram utilizados nos ensaios por apresentarem defeitos.

Tabela 29: Resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0}) corrigida para a umidade padrão de 12% para todas as árvores.

Corpo-de-prova	f_{c0} (MPa)					
	Árvore 1	Árvore 2	Árvore 3	Árvore 4	Árvore 5	Árvore 6
1	23,62	30,87	28,21	18,42	24,49	24,45
2	24,54	30,88	30,70	19,07	30,18	31,29
3	18,84	26,25	26,74	29,26	23,21	23,43
4	33,64	-	28,44	22,39	27,63	29,89
5	23,60	19,38	27,31	17,73	-	28,72
6	-	20,44	25,13	-	-	-
Média	24,85	25,56	27,75	19,75	26,38	27,56
Desvio Padrão	5,46	5,51	1,87	1,83	3,14	3,44
CV (%)	21,74	21,54	6,74	9,35	11,92	12,50

Apêndice D

Valores da Rigidez à compressão paralela corrigida para a Umidade padrão de 12%, para todos os corpos-de-prova analisados.

Tabela 30: Rigidez à compressão paralela às fibras corrigida para a umidade padrão de 12% (E_{c0}) para todas as árvores.

Corpo-de-prova	E_{c0} (MPa)					
	Árvore 1	Árvore 2	Árvore 3	Árvore 4	Árvore 5	Árvore 6
1	17.054,38	21.524,11	17.497,12	14.850,32	16.141,42	16.142,35
2	18.020,34	23.999,22	20.529,94	14.663,29	20.262,17	22.931,24
3	14.796,53	23.206,82	17.734,95	15.513,19	16.596,64	15.772,84
4	19.810,71	-	18.934,99	17.819,92	18.262,70	20.496,13
5	15.941,44	16.272,92	18.280,16	-	-	-
6	-	15.751,92	19.528,51	18.585,98	-	23.838,58
Média	17.124,68	20.351,00	18.750,94	16.287,74	17.815,74	19.436,23
Desvio Padrão	1.926,68	3.886,63	1.151,46	1.797,03	1.868,54	4.348,64
CV (%)	11,25	19,29	6,14	11,03	10,49	22,37