

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

**DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA MADEIRA
DE *Morus nigra* E POTENCIAIS APTIDÕES DE USO.**

CURITIBA

2010

RENAN MESKAU

**DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA MADEIRA
DE *Morus nigra* E POTENCIAIS APTIDÕES DE USO.**

Trabalho apresentado para obtenção parcial do título de especialista em Gestão da Indústria Madeireira no curso de Pós-Graduação em Gestão da Indústria Madeireira do dep. De Economia Rural e Extensão, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. MsC. Renato Robert

CURITIBA

2010

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	4
LISTA DE QUADROS	5
RESUMO	6
1 DIAGNOSTICO	7
2 MARCO TEORICO	9
2.1 Classificação Científica da Amoreira	9
2.2 Características	9
2.3 Condições ao Desenvolvimento	11
2.4 Descrição do Local de Crescimento do Exemplar Coletado	11
2.5 Características da Madeira	12
2.6 Propriedades Físicas da Madeira	13
2.6.1 Propriedades Organolépticas da Madeira	13
2.6.2 Massa Específica Aparente	13
2.6.3 Teor de Umidade	14
2.6.4 Contração e Inchamento da Madeira (Anisotropia)	15
2.6.5 Anisotropia de Contração	18
2.7 Propriedades Mecânicas da Madeira	20
2.7.1 Resistência e Elasticidade	20
2.7.2 Limite Proporcional de Elasticidade	21
2.7.3 Módulo de Elasticidade (MOE)	22
2.7.4 Flexão Estática	23
2.7.5 Flexão Dinâmica	24
2.7.6 Compressão Paralela as Fibras	24
2.7.7 Compressão Perpendicular as Fibras	25
2.7.8 Tração Paralela às Fibras	26
2.7.9 Tração Perpendicular às Fibras	26
2.7.10 Cisalhamento	27
2.7.11 Dureza Janka	28
2.8 Mercado Madeireiro	29
3 MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1 Material	31
3.2 Métodos	31

3.2.1 Propriedades Organolépticas da Madeira 33

3.2.2 Teor de Umidade de Partida da Prancha de Madeira 33

3.2.3 Massa Especifica Aparente..... 34

3.2.4 Massa Especifica Aparente Básica 34

3.2.5 Contração Volumétrica Máxima 35

3.2.6 Contrações Lineares e Anisotropia de Contração..... 35

3.2.7 Flexão Estática..... 36

3.2.8 Modulo de Elasticidade a Flexão Estática..... 37

3.2.9 Resistência ao Cisalhamento Perpendicular aos Anéis de Crescimento 37

3.2.10 Dureza Janka 38

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 38

4.1 Propriedades Organolépticas da Madeira 38

4.2 Teor de Umidade de Partida 39

4.3 Massa Especifica Aparente..... 40

4.4 Massa Especifica Aparente Básica 42

4.5 Contração Volumétrica Máxima 43

4.6 Anisotropia de Contração e Contrações Lineares..... 45

4.7 Flexão Estática..... 48

4.8 Modulo de Elasticidade (MOE) à Flexão Estática 50

4.9 Resistência ao Cisalhamento Perpendicular aos Anéis de Crescimento 51

4.10 Dureza Janka 53

4.11 Discussões Finais 54

5 CONCLUSÃO.....56

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 57

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Características Morfológicas	10
FIGURA 2: Características do Fuste e Casca	10
FIGURA 3: Seção Transversal do Tronco de Uma Árvore.....	13
FIGURA 4: Eixos de Orientação da Madeira, Tangencial, Radial e Longitudinal..	16
FIGURA 5: Características da retração da madeira em função da umidade	17
FIGURA 6: Características do inchamento da madeira em função da umidade ...	17
FIGURA 7: Coeficiente de Anisotropia.....	18
FIGURA 8: Relação Carga x Deformação para Tração e Compressão	22
FIGURA 9: Flexão na Madeira.....	23
FIGURA 10: Esquema de Ensaio de Compressão Axial.....	25
FIGURA 11: Teste de Cisalhamento Paralelo às Fibras	28
FIGURA 12: Teste de Dureza Janka.....	29
FIGURA 13: Prancha de 25 x 8	32
FIGURA 14: Corpos de Prova.....	32
FIGURA 15: Gabarito dos Corpos de Prova	33

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: CLASSIFICAÇÃO CIENTÍFICA.....	9
QUADRO 2: PROPRIEDADES ORGANOLÉPTICAS DA MADEIRA.....	39
QUADRO 3: TEOR DE UMIDADE DE PARTIDA DA MADEIRA	40
QUADRO 4: MASSA ESPECÍFICA APARENTE A 12% DE UMIDADE	41
QUADRO 5: CLASSIFICAÇÃO QUANTO A MASSA ESPECÍFICA	42
QUADRO 6: MASSA ESPECÍFICA APARENTE BÁSICA	43
QUADRO 7: CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA MÁXIMA.....	44
QUADRO 8: CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA MÁXIMA DE VÁRIAS ESPÉCIES..	45
QUADRO 9: FATOR ANISOTRÓPICO E CONTRAÇÕES LINEARES.....	46
QUADRO 10: COEFICIENTE DE ANISOTROPIA.....	47
QUADRO 11: FATOR ANISOTRÓPICO DE ALGUMAS ESPÉCIES.....	48
QUADRO 12: TENSÃO MÁXIMA PARA MADEIRA DE <i>Morus nigra</i>	49
QUADRO 13: RESISTÊNCIA MÁXIMA Kgf/cm ² DE ALGUMAS ESPÉCIES.....	49
QUADRO 14: MOE À FLEXÃO DE MADEIRA DE <i>Morus nigra</i>	50
QUADRO 15: MOE DE ALGUMAS ESPÉCIES BRASILEIRAS	51
QUADRO 16: RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DE <i>Morus nigra</i>	52
QUADRO 17: CLASSIFICAÇÃO DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO.....	52
QUADRO 18: DUREZA JANKA PARA MADEIRA DE <i>Morus nigra</i>	53
QUADRO 19: CLASSIFICAÇÃO DE MADEIRAS / DUREZA JANKA.....	54
QUADRO 20: <i>Morus nigra</i> PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS.....	54

RESUMO

Atualmente é possível verificar que as madeiras de maior valor econômico estão ficando escassas, deste modo é necessário encontrar maneiras de substituí-las. Desta forma foi observado que a árvore denominada amoreira negra apresenta características fenotípicas interessantes, mas para que seja promovido um processo de melhoramento genético da mesma são necessários estudos que indiquem as aptidões de sua madeira. Este trabalho teve o objetivo de determinar aptidões de uso para a madeira de *Morus nigra*, para isso foram determinadas às propriedades organoléticas (cor, odor, grã, textura e desenho), físicas (teor de umidade de partida, massa específica básica e aparente, contração volumétrica, contração tangencial, radial e fator anisotrópico) e mecânicas (tensão máxima a flexão estática, módulo de elasticidade a flexão, resistência ao cisalhamento e dureza janka) de um exemplar da madeira de *Morus nigra* proveniente de União da Vitória, estado do Paraná. Foram utilizados 30 corpos de prova para determinação da massa específica e das contrações volumétricas e lineares, e 12 corpos de prova para os demais testes. Os estudos foram realizados no laboratório de tecnologia da madeira da UNIUV de União da Vitória. Ficou comprovado que a referente madeira apresenta propriedades organoléticas desejáveis, e propriedades físicas e mecânicas médias, deixando a mesma apta para usos em móveis em geral, construção civil para compor estruturas de outras espécies mais resistentes e construções internas como rodapés, guarnições, forros e lambris. A madeira não é recomendada para usos que sofram elevadas cargas concentradas numa reduzida área e em pisos devido a sua dureza não ser tão elevada.

Palavras-chave: Amoreira negra, *Morus nigra*, Aptidões de uso, Testes físicos, **Testes mecânicos.**

1 DIAGNOSTICO

Tendo em vista o dinamismo do atual mercado madeireiro onde sempre se buscam novos produtos, e a crescente dependência de madeiras providas na Amazônia, observa-se a necessidade de se desenvolver matérias primas alternativas para o setor madeireiro. Desta maneira, observando-se exemplares isolados da árvore denominada popularmente de amoreira-negra de nome científico *Morus nigra* na região sul do estado do Paraná foi constatado que a mesma apresenta grande potencial em algumas características fenotípicas como rápido crescimento, fuste cilíndrico e madeira de relativa qualidade e beleza com um cerne amarelo ao vermelho-amarelo tornando-se um rico castanho dourado.

Conhecida popularmente como amoreira negra, amoreira ou amora preta, pertence a família *Moraceae* e é uma árvore caducifolia, podendo atingir até 15m de altura (MARQUES & TEIXEIRA 2009, p.1).

De acordo com CRUZ (1979) citado por PADILHA (2009, p.13) "A *Morus nigra*, também conhecida como amoreira preta, é uma espécie vegetal que tem sua origem na Ásia, frutificando com maior intensidade e abundância sobretudo na Ásia Menor e estando plenamente aclimatizada no Brasil."

Apesar de apresentar características fenotípicas interessantes esta espécie apresenta muito pouco, ou nenhuma informação sobre suas propriedades físicas e mecânicas, inviabilizando-se assim o seu uso em possíveis produtos para o setor madeireiro, como móveis e esquadrias. Convém lembrar que a espécie *Morus alba*, similar a citada neste estudo apresenta boas propriedades físicas e mecânicas e é amplamente utilizada na Bolívia, tendo como nome comercial *White Mulberry*.

A madeira proveniente da *Morus alba* é de fácil processamento mecânico e de bom acabamento superficial e boa durabilidade, com usos em moveis e construções em geral (REMADE 2010).

As principais propriedades físicas e mecânicas da madeira que provocam impacto na qualidade do produto final a ser produzido são identificadas como: a) resistência mecânica, b) massa específica e c) estabilidade dimensional (LOBÃO et al. 2004, p.890).

Desta forma é necessário um estudo para apurar suas propriedades físicas e mecânicas, sendo que através destes resultados será possível determinar quais são as aptidões de uso desta espécie.

Sendo que se os resultados forem satisfatórios em um futuro próximo será possível traçar um plano de estudos das características silviculturais da amoreira, sendo que este se apresentou até o momento como o principal motivo da não viabilidade econômica de sua madeira, pois a árvore se apresenta com inúmeras bifurcações e excessivas ramificações. Através deste estudo poderão ser feitos trabalhos na área de melhoramento genético desta cultivar, podendo surgir assim uma nova alternativa de matéria prima para o setor florestal-madeireiro.

Visualmente a madeira da espécie em questão chama atenção positivamente, porem é pouco conhecida, não havendo nenhum estudo que aponte se a mesma possui aptidões de uso.

Desta forma, o objetivo principal deste estudo foi determinar as aptidões de uso para a madeira de *Morus nigra*, contemplando suas propriedades físicas e mecânicas, determinação de possíveis setores onde esta matéria prima poderá ser utilizada e dar subsídios para futuros estudos sobre a espécie.

2 MARCO TEORICO

2.1 Classificação Científica da Amoreira

A classificação científica da presente espécie é descrita a abaixo conforme o QUADRO 1.

QUADRO 1: CLASSIFICAÇÃO CIENTÍFICA.

REINO	PLANTAE
FILO	MAGNOLIOPHYTA
CLASSE	MAGNOLIOPSIDA
ORDEM	ROSALES
FAMILIA	MORACEAE
GÉNERO	MORUS
ESPÉCIE	NIGRA
NOME CIENTÍFICO	<i>Morus nigra</i>

FONTE: Royal Botanic Garden Edinburgh (2010)

2.2 Características

Segundo ZANETTI (2003, p.1) “A amoreira teve provável origem na China ou Índia e se distribuiu para diversas regiões do planeta, compreendidas entre os paralelos 50° N e 10° S, predominantemente em clima temperado”.

LORENZI (2003) citado por VANONI (2006, p.27) diz o seguinte:

A árvore é caducifólia e apresenta uma altura que varia entre 7 e 12 metros, com tronco revestido por uma casca fina, quase lisa, de cor acinzentada. É provida de ramos mais ou menos horizontais com as extremidades pendentes, formando uma copa achatada, morfologicamente. As folhas são simples, cartáceas, obovadas, variáveis e profundamente lobadas em amostras jovens e de margens serreadas em plantas adultas, com nervação saliente e superfície superior brilhante, que varia entre 6 a 12 cm de comprimento, com pecíolo de 1 a 2 cm. Sua inflorescência é formada entre os meses de junho e agosto, com flores pequenas, quase sempre de um só sexo, agrupadas em inflorescências. Cada flor esta constituída de 4 a 6 folhas pequenas. Os frutos são diminutos e secos ou carnosos com apenas uma semente, porém o receptáculo que o contem apresenta aspecto carnoso e suculento quando maduro, assim como outras partes florais. Apresenta-se, portanto, como drupas compostas de forma cilíndrica e de superfície tuberculada, inicialmente vermelhos e pretos quando maduros, de 1 a 2 cm de comprimento, de polpa carnosa e agri-doce. As moráceas produzem o látex, suco leitoso que apresenta ceras ou resinas, produzindo, por vezes, alcalóides e glucosídeos, assim como certas essências.

Algumas de suas características fenotípicas podem ser mais bem visualizadas a seguir conforme indicam as FIGURAS 1 e 2.

FIGURA 1: Características Morfológicas.



Fonte: Thomé. O.W. (1985)

FIGURA 2: Características do Fuste e da Casca.



Fonte: tree-species. blogspot.com. (2010).

2.3 Condições ao Desenvolvimento

Clima ameno a quente, boa disponibilidade de água e se adapta bem em qualquer tipo de solo, mas são recomendados solos profundos, férteis e ricos em matéria orgânica para melhor desenvolvimento das plantas (FRUTAS DO RIO GRANDE DO SUL 2010).

ZANETTI (2003, p.1) descreve o seguinte:

A temperatura ótima para o desenvolvimento da amoreira situa-se entre 24 a 28 °C, podendo oscilar entre 16 a 30° C durante o ano. Temperaturas abaixo de 13 e acima de 38°C impedem o desenvolvimento da planta. A amoreira cresce em locais de precipitação média anual entre 600 e 2500 mm, porém o crescimento ideal dá-se em locais de precipitação média anual entre 1000 e 1500 mm, distribuídas durante o ano. As precipitações acima de 1500 mm só são limitantes em solos mal drenados. Regiões sujeitas a geadas devem ser evitadas. Entretanto, caso a geada ocorra no período de junho a agosto, quando a planta está em dormência, ela não afetará o desenvolvimento das plantas, não sendo considerado um fator limitante nesse caso.

A amoreira é cultivada desde 20 até 2000 metros de altitude. Entretanto, deve-se evitar grandes altitudes, devido às baixas temperaturas que podem reduzir o crescimento das plantas. A altitude ótima situa-se entre 400 e 800 metros (ZANETTI 2003, p.2).

2.4 Descrição do Local de Crescimento do Exemplar Coletado

O município de União da Vitória está localizado na região sul do Paraná, e pertence a microregião do Médio Iguaçu, possuindo uma extensão territorial de 786 km² e altitude de 752 m acima do nível do mar, sendo limitada pelas coordenadas geográficas latitude 26°13'44" S e longitude 51°04'58" W (ROCHA 2002 citado por VOIGT & GURSKI 2008, p.94).

Parte do Município, situada à margem esquerda do Rio Iguaçu e faz fronteira com o Estado de Santa Catarina, cuja formação faz parte do Terceiro Planalto Paranaense, que em linhas gerais, possui solos profundos, bem desenvolvidos e de alta fertilidade natural (ROCHA 2002 citado por VOIGT & GURSKI 2008, p.94).

A densidade pluviométrica do município de União da Vitória apresenta precipitação média mensal de 115 mm e média anual de 1.700 mm. O clima é definido conforme a classificação de KOPEN como sendo Cfb, ou seja, mesotérmico úmido com verão fresco. O mesmo se caracteriza por temperaturas moderadas com chuvas bem distribuídas e o verão brando. Podem ocorrer geadas, tanto no inverno como no outono. As médias de temperatura são inferiores a 20°C, exceto no verão.

No inverno média inferior a 14°C como mínimas inferiores a 8°C (INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ 2010).

2.5 Características da Madeira

A madeira é um material orgânico extremamente complexo, formado predominantemente por carbono; Heterogêneo, pois é formada por diversos arranjos; Poroso existem espaços vazios entre os arranjos; Higroscópico apresenta a capacidade de reter água fisicamente em suas estruturas; Anisotrópico, ou seja, dependendo do seu eixo anatômico apresenta comportamento diferenciado.

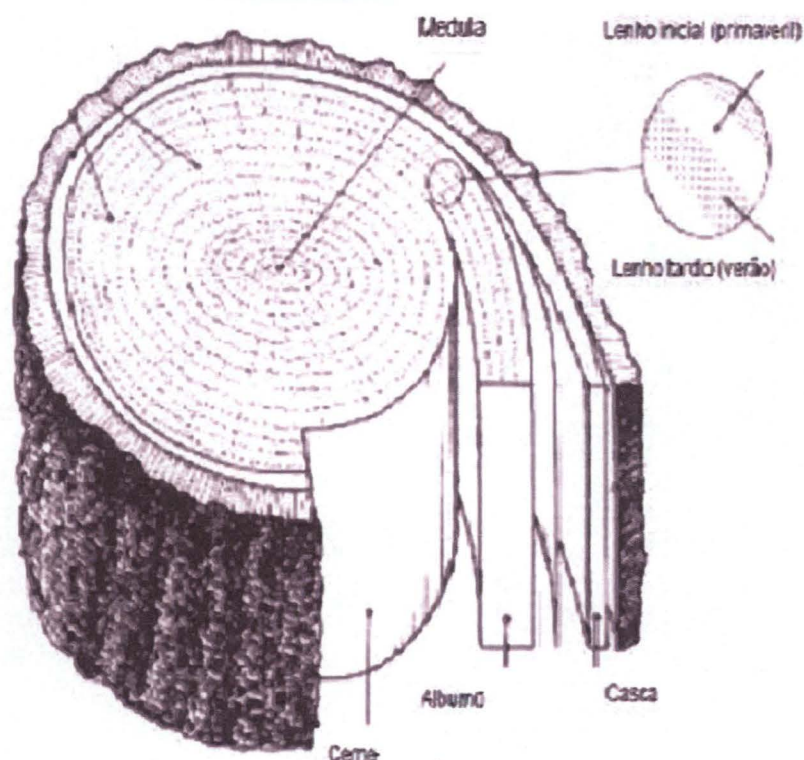
Como descrito anteriormente a madeira sólida não é um material homogêneo, além disso, as suas dimensões são limitadas pela altura e diâmetro da árvore de origem do material.

Segundo PANSIN & DE ZEEUW (1980) citado por ALBUQUERQUE (1999, p.3) “A madeira apresenta diferentes propriedades físicas e mecânicas quando testada em seus três eixos, ou seja, tangencial, longitudinal e radial”.

Além deste diferente comportamento nos seus diferentes eixos a madeira sólida apresenta defeitos naturais, como nós, inclinação da grã, percentagem de lenho juvenil e adulto, lenhos de reação, entre outros, ocasionam interferência quanto ao comportamento da madeira (IWAKIRI 1998 citado por ALBUQUERQUE 1999, p.3).

As árvores produtoras de madeira de construção são do tipo exogênico, que crescem pela adição de camadas externas, sob a casca. A seção transversal de um tronco de árvore revela as seguintes camadas, de fora para dentro: **Casca**: proteção externa da árvore, formada por uma camada interna, de tecido vivo macio, que conduz o alimento preparado nas folhas para as partes em crescimento; **Alburno**: camada formada por células vivas que conduzem a seiva das raízes para as folhas; **Cerne**: com o crescimento, as células vivas do alburno tornam-se inativas e constituem o cerne, de coloração mais escura, passando a ter apenas função de sustentar o tronco; **Medula**: tecido macio, em torno do qual se verifica o primeiro crescimento da madeira, nos ramos novos (PFEIL 1994, p.1 e 2). Tais camadas podem ser melhor visualizadas na FIGURA 3.

FIGURA 3: Seção Transversal do Tronco de uma Árvore.



Fonte: PAULINE. L. (2010).

2.6 Propriedades Físicas da Madeira

2.6.1 Propriedades Organolépticas da Madeira.

As propriedades organolépticas da madeira são aquelas que impressionam os órgãos sensitivos, sendo elas odor, cor, gosto, grã, textura e desenho que se apresentam no material, e são diretamente ligadas ao seu valor decorativo e ornamental (MORESCHI 2010, p.1).

2.6.2 Massa Específica Aparente

A massa específica constitui uma das propriedades físicas mais importantes da madeira, pois dela dependem a maior parte de suas propriedades físicas e tecnológicas, servindo na prática como uma referência para a classificação da madeira. Em regra geral, madeiras pesadas são mais resistentes, elásticas e duras que as leves. Porém, em paralelo a estas vantagens, são de mais difícil trabalhabilidade e apresentam maior variabilidade (MORESCHI 2010, p.8).

Segundo ARGANBRIGHT (1971) citado por SCANAVA & GARCIA (2004, p.121) "A densidade é uma das propriedades mais importantes na caracterização tecnológica da madeira, visto que sua variação afeta a resistência mecânica e a estabilidade dimensional da madeira".

A massa específica aparente da madeira é a relação entre a massa e o volume da mesma peça de madeira a um teor de umidade conhecido expresso em g/cm^3 ou em Kg/m^3 . A massa específica é influenciada por fatores internos e externos da madeira. Como fator interno destaca-se a estrutura anatômica do lenho. Dentre os fatores externos citam-se aspectos do local de crescimento das árvores, tais como, clima, solo, altitude, umidade do solo, declividade, vento espaçamento e associação de espécies, bem como intervenções silviculturais do tipo adubação, poda, desbaste e densidade do povoamento (KLITZKE & TOMASELLI 2000, p.1).

2.6.3 Teor de Umidade

As árvores absorvem água e sais minerais do solo que, circulando pelos vasos, deslocam-se até as folhas, constituindo a seiva bruta. Das folhas em direção às raízes circula a seiva elaborada, constituída de água e produtos elaborados na fotossíntese. Em conseqüência, a madeira das árvores vivas ou recentemente derrubadas apresenta alto teor de umidade. Nessas condições, os vasos e os canais da madeira, assim como o lúmen das suas células, apresentam-se saturados de água. Desta mesma forma, os espaços vazios, localizados no interior das paredes celulares, também podem encontrar-se saturados (GALVÃO & JANKOWSKY 1985, p.11).

Segundo MORESCHI (2010, p.25) "A massa específica da madeira de uma árvore recém abatida está em função da água contida nos espaços celulares e intercelulares da madeira (água livre ou de capilaridade), da água impregnada nas paredes celulares (água de impregnação) e da água que participa da constituição química da madeira (água de adsorção química)".

Quando a madeira é posta a secar, evapora-se a água contida nas células ocas, atingindo-se o *Ponto de saturação das fibras*, no qual as paredes das células ainda estão saturadas, porém a água no seu interior se evaporou; este ponto corresponde ao grau de umidade de cerca de 30%. A madeira é denominada, então, meio seca. Continuando-se a secagem, a madeira atinge um ponto de equilíbrio com

o ar, sendo, então, denominada seca ao ar; o grau de umidade desse ponto depende da umidade atmosférica, variando geralmente entre 10 e 20% (PFEIL 1994, p. 7).

Assim, o controle do teor de umidade da madeira é indispensável para que possamos utilizá-la de forma adequada, evitando o desenvolvimento de defeitos como empenamentos, arqueamentos, torções. Estes defeitos são comumente observados em artigos de madeira, confeccionados antes de a madeira entrar em equilíbrio higroscópico com as variáveis de um ambiente similar ao que estes artigos serão mantidos (MORESCHI 2010, p.26).

Só ocorrem alterações das propriedades de resistência da madeira (mecânicas e elásticas) entre 0%U e o ponto de saturação das fibras (PSF). Acima desse ponto as propriedades de resistência são estáveis; Não se deve utilizar madeira verde em construções, com teor de umidade acima de 20%; Com a finalidade de se obter valores compatíveis aos de outras avaliações, os ensaios de laboratório devem ser realizados com corpos-de-prova a teores de umidade padronizados e constantes (0%U; 12%U ou acima do PSF), o que deverá ser sempre relatado; As condições de temperatura e de umidade relativa do ar, na sala onde as máquinas se encontram, devem ser constantes e normatizadas para a finalidade do ensaio (20 °C e 65% UR); Com o cozimento/ vaporização da madeira se consegue o seu amolecimento artificial (plasticização), o que facilita as práticas industriais de laminação e moldagem de peças de madeira maciça (MORALES 2010, p.8).

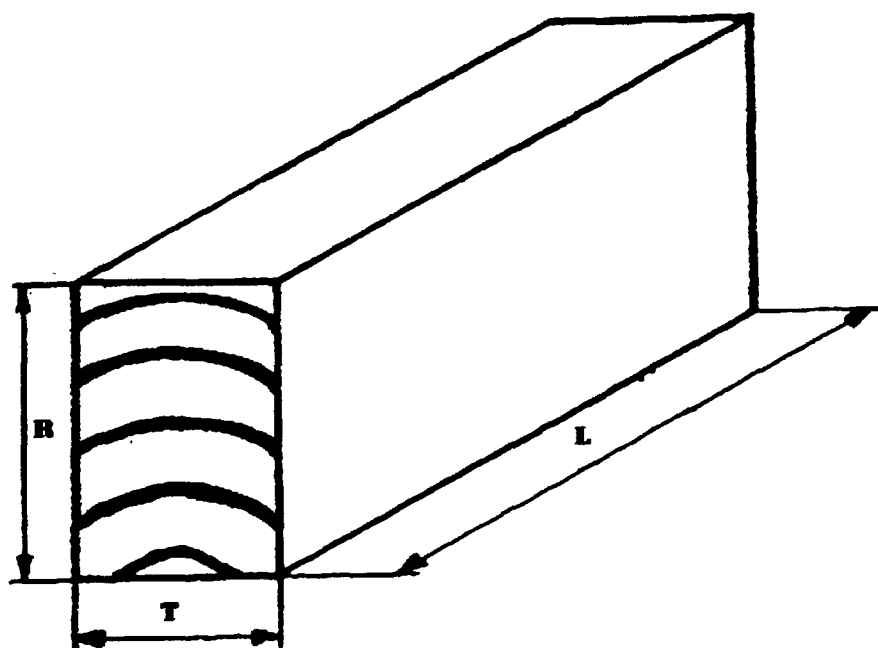
Segundo MORESCHI (2010, p.26) “O teor de umidade de uma madeira é a relação entre o peso da água contida no seu interior e o seu peso no estado completamente seco, expresso em porcentagem”.

2.6.4 Contração e Inchamento da Madeira (Anisotropia)

A anisotropia traz como consequência diferentes valores para o inchamento e para contração nos três sentidos de orientação da madeira vistos na FIGURA 4. Esta diferença se deve a estrutura microscópica e submicroscópica da madeira. A maior alteração dimensional se manifesta no sentido tangencial, depois no sentido radial e finalmente no longitudinal, que por ser tão baixa, é normalmente negligenciada na prática. As relações entre as contrações verificadas nos diferentes

sentidos indicam: 10 (Tangencial): 5 (Radial): 0,1 (Longitudinal),(KLITZKE & TOMASELLI 2000, p.17).

FIGURA 4: 3 Eixos de Orientação da Madeira, Tangencial, Radial e Longitudinal.



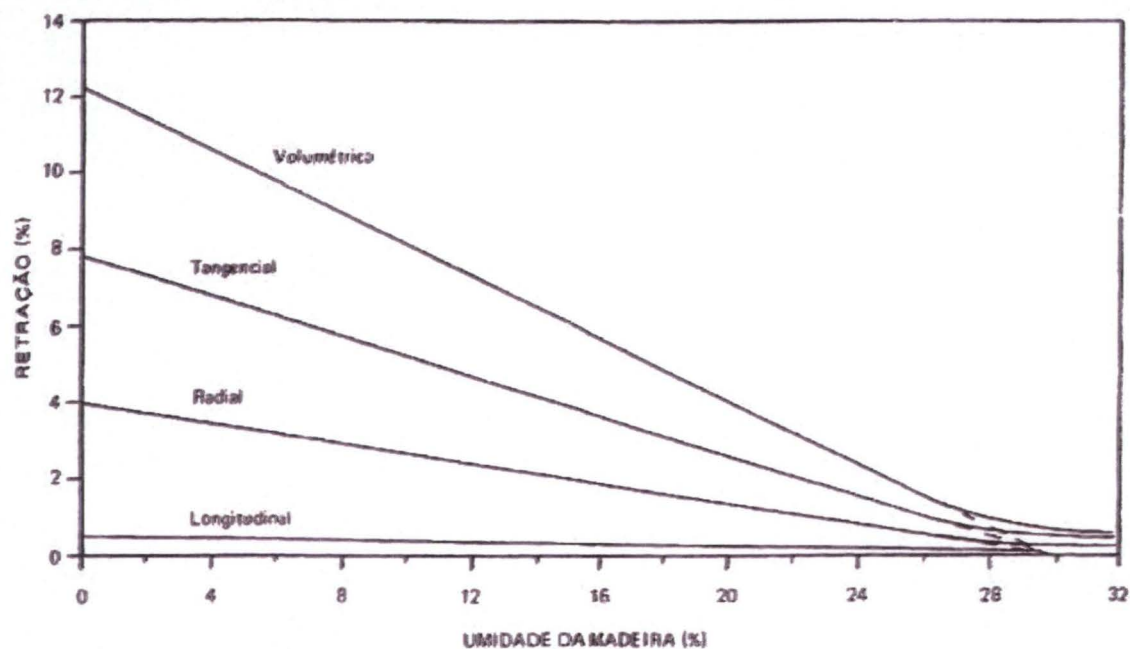
Fonte: GALVÃO. A.P.M & JANKOWSKY. I.P (1985)

As inúmeras implicações de ordem prática do fenômeno fazem o seu estudo de grande importância. Espécies podem ser vetadas em utilizações onde a estabilidade dimensional seja fator importante. Por outro lado, o estudo das características da movimentação da madeira tem permitido o aproveitamento de espécies menos estáveis, para obter produtos de alta estabilidade como compensados (GALVÃO & JANKOWSKY 1985, p.40).

A estabilidade dimensional está diretamente relacionada à presença da água no interior da madeira. É fundamental lembrar que o aumento ou a diminuição do número de moléculas de água livre não influem na retração e no inchamento, fenômenos que se manifestam em níveis de umidade inferiores ao ponto de saturação das fibras. Nestas circunstâncias, a diminuição ou o aumento da quantidade de impregnação aproximam ou afastam as cadeias de celulose e as microfibrilas, ocasionando as correspondentes variações dimensionais de retração ou de inchamento. A madeira retrai-se mais na direção transversal do que na

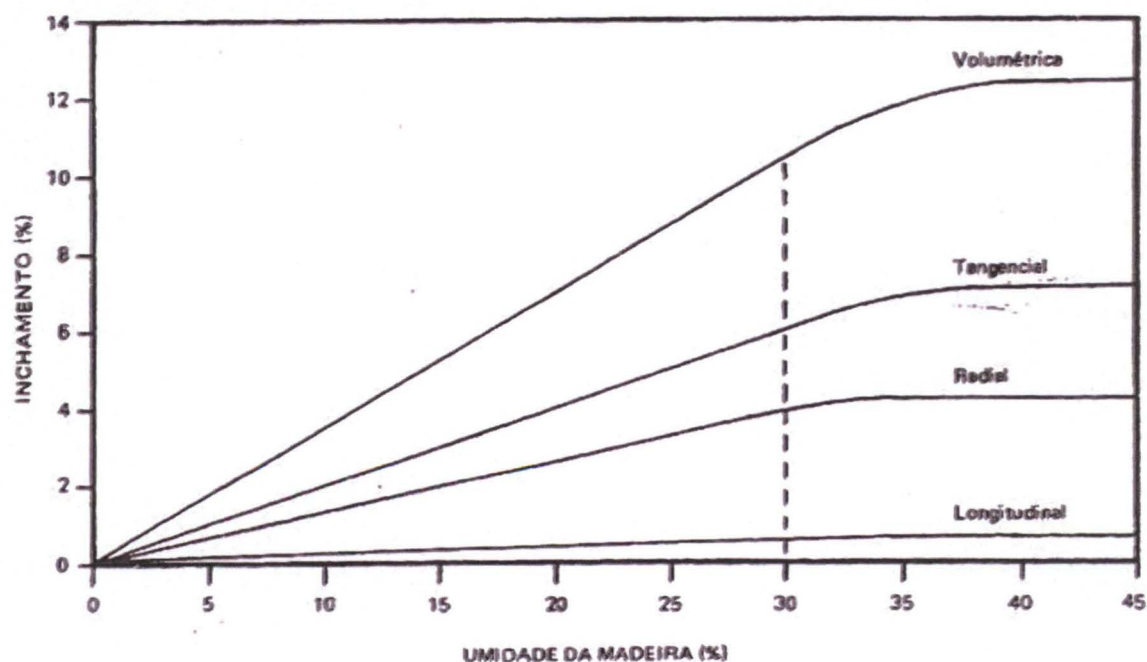
longitudinal, sendo a retração transversal normalmente entre 10 e 15%, enquanto que a retração longitudinal é apenas de cerca de 0,1% (MORALES 2010, p.12 e 13). Estes números podem ser melhor comparados nas FIGURAS 5 e 6 .

FIGURA 5: Características da retração da madeira em função da umidade.



Fonte: GALVÃO. A.P.M & JANKOWSKY. I.P (1985)

FIGURA 6: Características do inchamento da madeira em função da umidade.



Fonte: GALVÃO. A.P.M & JANKOWSKY. I.P (1985)

Segundo USDA (1974) citado por SCANAVACA & GARCIA (2004, p.121) “Os efeitos combinados de retração tangencial e radial ocasionam mudanças nas formas das peças de madeira por causa das diferenças nas retrações e na curva dos anéis de crescimento. Deste modo, a retração e a deformação variam conforme a posição radial de onde a peça de madeira foi retirada”.

O inchamento máximo de uma madeira é dado pela diferença entre suas dimensões no estado saturado de umidade ($\geq$ PSF) e no estado absolutamente seco (0%U), relacionadas às dimensões a 0% U. Analogamente, a contração volumétrica máxima de uma madeira é dada pela diferença entre as dimensões no estado saturado de umidade e no estado absolutamente seco, em relação às dimensões da madeira no estado saturado de umidade (MORESCHI 2010, p.47 e 48).

REMADE (2010) diz o seguinte:

Apesar de a retratibilidade volumétrica expressar a variação total ocorrida na variação higroscópica, às contrações lineares que ocorrem ao longo dos planos de orientação da madeira é, na maioria das vezes, mais importantes e, por serem diferentes, tornam a madeira um material anisotrópico. Atenção maior deve ser dada à movimentação transversal das madeiras, uma vez que estas se diferem conforme as direções tangencial ou radial, sendo a primeira maior que a segunda. Os valores da contração tangencial oscilam em torno do dobro dos valores encontrados na contração radial, podendo chegar ao triplo, em casos extremos, como no caso da madeira de eucalipto, e são vinte vezes maior que os detectados no sentido longitudinal ou axial. A contração da madeira deixa de observar as regras normais de anisotropia quando a temperatura aumenta. Segundo tais autores, nem sempre a contração tangencial é sempre maior que a contração radial; com o aumento da temperatura, a contração em espessura é sempre maior do que em largura, independentemente da orientação (radial ou tangencial). Esse fenômeno se baseia no fato de que as células da superfície de um corpo submetido à secagem ficam restritas a contrair em largura pelas células do interior (que estão com um teor de umidade acima do ponto de saturação das fibras), enquanto a contração em espessura se processa livremente.

Inchamento linear é a alteração da dimensão “l” em um sentido definido, durante o acréscimo do teor de umidade da madeira de U1 para U2, relacionada à dimensão no estado seco, e inversamente, a contração linear é a alteração da dimensão “l” durante a diminuição do teor de umidade de U2 para U1, relacionada à dimensão verde (PSF) (MORESCHI 2010, p.50).

2.6.5 Anisotropia de Contração

Em se tratando da variação dimensional na direção transversal (radial e tangencial), há um desequilíbrio entre os valores da retratibilidade. Tal desbalanceamento entre as contrações é chamado de fator anisotrópico, ou seja, a

relação entre a retratibilidade na direção tangencial dividida pela mesma propriedade na direção radial. A situação ideal seria aquela em que as tensões decorrentes da natureza anisotrópica se anulassem segundo as direções em que a retratibilidade se manifestasse o que, na prática, raramente acontece. A grande importância desse índice é que, quanto maior for o seu distanciamento da unidade, mais propensa é a madeira se fendilhar e empenar (REMADE 2010).

A retratibilidade é a movimentação da madeira pelo ganho ou perda de água abaixo do ponto de saturação das fibras. A retração tangencial é maior que a radial, enquanto que a retração longitudinal é praticamente desprezível. Outro fator importante é o índice de retração anisotrópica, razão entre as retrações tangencial e radial. De uma maneira geral, quanto mais baixa esta razão, isto é, quanto mais próximo de um, melhor é a espécie para marcenaria (SCANAVACA & GARCIA 2004, p.121). A anisotropia de contração é a relação entre a contração máxima tangencial e a contração máxima radial. A avaliação da qualidade da madeira segundo sua anisotropia esta apresentada na FIGURA 7 a seguir:

FIGURA 7: Coeficiente de Anisotropia.

Coeficiente de Anisotropia	Qualidade da Madeira
< 1,5	Madeira muito estável
1,6 até 2,0	Média baixa
2,0 até 2,5	Média alta
>2,6	Madeira muito instável

Fonte: KLITZKE R.J. & I.TOMASELLI. (2000)

Segundo KLITZKE & TOMASELLI (2000, p.18) “Madeiras que apresentam alta contração volumétrica, alta anisotropia de contração e massa específica elevada são madeiras com grandes dificuldades de secagem, devendo ser empregado programas de secagem brandos”.

2.7 Propriedades Mecânicas da Madeira

A resistência dos materiais estuda as deformações sobre os corpos sob efeito de forças que agem sobre eles. Quando se solicita externamente um corpo, as suas moléculas reagem à deformação gerando forças interiores chamadas ações moleculares que podem ser calculadas.

As propriedades mecânicas da madeira são as expressões de seu comportamento sob a aplicação de forças ou cargas. O comportamento vai variar em função das propriedades físicas da madeira: teor de umidade, peso específico e constituição anatômica. As aplicações do estudo de propriedades mecânicas da madeira estão ligadas a construções e produção de móveis, barcos, carrocerias, enfim a todo uso comercial que se pretende dar às peças de madeira que estarão submetidas a esforços (MADY 2010, p.2).

As propriedades mecânicas da madeira são fortemente influenciadas por fatores diversos, como idade da árvore, ângulo da grã, teor de umidade, temperatura, constituintes químicos, fadiga, apodrecimento, massa específica, constituição anatômica, duração da tensão e da deformação, radiação nuclear, falhas na madeira, presença de nós e outros defeitos (KOLLMANN & CÔTÉ 1968 citados por SILVA, et al 2005, p.1).

2.7.1 Resistência e Elasticidade

O termo resistência aplicado a materiais como a madeira, significa a habilidade que tem o material de resistir a forças externas ou cargas, tendendo a alterar seu tamanho e sua forma. A carga aplicada a um corpo sólido induz uma força interna que tende a resistir às alterações no tamanho e na forma. Essa força é conhecida como tensão e expressa em quilograma força por centímetro quadrado. As alterações de tamanho e forma são conhecidas como deformações. A deformação é proporcional ao carregamento aplicado até chegar a um ponto em que esta proporcionalidade deixa de existir. Este ponto é conhecido como limite de proporcionalidade. Além deste, é suficiente um pequeno incremento de carga para provocar a deformação irrecuperável (deformação plástica) chegando até a ruptura (ROCHA, PAULA & CIQUEIRA 1988, p.148).

Elasticidade é o ramo da física que estuda o comportamento de corpos materiais que se deformam ao serem submetidos a ações externas (forças devidas

ao contato com outros corpos, ação gravitacional agindo sobre sua massa, etc.), retornando à sua forma original quando a ação externa é removida.

Portanto a elasticidade é a propriedade da madeira sólida que a possibilita retomar a sua forma original, após a remoção da carga aplicada que causou certa deformação. As propriedades elásticas são características de corpos sólidos, observadas somente quando a carga aplicada se situa abaixo do limite proporcional de elasticidade; Acima deste limite ocorrerão deformações plásticas (irreversíveis), seguida pela ruptura do material. Na madeira, o teor de umidade é importante, pois com altos teores pequenas deformações elásticas, efetuadas por dado período de tempo, podem se tornar deformações plásticas. Aparentemente, o limite elástico pode ser considerado um conceito arbitrário (MORESCHI 2010, p.88).

O limite de resistência e o comportamento elástico são características próprias de cada material e, na madeira, de cada espécie. O conhecimento desta característica é adquirido através de ensaios convencionais, e obedecem as recomendações estabelecidas por normas. Geralmente os ensaios consistem na obtenção dos dados correspondentes ao carregamento lento e contínuo, aplicado a um corpo de prova especialmente preparado e das deformações resultantes (ROCHA, PAULA & CIQUEIRA 1988, p.148).

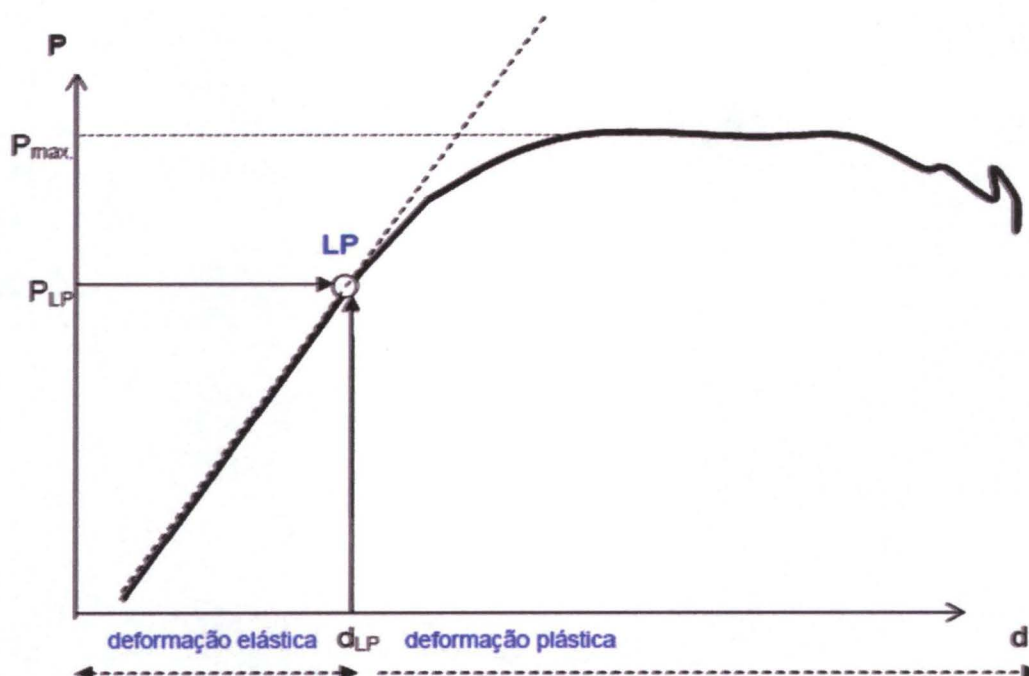
2.7.2 Limite Proporcional de Elasticidade

Segundo BACH & BAUMANN (1923) citados por MORESCHI (2010, p.87) “Para a madeira, a relação entre a carga aplicada e as deformações elásticas até o limite de elasticidade é expressa pela Lei de Hooke”.

A lei de Hooke é descrita da seguinte forma: *“Não se ultrapassando determinados limites (LP: Limite proporcional) as deformações são diretamente proporcionais aos esforços aplicados”*.

Segundo a equação dada pela Lei de Hooke e a FIGURA 8, a deformação relativa é diretamente proporcional ao esforço, até o limite de elasticidade (ponto tangente), na parte reta do gráfico descrito pela relação carga x deformação. Este ponto, onde deixa de existir proporcionalidade entre a carga aplicada e a deformação do corpo a que o esforço é submetido, denomina-se “limite proporcional” (LP) (MORESCHI 2010, p.88).

FIGURA 8: Relação Carga x Deformação para Tração e Compressão.



Fonte: MORESCHI, J.C. (2010)

2.7.3 Modulo de Elasticidade (MOE)

É um valor teórico e expressa a carga necessária para estender um corpo de 1 cm² de área de secção transversal de uma distância igual ao seu próprio comprimento, apesar de ser um valor teórico é amplamente utilizado na classificação de madeiras, é de conhecimento de muitos que quanto maior a MOE, maior será a resistência da madeira e menor será a sua deformidade, e consequentemente, quanto menor for a MOE piores serão as qualidades da madeira.

O MOE é determinado como o valor recíproco da relação entre a deformação elástica total (obtida no limite proporcional LP) e a carga aplicada através de ensaios de flexão estática, tração ou compressão. Os valores a serem utilizados em cálculos podem ser diretamente obtidos nos gráficos baseados na relação carga / deformação, confeccionados com os dados adquiridos por leituras efetuadas em relógio deflectômetro registrador, das deformações da peça de madeira ensaiada e das correspondentes cargas aplicadas (MORESCHI 2010, p.90).

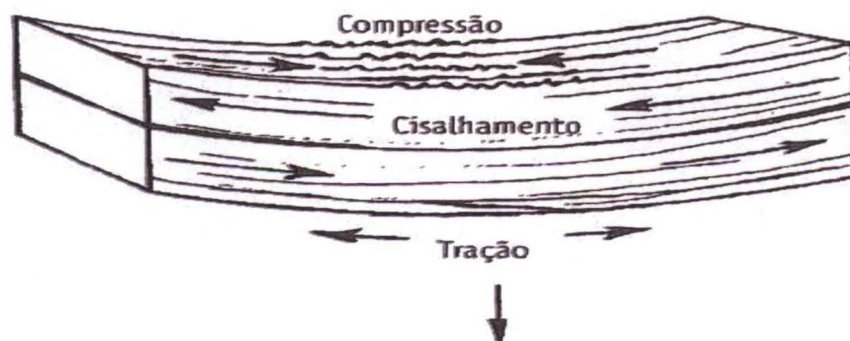
Conforme palavras de SCANAVACA E GARCIA (2004, p.122), "O módulo de ruptura e o módulo da elasticidade são dois parâmetros normalmente determinados em testes de flexão estática e são de grande importância na caracterização tecnológica da madeira, porque ambos estimam a resistência do material submetido a uma força aplicada perpendicularmente ao eixo longitudinal da peça".

2.7.4 Flexão Estática

Para entender a flexão é preciso imaginar uma peça fina de madeira, com as fibras orientadas paralelamente ao seu comprimento. A viga é deformada em forma de arco circular, devido à carga externa. Esta deformação provoca o encurtamento das fibras no lado côncavo e um alongamento, no lado convexo. Portanto, as fibras no lado côncavo estão comprimidas e, no lado convexo, tracionadas. O ponto onde se encontra a inversão de tensão é conhecido como linha neutra (ROCHA, PAULA & CIQUEIRA 1988, p.148).

Quando a madeira é solicitada à flexão simples, ocorrem as tensões: compressão paralela às fibras, tração paralelo às fibras, cisalhamento horizontal e nas regiões dos apoios, compressão normal às fibras tais tensões podem ser vistas na FIGURA 9. A ruptura em peças de madeira solicitadas à flexão ocorre pela formação de minúsculas falhas de compressão seguidas pelo desenvolvimento de enrugamentos de compressão macroscópicos. Este fenômeno gera o aumento da área comprimida na secção e a redução da área tracionada, podendo eventualmente, romper por tração (CALIL, LAHR & DIAS 2003, p.41).

FIGURA 9: Flexão na Madeira



Fonte: RITTER (1990) citado por CALIL. C, LAHR. F.A.R & DIAS. A.A (2003).

O teste consiste em uma carga P , aplicada no meio do corpo de prova que repousa sobre dois apoios, causando tensão no seu interior e uma deformação até a ruptura. Para a determinação dos resultados faz-se a leitura da carga aplicada de forma gradativa em kg e a deformação correspondente, registra-se a carga máxima no momento da ruptura. Com os dados obtidos da leitura faz-se a confecção de um gráfico, e através da tangente da curva do gráfico registra-se a carga no limite proporcional e a deformação correspondente. Com estes dados pode-se calcular o MOE a flexão estática, a resistência no limite proporcional e a resistência máxima do material.

2.7.5 Flexão Dinâmica

A flexão dinâmica pode ser utilizada para testar a capacidade de determinada peça resistir ao choque. Na prática, esta propriedade pode ser utilizada para testes de resistência de alguns materiais confeccionados em madeira, como cabos de ferramentas, mastros, escadas e carrocerias. Nos estudos de flexão dinâmica a madeira se rompe com maior frequência sob influência do impacto por sobrecarga na situação estática (STANGERLIN et al 2007, p.1).

O teste consiste em um corpo de prova colocado sobre dois cilindros, espera-se que o martelo atinja o material exatamente no meio, Após o rompimento do corpo de prova, faz-se a leitura do trabalho absorvido em uma escala graduada em Kgf. O coeficiente de resistência é calculado através da divisão do valor obtido na escala graduada pela multiplicação das arestas da secção transversal do corpo de prova.

2.7.6 Compressão Paralela as Fibras

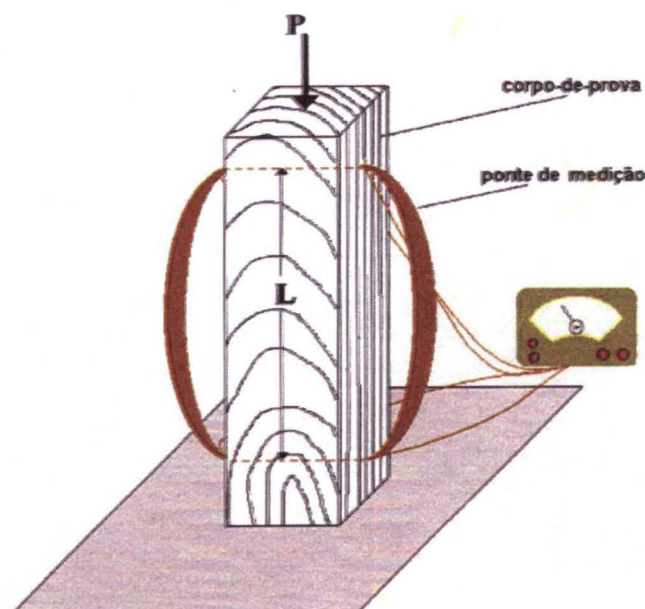
Como o próprio nome do ensaio sugere a compressão paralela às fibras ou compressão axial, é avaliada com a aplicação de uma carga no sentido das fibras da madeira, com velocidade controlada, até a sua ruptura. Da mesma forma que para a determinação da flexão estática, na avaliação da compressão axial é usual a determinação do limite de elasticidade, para cálculo do módulo de elasticidade ao esforço a compressão paralela às fibras (MORESCHI 2010, p.129).

.Segundo CALIL, LAHR & DIAS (2003, p.38) “Quando a peça é solicitada por compressão paralela às fibras, as forças agem paralelamente à direção dos

elementos anatômicos responsáveis pela resistência, o que confere grande resistência à madeira”.

Para a determinação do módulo de elasticidade e da resistência máxima à compressão axial, ou compressão paralela às fibras, utiliza-se da tabela carga-deformação ou do gráfico confeccionado com estes valores para a determinação do limite de proporcionalidade, da deformação e da carga aplicada correspondentes. (MORESCHI 2010, p.132). A FIGURA 10 demonstra a forma de terminar a compressão axial de um corpo de prova.

FIGURA 10: Esquema de Ensaio de Compressão Axial.



Fonte: MORESCHI. J.C. (2010)

2.7.7 Compressão Perpendicular as Fibras

A solicitação de compressão normal às fibras ocorre com maior assiduidade na região dos apoios de peças estruturais, com forças relativamente altas aplicadas em uma direção na qual a madeira apresenta menor resistência, comparada com a compressão paralela, em função de sua constituição anatômica (MORALES 2010, p.8).

No caso de solicitação normal às fibras, a madeira apresenta valores de resistência menores que na compressão paralela às fibras, pois a força é aplicada na direção normal ao comprimento das fibras (ou dos traqueóides), provocando seu

esmagamento. Os valores de resistência à compressão normal às fibras são da ordem de $\frac{1}{4}$ dos valores apresentados pela madeira na compressão paralela (CALIL, LAHR & DIAS 2003, p.38) .

O teste consiste em uma placa de 5x5 cm sobre um corpo de prova no qual será aplicado uma carga até o alcance do limite proporcional. Isto ocorre por não existir uma resistência máxima neste sentido da madeira. A tensão no limite proporcional é obtida pela divisão da carga aplicada no limite proporcional pela área da secção transversal.

2.7.8 Tração Paralela às Fibras

A resistência à tração paralela às fibras é dada pela máxima tensão de tração que pode atuar em um corpo-de-prova alongado com trecho central de seção transversal uniforme de área A e comprimento não menor que $8 A$, com extremidades mais resistentes que o trecho central e com concordâncias que garantam a ruptura no trecho central (MORALES 2010, p.2).

Para determinação dos resultados, divide-se o valor da força em kgf necessários para o rompimento do corpo de prova pela área da secção transversal. Para a determinação da MOE coloca-se um extensômetro no meio do corpo de prova.

A ruptura por tração paralela pode ocorrer por deslizamento entre as fibras (ou traqueóides) ou por ruptura de suas paredes. Em ambos os modos de ruptura, a madeira apresenta baixos valores de deformação e elevados valores de resistência (CALIL, LAHR & DIAS 2003, p.40). Com base no tipo de ruptura obtido no teste, faz-se também a classificação preliminar das peças. Em geral, quanto maior o comprimento à ruptura, maior a resistência à tração.

2.7.9 Tração Perpendicular às Fibras

A ruptura por tração normal, a madeira apresenta baixos valores de resistência, pois os esforços atuam na direção perpendicular às fibras (ou traqueóides), tendendo a separá-las, com baixos valores de deformação. Considerando a baixa resistência da madeira nesta direção, devem ser evitadas, em projeto, situações que conduzam a esta forma de solicitação (CALIL, LAHR & DIAS 2003, p.40).

A resistência à tração normal às fibras da madeira é dada pela máxima tensão de tração que pode atuar em um corpo-de-prova alongado com trecho central de seção transversal uniforme de 2 área A e comprimento não menor que $2,5 A$, com extremidades mais resistentes que o trecho central e com concordâncias que garantam a ruptura no trecho central (MORALES 2010, p.2). A precisão deste teste é muito discutida e muitas vezes negada, em construções se evita este esforço devido à baixa resistência neste sentido, além da distribuição das tensões dentro do corpo de prova ser bastante irregulares causando grandes variações nos resultados, sendo que os valores encontrados somente servem como parâmetro comparativo.

2.7.10 Cisalhamento

Consiste na separação das fibras por um esforço no sentido paralelo as mesmas. É de grande importância em madeiras cavilhadas.

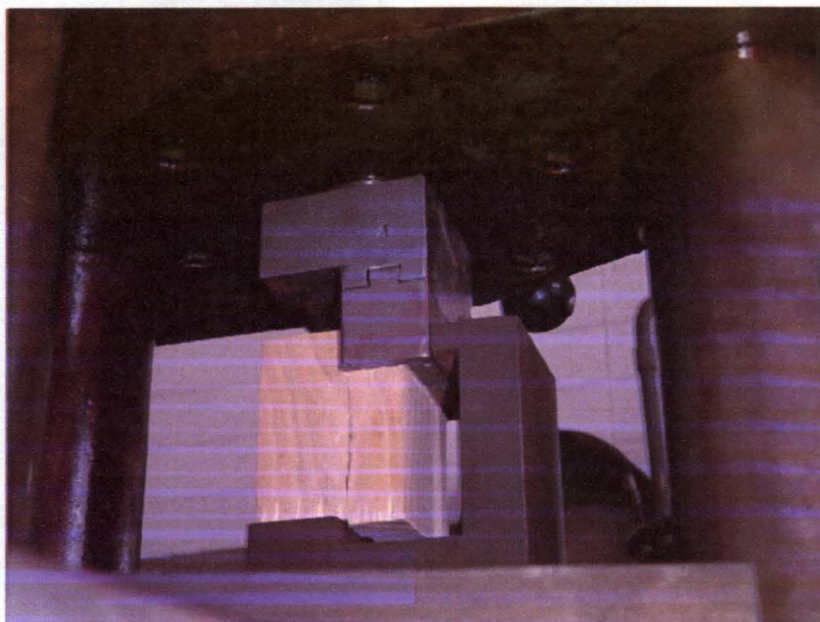
A carga é aplicada de modo a cisalhar uma secção de 2×2 . Mede-se, no ensaio, a carga de ruptura F_u , donde a resistência ao cisalhamento (PFEIL 1994, p.25). Exemplificando, para se determinar a tensão máxima para o cisalhamento divide-se o valor necessário para a ruptura da secção de 2×2 , pelo valor da área da secção transversal.

Quando o plano de atuação das tensões de cisalhamento é paralelo às fibras (ou traqueóides), duas situações distintas podem ocorrer. Se a direção das tensões é na direção das fibras (ou traqueóides), ocorre o cisalhamento horizontal. Se a direção das tensões é perpendicular à direção das fibras (ou traqueóides), existe a tendência desses elementos rolarem uns sobre os outros (cisalhamento Rolling). A situação na qual a madeira apresenta menor resistência é o de cisalhamento horizontal (CALIL, LAHR & DIAS 2003, p.40).

A resistência máxima ao cisalhamento paralelo à grã é relacionada às propriedades de torção, as quais sempre são maiores que as de cisalhamento. O ensaio de cisalhamento da madeira é problemático devido à superposição de tensões, principalmente com as de flexão. Tensões de compressão, concentrações de tensões, desenvolvimento de rachaduras e outras tensões mascaram o fenômeno do cisalhamento. As tensões adicionais às de cisalhamento em um ensaio tornam os resultados duvidosos e não permitem a comparação com resultados

obtidos em ensaios diferentes sem precauções especiais (MORESCHI 2010, p.149). A FIGURA 11 demonstra um teste de cisalhamento paralelo às fibras.

FIGURA 11: Teste de Cisalhamento Paralelo às Fibras.



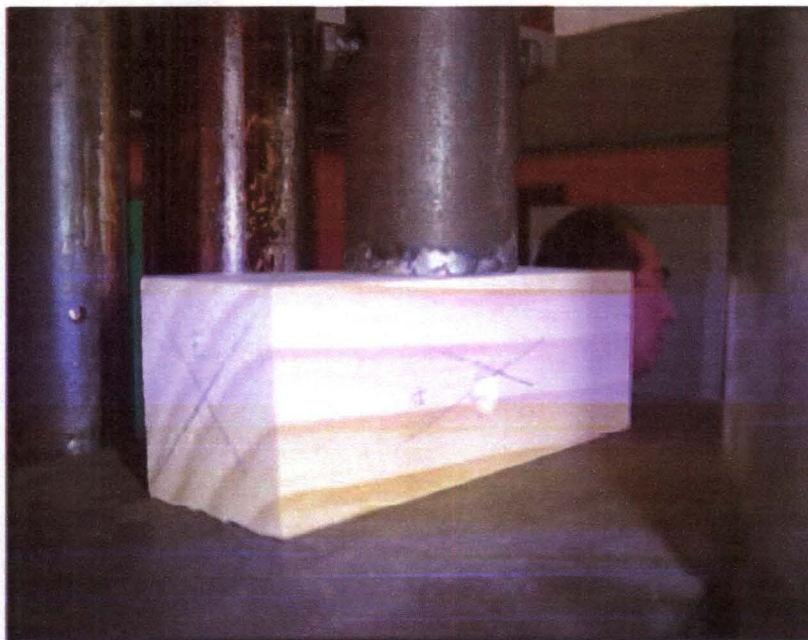
Fonte: MORALES. E.A.M (2010)

2.7.11 Dureza Janka

A dureza é definida como a resistência da madeira para a penetração a um dispositivo que pode ser uma esfera, agulha ou cilindro um dos métodos mais utilizados é o método Janka.

O Método Janka consiste em avaliar o esforço necessário para introduzir nas faces laterais e dos topos dos corpos-de-prova, uma esfera de 1 cm^2 de área diametral, a uma profundidade igual a seu raio. O número de 6 determinações são efetuadas, sendo 2 em cada face tangencial, 2 em cada face radial e 1 em cada face da seção transversal (sentido axial). O esforço da penetração é medido em quilogramas e, devido à área diametral da esfera ser de 1 cm^2 , este valor é obtido diretamente em kgf/cm^2 (MORESCHI 2010, p.155). O teste de dureza Janka pode ser visualizado na FIGURA 12.

FIGURA 12: Teste de Dureza Janka.



Fonte: MORALES. E.A.M (2010)

2.8 Mercado Madeireiro

Ao longo do tempo, a exploração madeireira fixou-se nas madeiras nobres, de melhor aspecto e mais estáveis, utilizadas na confecção de produtos de maior preço. Isso resultou numa “caça” a determinadas madeiras, muitas vezes de ocorrência minoritária na Floresta Amazônica e, antes dela, na Mata Atlântica. Ainda hoje, hectares de mata são destruídos para a extração dos exemplares procurados pelo comércio. Centenas de árvores, derrubadas apenas para “abrir caminho”, são abandonadas aos cupins e ao apodrecimento, ou são queimadas para dar lugar a pastagens. Porém, toda a madeira é matéria-prima nobre. Todas têm utilidade e podem encontrar alguma aplicação. Se o mercado exige espécies mais rentáveis, as demais poderão ser usadas com resultados semelhantes, a custos baixos (MORALES 2010, p.1).

Conforme relatado acima podemos dizer que devemos procurar alternativas as espécies mais nobres, pois estas estão ficando cada vez mais caras e escassas, sendo que madeiras menos conhecidas devem ser estudadas e melhoradas, desta forma poderemos descobrir eventuais substitutos para algumas matérias primas tradicionais, onde o mercado madeireiro sempre foi um grande negócio mundial.

O mercado mundial de madeira e produtos derivados é crescente, conforme mostra o comércio entre países exportadores e importadores. O valor das exportações mundiais é de US\$ 98 bilhões/ano sendo 15% originários de países em desenvolvimento, segundo dados recentes (2004) da FAO. O crescimento se apresenta tanto em produtos com menos industrialização - madeira serrada, quanto em produtos de maior tecnologia agregada - painéis de madeira. Esta tendência é mais evidente nos produtos de maior grau de tecnologia e **valor (REMADE 2004).**

Mundialmente, o mercado de produtos florestais é em grande parte composto pelo comércio de papel para impressão e para uso em escritórios, além de papéis de diversos tipos (mais de US\$ 96 bilhões em 2006). Em seguida, estão as madeiras serradas de coníferas, usadas em larga escala na construção civil, principalmente nos países do hemisfério norte, e na indústria de mobiliário. Em quarto lugar aparece o comércio de polpas celulósicas para a produção de papel. Compensados e madeiras serradas de espécies arbóreas de folhosas aparecem em quinto e sexto lugares, respectivamente, e representam conjuntamente apenas 10% do comércio mundial de produtos florestais (LENTINI 2010).

Graças ao crescimento das empresas florestais brasileiras e das demandas internacionais por produtos da cadeia, o Brasil tem se tornado um dos maiores países do *ranking* de exportadores do mercado internacional de produtos florestais, conquistando posição e ganhando competitividade de países tradicionais no ramo de celulose, como a Finlândia e a Suécia, respectivamente. Com a consolidação da globalização, a retomada do crescimento econômico brasileiro e dos países desenvolvidos e o espetáculo do desenvolvimento da China e da Índia, o setor florestal brasileiro vem, ao longo dos últimos anos exportando cada vez mais, destacando-se como um dos setores de maior crescimento da indústria nacional, contribuindo para a geração de mais empregos, renda, impostos, PIB, etc. Mudanças significativas vêm ocorrendo ao longo dos anos no mercado doméstico e internacional de produtos florestais. A expansão dos existentes e o surgimento de novos mercados e produtos que se utilizam basicamente da madeira de reflorestamento foram se consolidando aqui e no exterior (PAINEL FLORESTAL 2010).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Material

O trabalho foi desenvolvido a partir de um exemplar do gênero *Morus* e espécie *nigra*, que germinou e cresceu de forma espontânea e sem nenhum tratamento silvicultural em uma propriedade no município de União da Vitória, região sul do Paraná.

A região onde foi coletado o material para o presente estudo caracteriza-se da seguinte forma: Latitude 26°13'44" S, Longitude 51°04'58" W e altitude de 752 m, localizada no terceiro planalto paranaense que de maneira geral apresenta solos profundos, bem desenvolvidos e de alta fertilidade natural. O clima é Cfb, se caracteriza por temperaturas moderadas com chuvas bem distribuídas e o verão brando. Podem ocorrer geadas, tanto no inverno como no outono. As médias de temperatura são inferiores a 20°C, exceto no verão. A densidade pluviométrica apresenta precipitação média mensal de 115 mm e média anual de 1.700 mm.

3.2 Métodos

A árvore selecionada tinha idade aproximada de dez anos, segundo informações, apresentava uma altura total de 9 m e respectiva altura comercial de 2,50 m. O diâmetro a altura do peito tinha 34,54 cm e o volume da tora com altura comercial resultou em 0,1991 m³.

Da tora foi retirada uma prancha de 25 x 8 cm, como pode ser visto na FIGURA 13. Esta prancha foi seca naturalmente em ambiente fechado protegido de intempéries.

Esta Prancha foi dividida em três pranchas menores de 70 cm cada uma, destas três pranchas foram retirados os corpos de prova vistos na FIGURA 14 para os testes físicos e mecânicos, começando do topo da prancha para baixo na seguinte ordem: 12 corpos de prova com dimensões de 6,5x5x5 cm para cisalhamento, 30 com dimensões de 2x3x5 cm para análise de massa específica, 12 com dimensões de 5x5x15 cm para dureza janka, 12 com dimensões de 2x2x30 cm para flexão estática e 30 com dimensões de 2,5x2,5x10 cm para contração e anisotropia de contração. Os corpos de prova do centro da prancha que foram compostos pela medula foram eliminados. O Gabarito da retirada dos corpos de prova pode ser visualizado na FIGURA 15. Da madeira restante da parte debaixo da

prancha foram retirados 12 corpos de prova de 2x3x5 cm para determinação da umidade de partida do material utilizado para confecção dos corpos de prova. Todos os procedimentos foram realizados no Laboratório de Engenharia da Madeira da UNIUV de União da Vitória-PR. A análise estatística dos respectivos ensaios foi efetuada através do programa Microsoft Office Excel 2003.

FIGURA 13: Prancha de 25 x 8.



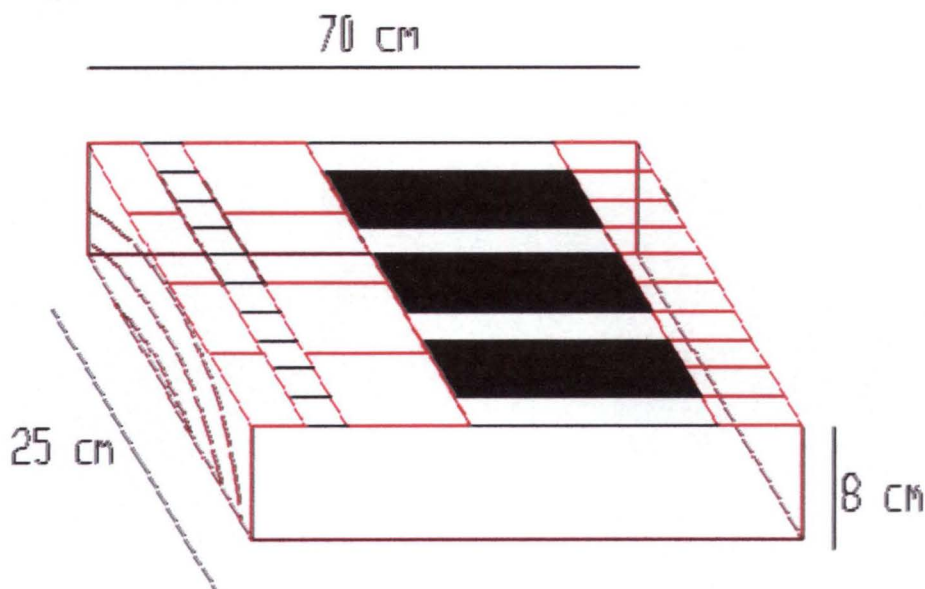
Fonte: O Autor. (2010).

FIGURA 14: Corpos de Prova.



Fonte: O Autor. (2010).

FIGURA 14: Gabarito dos Corpos de Prova.



Fonte: O Autor. (2010).

3.2.1 Propriedades Organolépticas da Madeira

Foram definidas utilizando os sentidos, olfato, tato, visão e paladar, algumas propriedades organolépticas como: odor, cor, grã, textura e desenho.

3.2.2 Teor de Umidade de Partida da Prancha de Madeira

Este ensaio seguiu a norma NBR 7190/1997 da ABNT, onde os corpos de prova apresentam seção transversal retangular, com dimensões nominais de 2,0 cm por 3,0 cm e comprimento ao longo das fibras de 5,0 cm. Os corpos de prova foram pesados em balança eletrônica na umidade ambiente, posteriormente os corpos de prova foram secos em estufa a uma temperatura de 103 ± 3 °C, até atingirem zero por cento de umidade, em seguida foram pesados novamente. O teor de umidade do ambiente foi determinado pela seguinte formula:

$$U_m = (P_a - P_0 / P_0) * 100$$

Sendo:

U_m = Teor de umidade da madeira no ambiente expresso em porcentagem.

P_a = Peso da madeira na umidade de equilíbrio do ambiente expresso em g.

P_0 = Peso da madeira a 0% de umidade expressa em g.

100 = Constante para ajuste de formula.

3.2.3 Massa Específica Aparente

Este ensaio seguiu a norma NBR 7190/1997 da ABNT, onde os corpos de prova apresentam seção transversal retangular, com dimensões nominais de 2,0 cm por 3,0 cm e comprimento ao longo das fibras de 5,0 cm. Os corpos de prova foram deixados por uma semana na sala de aclimatização com temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa do ar de $65 \pm 5\%$ para que atinjam a umidade de 12%. Após este procedimento os mesmos foram pesados em balança eletrônica com 0,01 g de sensibilidade, todas as dimensões foram mensuradas com ajuda de um paquímetro digital de 0,01 mm de sensibilidade. A massa Específica Aparente foi determinada através da seguinte formula:

$$ME_{12\%} = m_{12\%} / V_{12\%}$$

Sendo:

$ME_{12\%}$ = Massa Específica em g/cm^3 a 12% de umidade.

$m_{12\%}$ = Massa do corpo de prova em g a 12% de umidade.

$V_{12\%}$ = Volume do corpo de prova em cm^3 a 12% de umidade.

3.2.4 Massa Específica Aparente Básica

Este ensaio seguiu as mesmas recomendações descritas pela NBR 7190/1997 citadas anteriormente. Os corpos de prova foram imersos em balde com água, até atingirem o estado de saturação das fibras, os mesmos foram pesados em balança eletrônica com 0,01 g de sensibilidade, todas as dimensões foram mensuradas com ajuda de um paquímetro digital de 0,01 mm de sensibilidade. Posteriormente os corpos de prova foram secos em estufa a uma temperatura de $103 \pm 3^\circ\text{C}$, até atingirem zero por cento de umidade, em seguida foram pesados em balança eletrônica com 0,01 g de sensibilidade e todas as dimensões foram mensuradas com ajuda de um paquímetro digital de 0,01 mm de sensibilidade. A massa Específica Aparente Básica foi determinada através da seguinte formula:

$$ME_{AB} = m_{0\%} / V_{\text{verde}}$$

Sendo:

ME_{AB} = Massa Específica Aparente Básica em g/cm^3 .

$m_{0\%}$ = Massa do corpo de prova em g a 0% de umidade.

V_{verde} = Volume verde do corpo de prova em cm^3 .

3.2.5 Contração Volumétrica Máxima

Este ensaio seguiu a norma COPANT 30:1-005, onde os corpos de prova apresentam seção transversal quadrada, com dimensões nominais de 2,5 cm por 2,5 cm e comprimento ao longo das fibras de 10 cm. Os corpos de prova foram imersos em balde com água, até atingirem o estado de saturação das fibras, posteriormente foram mensurados. Em seguida os corpos de prova foram secos em estufa a uma temperatura de 103 ± 3 °C, até atingirem zero por cento de umidade, após este procedimento os mesmos foram novamente medidos.

A contração volumétrica máxima é dada pela seguinte formula:

$$Bv_{max} = \frac{V_{28} - V_0}{V_{28}} * 100$$

Sendo:

Bv_{max} = Contração Volumétrica Máxima expressa em porcentagem.

V_{28} = Volume Úmido >28% expresso em cm³.

V_0 = Volume a 0% de umidade expresso em cm³.

100 = Constante para porcentagem.

3.2.6 Contrações Lineares e Anisotropia de Contração

Para determinar a anisotropia de contração deve-se conhecer a contração linear máxima ocorrida nos eixos tangencial e radial. Este ensaio seguiu a norma COPANT 30:1-005, onde os corpos de prova apresentam seção transversal quadrada, com dimensões nominais de 2,5 cm por 2,5 cm e comprimento ao longo das fibras de 10 cm. Os corpos de prova foram imersos em balde com água, até atingirem o estado de saturação das fibras, posteriormente foram mensurados. Em seguida os corpos de prova foram secos em estufa a uma temperatura de 103 ± 3 °C, até atingirem zero por cento de umidade, após este procedimento os mesmos foram novamente medidos. As contrações lineares máximas dos eixos tangencial e radial são dadas pela seguinte formula:

$$Bl_{max} = \frac{L_{28} - L_0}{L_{28}} * 100$$

Sendo:

Bl_{max} = Contração Linear Máxima expressa em porcentagem.

L_{28} = Distancia de uma extremidade a outra a umidade >28% expressa em cm.

L_0 = Distancia de uma extremidade a outra a 0% de umidade expressa em cm.

100 = Constante para porcentagem.

A madeira se comporta de forma diferente nos seus três planos de corte (Radial Tangencial e Longitudinal). A anisotropia de contração é mais importante que a de inchamento, trata-se da relação entre a contração tangencial e a contração radial expressa pela seguinte formula:

$$Ac=Bt/Br$$

Sendo:

Ac= Anisotropia de Contração

Bt= Contração Linear Máxima no eixo tangencial expressa em porcentagem.

Br= Contração Linear Máxima no eixo radial expressa em porcentagem.

3.2.7 Flexão Estática

A resistência à flexão estática consiste na aplicação de uma carga a um corpo-de-prova que repousa sobre dois apoios, na metade de seu comprimento, para causar tensões e deformações mensuráveis, até sua ruptura. Este Ensaio seguiu as recomendações da Norma COPANT 30:1-006, com corpos de prova de seção transversal quadrada, com dimensões nominais de 2 cm por 2 cm e comprimento ao longo das fibras de 30 cm. Os corpos de prova foram deixados por uma semana na sala de aclimatização com temperatura de $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa do ar de $65\pm 5\%$ para que atinjam a umidade de 12%, as dimensões foram mensuradas com ajuda de um paquímetro digital de 0,01 mm de sensibilidade. Os testes foram realizados na maquina universal de ensaios da marca EMIC, a força foi aplicada tangencialmente aos anéis de crescimento. Foi determinada a resistência máxima a flexão. O calculo de resistência máxima a flexão se da através da seguinte formula:

$$T_{\max} = 3/2 * P_{\max} * L / b * h^2$$

Sendo:

$T_{\max}$ = Resistência Máxima expressa em Kgf/cm²

$P_{\max}$ = Carga Máxima expressa em kg.

L= Vão expresso em cm.

b= Base expresso em cm.

h= Altura expresso em cm.

3/2 = Constante para ajuste de formula.

3.2.8 Modulo de Elasticidade a Flexão Estática

É um valor teórico e expressa a carga necessária para estender um corpo de 1 cm² de área de secção transversal de uma distancia igual ao seu próprio comprimento. O modulo de elasticidade a flexão estática foi obtido simultaneamente com o mesmo corpo de prova do ensaio de flexão estática para determinação da resistência máxima a flexão, usando a maquina universal de ensaios da marca EMIC. O calculo para determinação do modulo de elasticidade a flexão estática se da através da seguinte formula:

$$MOE_f = \frac{1}{4} * P_{Lp} * L^3 / d_{Lp} * b * h^3$$

Sendo:

MOE_f= Modulo de Elasticidade a Flexão Estática expresso em Kg/cm²

P_{Lp}= Carga no Limite Proporcional expressa em kg.

L= Vão expresso em cm.

b= Base expresso em cm.

h= Altura expresso em cm.

d_{Lp}= Deformação no limite proporcional em cm.

1/4 = Constante para ajuste de formula.

3.2.9 Resistência ao Cisalhamento Perpendicular aos Anéis de Crescimento

A resistência ao cisalhamento perpendicular aos anéis de crescimento da madeira é dada pela máxima tensão de cisalhamento que pode atuar na seção de um corpo de prova prismático dado pela seguinte formula:

$$\sigma = P_{max} / b * h$$

Sendo:

σ = Resistência ao Cisalhamento dada em kg/cm².

P_{max}: Carga máxima resistida pela peça de madeira dada em kg.

b, h : Largura e altura que definem a área sujeita ao esforço aplicado dada em cm².

Este ensaio seguiu a norma COPANT 30:1-007 que recomenda que os corpos de prova tenham dimensões de 5 x 5 x 6, 5 cm e 10 cm² na área de cisalhamento. Os corpos de prova foram deixados por uma semana na sala de

aclimatização com temperatura de $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa do ar de $65\pm 5\%$ para que atingissem a umidade de 12%, as dimensões foram mensuradas com ajuda de um paquímetro digital de 0,01 mm de sensibilidade. Os testes foram realizados na máquina universal de ensaios da marca EMIC.

3.2.10 Dureza Janka

Este teste consiste em avaliar o esforço necessário para introduzir nas faces laterais e dos topos dos corpos de prova, uma esfera de 1 cm² de área diametral, a uma profundidade igual a seu raio. As dimensões dos corpos de prova são de 5 x 5 x 15 cm, atendendo as recomendações da norma COPANT 30:1-009, as perfurações se dão em um número de 6 no total, sendo 2 em cada face, radial, tangencial e longitudinal, o esforço de penetração é medido em quilogramas força (kgf), e devido a área da esfera ser de 1 cm², este valor é obtido diretamente em kgf/cm². Os corpos de prova foram deixados por uma semana na sala de aclimatização com temperatura de $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa do ar de $65\pm 5\%$ para que atingissem a umidade de 12%, os testes foram realizados na máquina universal de ensaios da marca EMIC.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Propriedades Organolépticas da Madeira

As propriedades organolépticas da madeira são aquelas que de alguma maneira impressionam os órgãos sensitivos, garantindo ou não a madeira valor ornamental ou decorativo, através das mesmas é possível definir algumas aptidões para qual a madeira é indicada, e outras para qual não deve ser utilizada. Algumas das principais propriedades organolépticas da madeira de *morus nigra* são vistas no QUADRO 2.

QUADRO 2: PROPRIEDADES ORGANOLÉPTICAS DA MADEIRA.

Propriedades Organolépticas da Madeira	
Cor	Cerne amarelo ao amarelo dourado, Alburno amarelo brilhante.
Odor	Odor característico agradável.
Grã	Direita ou Reta.
Textura	Média a Fina.
Desenho	Pouco Aparente.

Fonte: Tora de *Morus nigra*.
Nota: Prancha de madeira retirada do centro da tora.

Analisando a tabela acima é possível perceber que a cor da madeira permite que esta seja utilizada para vários fins, como moveis, por exemplo, sendo que a mesma apresenta uma bela tonalidade de cor. Através de observações no setor moveleiro, conclui-se que a cor desta madeira não será um fator limitante em sua utilização. Outra propriedade que não limitara as possíveis utilidades desta espécie é o odor, pois apesar de o mesmo ser um odor característico, apresentou-se de forma amena e agradável. A grã se apresentou de forma direita ou reta, propriedade esta que lhe garante algumas vantagens como resistência mecânica elevada, ser de fácil desdobro e processamento além de provocar poucas deformações no momento da secagem. Porém por ter a grã reta esta madeira perde aptidões decorativas, pois por ter superfície regular a mesma não ira apresentar desenhos característicos diminuindo o seu valor ornamental. A textura da madeira desta espécie é de média a fina, fator este que lhe garante bom acabamento, mas que também limita seu uso de forma ornamental, pois terá superfície regular.

4.2 Teor de Umidade de Partida

Como citado anteriormente a madeira oriunda dos testes físicos e mecânicos do referente trabalho foi seca de forma natural, sendo assim não conhecemos o real teor de umidade que o material entrou para a sala de aclimatização. Para isso foi determinado o teor de umidade em que a madeira se encontrava antes de adentrar na sala de aclimatização, os resultados podem ser visualizados no QUADRO 3 a seguir.

QUADRO 3: TEOR DE UMIDADE DE PARTIDA DA MADEIRA.

Teor de Umidade de Partida da Madeira			
Nº C.P	Peso Úmido (g)	Peso Seco (g)	Teor de Umidade (%)
1	22,408	19,596	14,35
2	21,880	19,217	13,86
3	21,548	18,859	14,26
4	22,382	19,609	14,14
5	21,240	18,624	14,05
6	22,519	19,715	14,22
7	22,492	19,653	14,45
8	21,330	18,655	14,34
9	22,207	19,415	14,38
10	22,733	19,918	14,13
11	22,233	19,509	13,96
12	22,440	19,593	14,53
Média	22,118	19,364	14,22
Variância	0,2483	0,1846	0,0407
Des. Padrão	0,4983	0,4296	0,2016
Valor Mínimo	21,240	18,624	13,86
Valor Maximo	22,733	19,918	14,53

Fonte: Tora de *Morus nigra*
Nota: Corpos de prova retirados da prancha central da tora.

Verificando o QUADRO 3, é possível perceber que a umidade em que a madeira se encontrava antes de ser levada para a sala de aclimatização era de 14,22 %, este resultado nos indica que a mesma já se encontrava em equilíbrio com a umidade ambiente da cidade de União da Vitória-PR. Através da análise estatística percebe-se que este resultado é confiável, pois sua variância e desvio padrão foram baixos indicando que a amostragem utilizada para encontrar o teor de umidade de equilíbrio foi adequada. De posse destes dados foi possível determinar um prazo aproximado de uma semana na sala de aclimatização para que a madeira atingisse um teor de umidade de 12%, pois a mesma não necessitaria perder tanta água para atingir tal valor.

4.3 Massa Especifica Aparente

A massa especifica aparente desta espécie será discutida utilizando as informações do QUADRO 4 a seguir.

QUADRO 4: MASSA ESPECIFICA APARENTE A 12% DE UMIDADE.

Massa Especifica Aparente 12% de Umidade			
N° C.P	Volume (cm³)	Massa (g)	Massa Especifica (g/cm³)
1	31,328	21,021	0,671
2	30,697	21,854	0,712
3	32,891	23,982	0,729
4	29,999	20,261	0,675
5	33,473	23,639	0,706
6	34,318	24,385	0,711
7	32,171	23,574	0,733
8	33,448	23,504	0,703
9	29,969	22,188	0,740
10	32,114	23,418	0,729
11	32,538	23,770	0,731
12	34,625	24,722	0,714
13	31,525	21,805	0,692
14	31,947	23,940	0,749
15	33,612	24,307	0,723
16	31,154	21,631	0,694
17	30,445	22,417	0,736
18	30,289	21,288	0,703
19	31,630	23,444	0,741
20	33,625	22,496	0,669
21	30,701	20,569	0,670
22	30,485	22,944	0,753
23	30,589	23,098	0,755
24	34,386	24,551	0,714
25	28,822	21,202	0,736
26	33,751	24,258	0,719
27	31,351	24,247	0,773
28	32,758	23,541	0,719
29	30,657	22,942	0,748
30	32,120	23,462	0,730
Média	31,914	22,949	0,719
Variância	2,311	1,577	0,001
Des. Padrão	1,520	1,256	0,027
Valor Mínimo	28,822	20,261	0,669
Valor Maximo	34,625	24,722	0,773

Fonte: Tora de *Morus nigra*
Nota: Corpos de prova retirados da prancha central da tora.

A massa especifica constitui uma das propriedades físicas mais importantes, possuindo uma estreita relação com as demais propriedades físicas. Na pratica a massa especifica serve para facilitar na classificação de madeiras, no QUADRO 5 verificam-se algumas espécies com sua respectiva massa especifica.

QUADRO 5: CLASSIFICAÇÃO QUANTO A MASSA ESPECIFICA.

Classificação de Madeiras Quanto a Massa Especifica aparente (Nome Popular)		
Madeiras Leves (Me menor que 0,50 g/cm³)	Madeiras Médias (Me de 0,50 a 0,75 g/cm³)	Madeiras Pesadas (Me de 0,75 a 0,95 g/cm³)
Caixeta	Bracatinga	Angico Vermelho
Guapuruvú	Cedro	Ipê
Virola	Imbuia	Itaúba
Sumaúma	Mogno	Louro Pardo
Marupá	Araucária	Pau Marfim

Fonte: REMADE (2010).

No QUADRO 4 verifica-se que a massa especifica aparente da madeira de *Morus nigra* é de 0,719 g/cm³. Através deste resultado esta madeira passa a ser classificada como de densidade média, utilizando como referencia o QUADRO 5.

De posse destes resultados e observando a literatura consultada é possível determinar que esta espécie possui boa resistência mecânica, é mais elástica e dura que espécies de massa especifica menores, porém deve-se ter maior atenção a sua trabalhabilidade, pois madeiras mais densas apresentam maior variabilidade, impossibilitando-a para alguns usos.

4.4 Massa Especifica Aparente Básica

A massa especifica aparente básica é utilizada apenas pelo seu valor científico, sendo que a mesma não apresenta utilidade pratica. Seu calculo surgiu devido à dificuldade de se determinar com exatidão algumas medidas a 0% de umidade, sendo que a madeira já esta adsorvendo umidade do ambiente, desta forma a massa especifica aparente básica apresenta resultados mais seguros e confiáveis do que a massa especifica aparente, porém como citado anteriormente a mesma não apresenta utilidade prática. A massa especifica aparente básica da referente espécie pode ser vista no QUADRO 6 a seguir.

QUADRO 6: MASSA ESPECIFICA APARENTE BÁSICA

Massa Específica Aparente Básica			
Nº C.P	Volume (cm³)	Massa(g)	Massa Específica Aparente Básica (g/cm³)
1	34,170	20,962	0,613
2	33,386	20,852	0,625
3	35,916	21,898	0,610
4	33,009	18,260	0,553
5	36,630	21,405	0,584
6	37,084	22,206	0,599
7	35,153	21,478	0,611
8	36,325	21,401	0,589
9	32,715	20,176	0,617
10	34,986	21,383	0,611
11	35,628	21,667	0,608
12	38,198	22,532	0,590
13	34,539	19,803	0,573
14	34,964	21,791	0,623
15	36,824	22,092	0,600
16	34,254	19,574	0,571
17	33,250	20,438	0,615
18	34,153	19,239	0,563
19	34,620	21,423	0,619
20	36,889	20,489	0,555
21	33,654	18,638	0,554
22	33,454	20,983	0,627
23	33,664	21,066	0,626
24	37,608	22,280	0,592
25	31,675	19,272	0,608
26	37,236	22,097	0,593
27	34,141	21,344	0,625
28	36,718	21,437	0,584
29	33,362	21,028	0,630
30	34,547	21,588	0,625
Média	34,958	20,960	0,600
Variância	2,748	1,211	0,001
Des. Padrão	1,658	1,101	0,024
Valor Mínimo	31,675	18,260	0,553
Valor Maximo	38,198	22,532	0,630

Fonte: Tora de *Morus nigra*
Nota: Corpos de prova retirados da prancha central da tora.

4.5 Contração Volumétrica Máxima

A contração volumétrica total, que mede a variação de volume da madeira de saturada a seca é uma das propriedades mais importantes na avaliação da estabilidade dimensional da madeira. A contração volumétrica máxima da referente espécie pode ser vista no QUADRO 7.

QUADRO 7: CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA MÁXIMA.

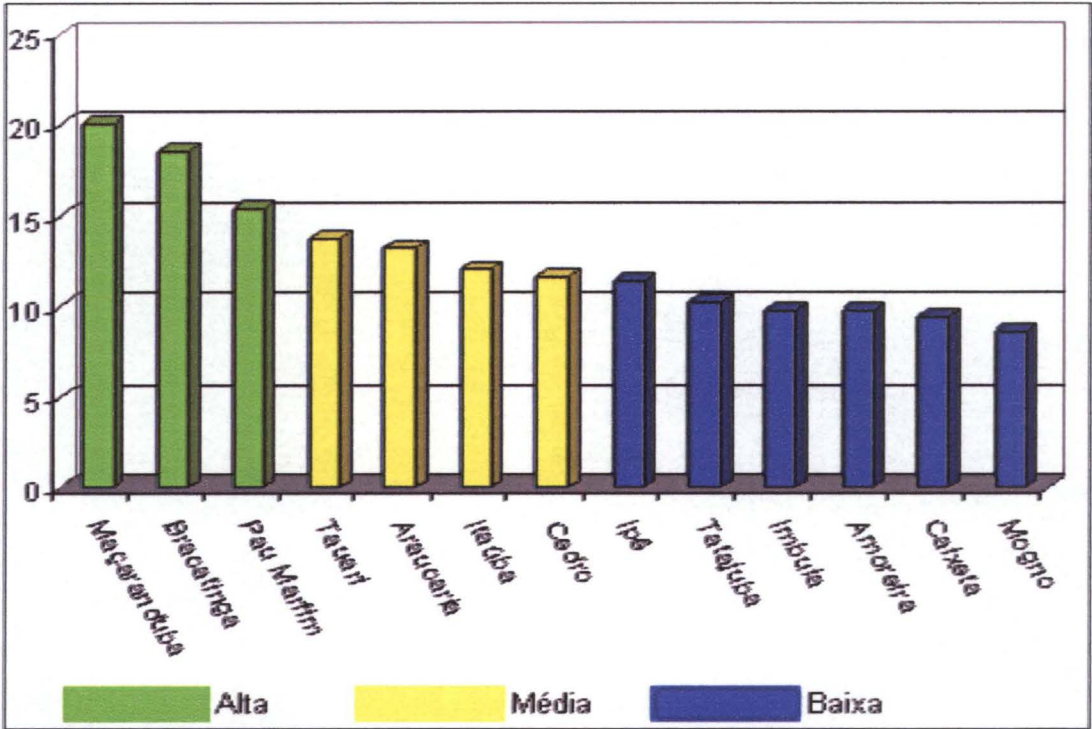
CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA MÁXIMA			
Nº C.P	Volume > 28% Umidade (cm³)	Volume a 0% Umidade (cm³)	BVmax (%)
1	73,59	63,35	13,92
2	66,53	59,62	10,39
3	73,35	66,64	9,15
4	73,21	67,19	8,23
5	71,93	65,03	9,59
6	71,38	62,26	12,78
7	70,33	62,89	10,57
8	74,68	65,25	12,63
9	73,26	64,75	11,62
10	71,42	65,69	8,02
11	71,46	65,90	7,78
12	69,88	64,08	8,29
13	72,46	66,55	8,15
14	70,55	63,71	9,69
15	74,14	64,34	13,21
16	71,99	64,39	10,56
17	70,57	64,80	8,17
18	71,78	66,02	8,02
19	73,23	67,29	8,11
20	72,06	64,39	10,64
21	70,03	64,47	7,95
22	72,67	66,35	8,70
23	71,45	65,70	8,05
24	73,49	64,31	12,49
25	73,21	64,50	11,89
26	71,33	63,20	11,40
27	72,22	66,16	8,40
28	71,86	65,18	9,29
29	72,55	67,04	7,59
30	72,49	66,36	8,45
Média	71,97	64,91	9,79
Variância	2,505	2,714	3,645
Des. Padrão	1,583	1,647	1,909
Valor Mínimo	66,53	59,62	7,59
Valor Máximo	74,68	67,29	13,92

Fonte: Tora de *Morus nigra*

Nota: Corpos de prova retirados da prancha central da tora.

Verificando o quadro acima se percebe que esta espécie apresenta baixa contração volumétrica, deixando a mesma apta para a confecção de móveis, pois quanto menor a retração volumétrica melhor é a madeira para marcenaria, em função da menor movimentação dimensional. A seguir podemos verificar a comparação dos resultados para contração volumétrica com espécies conhecidas, tais resultados estão disponíveis no QUADRO 8.

QUADRO 8: CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA MÁXIMA DE VARIAS ESPÉCIES.



Fonte: REMADE (2010).

No QUADRO 8 verifica-se que a contração volumétrica da amoreira está classificada como baixa, com um valor médio de 9,8 %, estando a frente de espécies importantes para o setor madeireiro. O quadro acima é um grande indicador de que a referente espécie apresenta boas possibilidades para o seu uso em móveis.

4.6 Anisotropia de Contração e Contrações Lineares

A contração volumétrica máxima é um resultado muito importante para determinar aptidões de uso de uma determinada madeira, mas para que este resultado seja confiável o mesmo deve vir em conjunto com seu fator anisotrópico e suas respectivas contrações lineares, representadas pelos plano tangencial e radial. O fator anisotrópico é a relação entre a contração linear no plano tangencial com a contração linear no plano radial. Através deste número e juntamente com a contração volumétrica máxima podemos determinar inúmeras possibilidades de uso ou não para esta madeira, as contrações lineares e o fator anisotrópico podem ser vistos no QUADRO 9 a seguir.

QUADRO 9: FATOR ANISOTRÓPICO E CONTRAÇÕES LINEARES.

ANISOTROPIA DE CONTRAÇÃO			
Nº C.P	Bt (%)	Br (%)	Fator anisotrópico
1	8,39	5,11	1,6
2	5,12	3,32	1,5
3	6,14	2,25	2,7
4	5,15	2,29	2,2
5	6,44	3,42	1,9
6	7,64	4,53	1,7
7	6,60	3,31	2,0
8	7,67	4,44	1,7
9	7,63	3,37	2,3
10	4,80	2,43	2,0
11	4,66	2,32	2,0
12	5,55	1,94	2,9
13	4,88	2,49	2,0
14	5,91	3,07	1,9
15	8,35	4,37	1,9
16	6,68	3,22	2,1
17	4,77	2,62	1,8
18	4,48	2,76	1,6
19	4,81	2,52	1,9
20	6,89	3,09	2,2
21	4,51	2,65	1,7
22	5,58	2,35	2,4
23	4,65	2,61	1,8
24	8,20	3,73	2,2
25	7,76	3,54	2,2
26	7,46	3,31	2,3
27	5,25	2,37	2,2
28	5,91	2,64	2,2
29	4,85	1,92	2,5
30	5,45	2,22	2,5
Média	6,1	3,0	2,1
Variância	1,688	0,650	0,110
Des. Padrão	1,299	0,806	0,331
Valor Mínimo	4,48	1,92	1,5
Valor Maximo	8,39	5,11	2,9

Fonte: Tora de *Morus nigra*
Nota: Corpos de prova retirados da prancha central da tora.

Verifica-se acima que o resultado médio da relação entre as contrações lineares tangencial e radial foi igual a 2,1. De posse deste resultado é possível determinar a sua estabilidade dimensional com o auxilio do QUADRO 10 visto a seguir.

QUADRO 10: COEFICIENTE DE ANISOTROPIA.

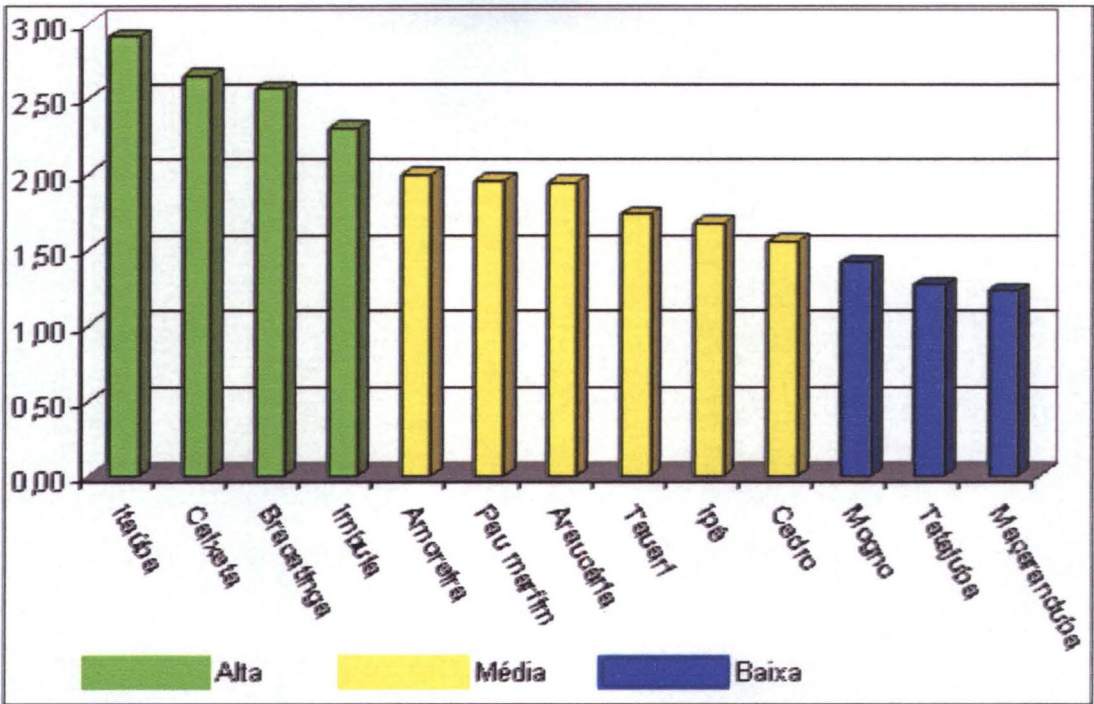
Coeficiente de Anisotropia	Qualidade da Madeira
< 1,5	Madeira muito estável
1,6 até 2,0	Média baixa
2,0 até 2,5	Média alta
>2,6	Madeira muito instável

Fonte: KLITZKE R.J. & I.TOMASELLI. (2000)

Observando-se o QUADRO 10, constata-se que a madeira proveniente de *Morus nigra* é considerada como de media estabilidade dimensional, este resultado a deixa apta para vários usos, como moveis, em estantes, mesas, armários, enfim usos que permitam pequenos empenamentos. Mas o resultado também a impossibilita de ser utilizada na confecção de esquadrias de madeira, por exemplo, pois esta requer madeiras muito estáveis e de baixa variação volumétrica, pois sua estrutura será facilmente prejudicada com possíveis empenamentos.

A seguir é comparada a sua estabilidade dimensional com algumas espécies conhecidas no mercado, esta comparação poderá ser vista a seguir através do QUADRO 11.

QUADRO 11: FATOR ANISOTRÓPICO DE ALGUMAS ESPÉCIES.



Fonte: REMADE (2010).

Observa-se que o fator anisotrópico da madeira de *Morus nigra* apresenta média estabilidade dimensional, porém com valor mais elevado que espécies conhecidas como cedro, por exemplo, mas também indica que a mesma esta em vantagem diante de espécies de alto valor comercial como itaúba e imbuia, indicando que com estudos e preparos adequados esta madeira poderá ser utilizada sem maiores problemas, respeitando suas limitações que apesar de existirem não a excluem de um olhar mais atento para suas qualidades.

4.7 Flexão Estática

Esta propriedade física é muito importante, pois através dela podemos determinar a capacidade da madeira em resistir a cargas que a fazem flexionar em estruturas de madeira como em vigas, por exemplo. A seguir serão apresentados os resultados dos testes de flexão estática para a referente espécie, no QUADRO 12 é possível verificar a tensão máxima para o rompimento do corpo de prova, ou seja, a carga máxima que o mesmo é capaz de resistir antes que se rompa.

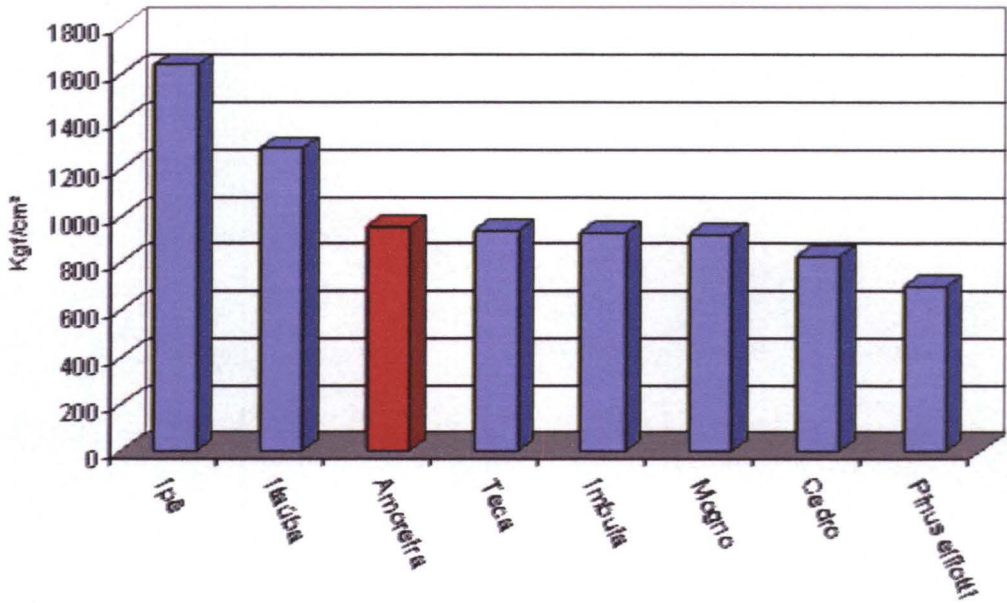
QUADRO 12: TENSÃO MÁXIMA PARA MADEIRA DE *Morus nigra*.

Nº Corpo de Prova	Tensão Máxima (kgf/cm²)
1	1089,43
2	911,09
3	811,34
4	834,86
5	842,42
6	950,09
7	1223,04
8	994,35
9	862,94
10	996,71
11	1016,56
12	884,99
Média	951,48
Variância	14538,51
Des. Padrão	120,58
Valor Mínimo	811,34
Valor Maximo	1223,04

Fonte: Tora de *Morus nigra*
Nota: Corpos de prova retirados da prancha central da tora.

Este resultado indica que a espécie resiste bem até a sua ruptura, ou seja, apresenta média resistência à flexão estática, apresentando valor médio de 951,48 kgf/cm², fator este que a qualifica para usos na construção civil. No QUADRO 13 é comparada a resistência da amoreira com algumas espécies.

QUADRO 13: RESISTÊNCIA MÁXIMA Kgf/cm² DE ALGUMAS ESPÉCIES.



Fonte: REMADE (2010).

No quadro anterior verifica-se que a amoreira tem maior resistência a flexão que muitas espécies conhecidas no mercado brasileiro, demonstrando mais uma vez que a mesma merece atenção e estudos mais detalhados de sua utilização e também sobre suas características silviculturais.

4.8 Modulo de Elasticidade (MOE) à Flexão Estática

Antes da apresentação dos resultados convêm lembrar que o modulo de elasticidade a flexão é mais baixo que o obtido nos ensaios de tração, compressão e dinâmico respectivamente, na prática, utiliza-se o módulo de elasticidade para a classificação de madeiras para construções. No QUADRO 14 abaixo é visualizado o modulo de elasticidade a flexão da madeira de *Morus nigra*.

QUADRO 14: MOE À FLEXÃO DE MADEIRA DE *Morus nigra*.

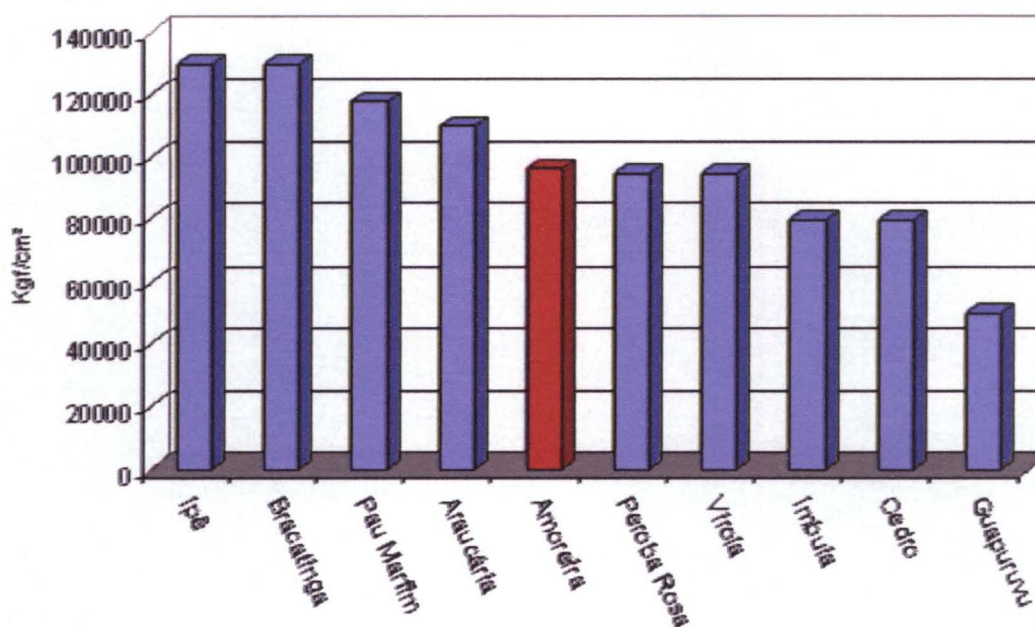
Nº Corpo de Prova	Modulo de Elasticidade kgf/cm²
1	101057,60
2	93247,00
3	85975,66
4	88206,62
5	85858,32
6	101924,59
7	106728,62
8	98985,76
9	98919,12
10	100902,53
11	99479,27
12	96111,46
Média	96449,71
Variância	45327463,47
Des. Padrão	6732,57
Valor Mínimo	85858,32
Valor Maximo	106728,62

Fonte: Tora de *Morus nigra*
Nota: Corpos de prova retirados da prancha central da tora.

O modulo de elasticidade apresentado pela espécie é considerado de valor médio, sendo de 96449,71 kgf/cm², deixando o seu uso limitado para construção civil, (estruturas) mas não o excluindo definitivamente, sendo que o material poderá compor com outros mais resistentes uma possível estrutura de um telhado, por exemplo. A seguir são comparados alguns valores de módulos de elasticidade à

flexão estática com algumas espécies conhecidas no mercado do Brasil, os valores são vistos no QUADRO 15 abaixo.

QUADRO 15: MOE DE ALGUMAS ESPÉCIES BRASILEIRAS.



Fonte: MORESCHI (2010).

Observando-se o quadro acima, é constatado que o módulo de elasticidade da referente espécie apresenta resultados satisfatórios, pois se encontra dentro dos valores médios das principais espécies de madeira utilizadas no Brasil. Convém lembrar algumas notações segundo o módulo de elasticidade: Quanto mais alto o Módulo de elasticidade, mais alta é a resistência da madeira e consequentemente mais baixa será a deformidade da madeira. Quanto mais baixo o Módulo de Elasticidade piores serão as qualidades do material para fins de construções civis.

4.9 Resistência ao Cisalhamento Perpendicular aos Anéis de Crescimento

A resistência ao cisalhamento tem grande importância, este dado é utilizado na prática para se saber se a madeira tem capacidade de resistir a usos como em roletes, encaixes em vigas na construção civil, polias, postes e madeiras que utilizam encaixes, pinos e parafusos para serem fixadas umas nas outras. O cisalhamento se caracteriza na separação das fibras por um esforço paralelo as

mesmas. Os resultados apresentados pela madeira pesquisada no referente estudo são vistas a seguir no QUADRO 16.

QUADRO 16: RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DE *Morus nigra*.

Número do Corpo de Prova	Resistência ao Cisalhamento (kgf/cm²)
1	70,07
2	112,06
3	131,74
4	97,38
5	78,82
6	70,05
7	71,35
8	108,59
9	123,58
10	122,67
11	78,00
12	118,08
Média	98,53
Variância	559,16
Des. Padrão	23,65
Valor Mínimo	70,05
Valor Maximo	131,74

Fonte: Tora de *Morus nigra*
Nota: Corpos de prova retirados da prancha central da tora.

O quadro acima demonstra que o resultado médio para a resistência ao cisalhamento da referente espécie é de 98,53 kgf/cm², resultado este que a qualifica como madeira de média resistência ao cisalhamento conforme QUADRO 17 abaixo.

QUADRO 17: CLASSIFICAÇÃO DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO.

Resistência ao Cisalhamento	Kgf/cm²
BAIXO	Abaixo de 78
MÉDIO	78 a 117
ALTO	Acima de 117

Fonte: IBAMA (2010).

Através dos dados obtidos das tabelas anteriores é possível constatar que a madeira em questão não apresenta limitações significativas em seus usos quanto à resistência ao cisalhamento, podendo ser empregada na construção civil e também podendo ser fixada em outras estruturas por meio de pinos e parafusos. Devemos ressaltar que tal resultado foi verificado de forma perpendicular aos anéis de

crescimento, sendo que a resistência tangencialmente aos anéis de crescimento devesse ser menor.

4.10 Dureza Janka

A madeira oferece uma determinada resistência a penetração de outro corpo, este fenômeno é tido como dureza, é uma característica importante para a trabalhabilidade da madeira, deixando a mesma apta ou não para determinados fins. O QUADRO 18 a seguir demonstra os resultados para a dureza da madeira de *Morus nigra*.

QUADRO 18: DUREZA JANKA PARA MADEIRA DE *Morus nigra*.

Nº C.p	Radial	Tangencial	Axial	Média
1	313,695	362,175	378,48	351,45
2	337,875	385,68	402,315	375,29
3	340,845	389,58	405,195	378,54
4	332,175	379,92	397,11	369,74
5	311,295	358,785	376,38	348,82
6	345,42	393,195	409,62	382,75
7	335,58	383,625	399,165	372,79
8	322,71	370,53	387,27	360,17
9	337,635	385,575	402,795	375,34
10	341,445	388,65	405,405	378,50
11	321,405	369,315	385,74	358,82
12	332,655	379,605	396,54	369,60
Média	331,06	378,89	395,50	368,48
Variância	125,35	124,92	120,59	123,52
Des. Padrão	11,20	11,18	10,98	11,11
Valor Mínimo	311,30	358,79	376,38	348,82
Valor Máximo	345,42	393,20	409,62	382,75

Fonte: Tora de *Morus nigra*
Nota: Corpos de prova retirados da prancha central da tora.

A dureza média da madeira de *morus nigra* é de 368,48 kgf/cm², o que a classifica como madeira de dureza média, conforme QUADRO 19. Este resultado a exclui de alguns possíveis usos, como pisos, por exemplo, onde se deseja madeiras com durezas mais elevadas, ou outras utilizações que por ventura sofram elevadas cargas concentradas numa reduzida área.

QUADRO 19: CLASSIFICAÇÃO DE MADEIRAS / DUREZA JANKA.

Dureza Janka	Kgf/cm²
BAIXA	Abaixo de 364
MÉDIO	364 a 802
ALTO	Acima de 802

Fonte: IBAMA (2010).

4.11 Discussões Finais

Para a conclusão final deste trabalho, será utilizado o QUADRO 20 a seguir, onde constam todos os resultados dos testes físicos e mecânicos, e através dele chegaremos às conclusões finais sobre as aptidões de uso da madeira de *Morus nigra*.

QUADRO 20: Morus nigra PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS.

Massa específica		g/cm3	Kg/m3
Aparente (12% de umidade)		0,72	720
Básica		0,60	600
Retração Total	Radial	Tangencial	Volumétrica
(%)	3,1	6,1	9,8
Fator anisotrópico			2,1
Resistência Mecânica (kgf/cm2)		A 12% de umidade	
Flexão estática (Tensão máxima)		951,50	
Modulo de elasticidade a flexão estática		96449,71	
Resistência ao cisalhamento		98,53	
Dureza Janka		368,48	
Propriedades Organolépticas		Cerne amarelo ao amarelo dourado, alborno amarelo brilhante, odor característico agradável, grã direita, textura média a fina e desenhos pouco aparentes.	

Fonte: Tora de *Morus nigra*

Nota: Testes Físicos e Mecânicos.

De posse dos resultados demonstrados na tabela anterior, é possível traçar uma lista de usos para a referente madeira. A referente madeira tem propriedades físicas e mecânicas médias, com apenas a contração volumétrica sendo baixa. Este fator a credencia aos seguintes usos: Móveis em geral, devido a sua média densidade e contrações volumétricas e lineares, além de sua boa resistência a flexão estática e médio modulo de elasticidade. Possui bela cor e textura média a fina, o que indica que terá bom acabamento. Poderá ser usada na construção civil, pois apresenta média resistência ao cisalhamento podendo ser usada em estruturas que utilizam parafusos e encaixes na sua composição. Devera ser usada para compor estruturas com madeiras mais resistentes devido ao médio modulo de elasticidade e média resistência à flexão estática. Poderá ser usada em construções Internas, como rodapés, guarnições, forros e lambris.

Os resultados a limitam a usos como pisos ou outras utilizações que por ventura sofram elevadas cargas concentradas numa reduzida área devido a sua dureza não ser muito elevada, esta madeira também não é recomendada para usos em esquadrias, ou outros usos que exijam o mínimo empenamento, sendo que a mesma apresentou médio fator anisotrópico.

Finalmente é concluído que a madeira de *Morus nigra* apresenta boas características físicas e mecânicas, características estas que não limitam muito seus usos, desta forma a mesma merece atenção, pois é possível ter melhores resultados através de estudos de suas características silviculturais, taxa de crescimento, conicidade, características ecológicas, forma do fuste e posição sociológica. De posse destes resultados será possível definir se a espécie poderá ser utilizada para fins econômicos. Vale ressaltar que tal estudo foi efetuado utilizando-se de apenas um exemplar, porém os resultados aqui apresentados poderão servir de ponto de partida para futuros novos estudos sobre a espécie, este estudo comprova que a mesma tem potenciais de uso.

5 CONCLUSÃO

Segundo os resultados obtidos nos testes físicos e mecânicos, a madeira de *Morus nigra* é recomendada para os seguintes usos:

- Móveis
- Construção Civil (Estruturas)
- Rodapés
- Guarnições (Vistas de Portas e Janelas)
- Forros e Lambris

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, C. E. C. de. **Processo de Produção de Chapas de Fibras**, Doutorado em Concentração de Tecnologias e Utilização de Produtos Florestais. Curitiba, PR: Universidade Federal do Paraná 1999.

CALIL, C. J.; DIAS, A. A.; LAHR, F. A. R. **Dimensionamento de Elementos Estruturais de Madeira**. 1. ed. Barueri, SP: Manole, 2003.

Exploring The Wold Of Trees. Disponível em: <http://tree-species.blogspot.com>> Acesso em 28 de Março de 2010.

Flora Europaea. Edinburgh, Reino Unido: Royal Botanic Garden, Disponível em: http://193.62.154.38/cgi-bin/nph-readbtrees.pl/feout?FAMILY_XREF=&GENUS_XREF=Morus&SPECIES_XREF=nigra&TAXON_NAME_XREF=&RANK=> Acesso em 28 de Março de 2010.

Frutas do Rio Grande do Sul, Amoreira Negra. Disponível em: <http://www.frutas.radar-rs.com.br/frutas/amora/amora.htm>> Acesso em 28 de Março de 2010.

GALVÃO, A. P. M. & JANKOSKY, I, P. **Secagem Racional da Madeira**. São Paulo, SP: Nobel, 1984.

IAPAR, Instituto Agrônomo do Paraná. Disponível em: <http://www.iapar.br>> Acesso em 29 de Março de 2010.

IBAMA, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/lpf/madeira/introducao.htm>> Acesso em 29 de Abril de 2010.

KLITZKE, J. R. & TOMASELLI, I. **Secagem da Madeira**. Canoinhas, SC: Universidade do Contestado, 2000.

LENTINI, M. **Quais os principais produtos comercializados no mercado mundial e brasileiro**. Disponível em: <http://empresasefinancas.hsw.uol.com.br/industria-da-madeira1.htm>> Acesso em 16 de Abril de 2010.

LOBÃO, M. S.; LÚCIA, R. M. D. MOREIRA, M. S. S.; GOMES, A. **Caracterização das Propriedades Físico-Mecânicas da Madeira de Eucalipto com Diferentes Densidades**. Revista Árvore, Viçosa-MG, v.28, n.6, p.889-894, 2004.

MADY, F. T. M. **Curso de Física da Madeira, Propriedades Mecânicas**. Universidade Federal do Amazonas. Disponível em: www.conhecendoamadeira.com/fisica/10_propriedades_mecanicas.pdf> Acesso em 10 de Março de 2010.

MARQUES, C. V. & TEIXEIRA, V. de. A. **Efeitos do Extrato Aquoso de *Morus nigra* L. (amora-preta) Sobre Níveis Plasmáticos de Colesterol total, Hdl e Glicose de Ratos Wistar.** XVIII CIC, XI Enpos, 1ºMostra Científica. Pelotas, RS: Universidade Federal de Pelotas, 2009.

MORALES, E. A. M. **Apostila de Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira.** Itapeva, SP: Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho. Disponível em <http://www.itapeva.unesp.br/docentes/elen/> > Acesso em 23 de Março de 2010.

MORESCHI, J. C. **Apostila de Propriedades Tecnológicas da Madeira.** 3. ed. Curitiba, PR: Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR, 2010.

PADILHA, M. de. M. **Estudo Farmacognóstico, Fitoquímico e Farmacológico das Folhas de *Morus nigra* L. (amoreira-preta).** Mestrado em Ciências Farmacêuticas. Alfenas, MG: Universidade Federal de Alfenas, 2009.

Painel Florestal. Disponível em: http://painelflorestal.com.br/exibeNews.php?id=1412&cod_editorial=&url=news.php&pag=0&busca=> Acesso em 16 de Abril de 2010.

PAULINE, L. P. **A madeira Como Material de Construção.** Faculdade Assis Gurgacz. Disponível em: www.fag.edu.br/.../Estruturas%20de%20Madeira/A%20Madeira%20como%20material%20de%20construção.pdf > Acesso em 5 de Abril de 2010.

PFEIL, W. **Estruturas de Madeira.** 5. ed. Rio de Janeiro, RJ: Ltc, 1994.

Portal Remade. Disponível em <http://www.remade.com.br/br/index.php> > Acesso em 12 de Março de 2010.

ROCHA, S. J.; PAULA, E. V. C. M. de. ; SIQUEIRA, M. L. **Flexão Estática em Amostras Livres de Defeitos.** ACTA Amazônica Sumário 18 (2), p. 147 – 162. Jun. 1988.

SCANAVACA, L. & GARCIA, J. N. **Determinação das Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira de *Eucalyptus urophylla*.** Scientia Forestalis n.65 p.120-129. Jun. 1994.

SILVA, J. C.; MATOS, J. L. M.; OLIVEIRA, J. T. S.; EVANGELISTA, W. V. **Influência da idade e da posição radial na flexão estática da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden.** Revista Árvore, Viçosa, MG, v.29, n.5, p. 795-799 Set/Out.2005.

STANGERLIN, D. M.; MELO R. R.; GATTO, D. A.; BELTRAME, R.; TREVISAN, R.; CALEGARI, L. **Qualificação das Madeiras de *Eucalyptus grandis*, *camaldulensis* e *Eucalyptus saligna* Através da Resistência ao Choque.** XVI CIC, IX Enpos Pelotas, RS: Universidade Federal de Pelotas, 2007.

THOMÉ, O. W. **Flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz**. Gera, Alemanha: Kurt Stubers, Disponível em: http://www.zun.de/stuebe/thome/band2/tafel_023.html> Acesso em 28 de Março de 2010.

VANONI, A. P. N. B. **Avaliação da Atividade Fitoestrogênica do Estrato Hidroalcoólico e da Infusão das Folhas de *Morus nigra* L.** Mestrado em Ciências Veterinárias. Porto Alegre, RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.

VOIGT, M, D. & GURSKI, C. R. **Levantamento Nutricional da Praça Coronel Amazonas na Cidade de União da Vitória – PR Através de Análise de solo para fins de correção**. Ensino e Pesquisa v.1, n.5, p. 93 -102. Jul. 2008.

ZANETTI, R. **Manual de sericultura**. Lavras, MG: Editora UFLA, 2003.