



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO

INSTITUTO DE FLORESTAS – IF

CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**AVALIAÇÃO DA USINAGEM E CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES
FÍSICAS DA MADEIRA DE MOGNO AFRICANO (*Khaya ivorensis* A. Chev.)**

BRUNO TORRES BRAGA DA SILVA

Orientador: Dr. Alexandre Monteiro de Carvalho

SEROPÉDICA - RJ
Janeiro de 2010



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO - UFRRJ

INSTITUTO DE FLORESTAS - IF

CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

AVALIAÇÃO DA USINAGEM E CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA DE MOGNO AFRICANO (*Khaya ivorensis* A. Chev.)

BRUNO TORRES BRAGA DA SILVA

Sob a orientação do

Prof. Dr. Alexandre Monteiro de Carvalho

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

SEROPÉDICA - RJ
Janeiro de 2010



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO - UFRRJ

INSTITUTO DE FLORESTAS - IF

CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**AVALIAÇÃO DA USINAGEM E CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES
FÍSICAS DA MADEIRA DE MOGNO AFRICANO (*Khaya ivorensis* A. Chev.)**

BRUNO TORRES BRAGA DA SILVA

Monografia aprovada em: 13/01/2010

Comissão examinadora:

Orientador: _____

Professor Dr. Alexandre Monteiro de Carvalho
DPF/IF/UFRRJ

Titular : _____

Professora Dr^a. Rosilei Aparecida Garcia
DPF/IF/UFRRJ

Titular : _____

Professora M.Sc. Natalia Dias de Souza
DPF/IF/UFRRJ

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Adenilde Torres Lima da Silva e Gilberto Braga da Silva, que me apoiaram em minha escolha e por estarem sempre ao meu lado.

As minhas irmãs Thais e Yasmim, pelo companheirismo, amizade, e por terem me aturado durante todos estes anos.

Ao meu orientador Professor Alexandre Monteiro de Carvalho, pela amizade, dedicação e incentivo empregado neste trabalho.

A Gilmara Pires de Moura Palermo pela ajuda na realização deste trabalho.

Aos meus amigos da república “Nó de madeira”, Arthur, Marcos e Jorge.

A todos os meus amigos da turma 2005/I, que sempre me ajudaram e que foram companheiros em todos os momentos.

RESUMO

Este trabalho teve o objetivo de caracterizar as propriedades físicas e avaliar a usinagem da madeira de mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.) proveniente do bairro Ecologia em Seropédica – RJ. Para confecção dos corpos-de-prova foram utilizadas 3 toras de aproximadamente 1 m de comprimento e 30 cm de diâmetro de 3 diferentes árvores. Os corpos-de-prova produzidos tiveram dimensões de 30 cm x 12 cm x 2,3 cm para os testes de usinagem e de 2 cm x 3 cm x 5 cm para as propriedades físicas. As propriedades físicas feitas foram de densidade aparente, densidade básica e contração volumétrica. Os testes de usinagem realizados foram: teste de plaina; teste de lixa; teste de furação para cavilha e dobradiça; teste de rasgo; e fendilhamento por pregos. As avaliações dos testes de usinagem foram feitas seguindo a norma ASTM- D 1666-87. A madeira apresentou densidade média e baixa correlação entre suas densidades e sua contração volumétrica. Nos testes de usinagem a madeira apresentou boa qualidade no acabamento, tendo mostrado grande potencial para utilização na indústria de movelaria e para acabamentos internos de construções.

Palavras-chave: mogno africano, propriedades da madeira, processamento da madeira, usinagem da madeira.

ABSTRACT

The objective of this work was to characterize physical proprieties and evaluate the machinability of african mahogany (*Khaya ivorensis* A. Chev.) wood from Seropédica - RJ. To produce the specimens three logs of about 1 m of length and 30 cm of diameter were used for three different trees. Specimens measuring 30 cm x 12 cm x 2.3 cm for machinability tests, and 2 cm x 3 cm x 5 cm for physical proprieties were produced. The physical proprieties analyzed were densities specific gravity and volumetric shrinkage. The machinability tests were: planing, sanding; boring, and nails application. The machinability tests were evaluated following the ASTM-D 1666-87 standard. The wood presented a medium density and low relationships between density and volumetric shrinkage. The machinability tests showed good results, showing great potential for use in furniture industry and internal finishing of buildings.

Keywords: african mahogany, wood properties, wood process, wood workability.

SUMÁRIO

| | |
|---|------|
| LISTA DE FIGURAS | viii |
| LISTA DE TABELAS | ix |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA | 1 |
| 2.1 Mogno Africano..... | 1 |
| 2.2 Usinagem | 2 |
| 2.3 Ensaio Físicos..... | 2 |
| 3. OBJETIVOS | 3 |
| 3.1 Objetivo Geral..... | 3 |
| 3.2 Objetivos Específicos | 3 |
| 4. MATERIAL E MÉTODOS..... | 3 |
| 4.1 Material e Desdobro..... | 3 |
| 4.2 Caracterização Física da Madeira | 4 |
| 4.2.1 Densidade aparente | 4 |
| 4.2.2 Densidade básica | 4 |
| 4.2.3 Estabilidade dimensional | 5 |
| 4.3 Testes de Usinagem | 5 |
| 4.3.1 Testes de plaina..... | 6 |
| 4.3.2 Teste de lixa..... | 8 |
| 4.3.3 Teste de furação para cavilha e dobradiça..... | 9 |
| 4.3.4 Teste de rasgo | 10 |
| 4.3.5 Fendilhamento por pregos | 10 |
| 5. RESULTADO E DISCUSSÃO..... | 11 |
| 5.1 Caracterização Física da Madeira | 11 |
| 5.1.1 Densidade aparente, básica e estabilidade dimensional | 11 |
| 5.2 Testes de Usinagem | 13 |
| 5.2.1 Teste de plaina | 13 |
| 5.2.2 Teste de lixa..... | 14 |
| 5.2.3 Teste de furação para cavilha e dobradiça..... | 15 |
| 5.2.4 Teste de rasgo | 16 |
| 5.2.5 Fendilhamento por pregos | 17 |
| 6. CONCLUSÃO..... | 18 |
| 6.1 Recomendações | 18 |
| 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 19 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Corpo-de-prova dos ensaios de usinagem..... | 6 |
| Figura 2. Indicação de produtos de madeira para diferentes qualidades da superfície usinada, em função do avanço por dente (fz) | 7 |
| Figura 3. Esquema dos cortes de desempenho em oposição e concordância..... | 8 |
| Figura 4. Operação de furação para cavilha dos corpos de prova | 9 |
| Figura 5. Ilustração do rasgo produzido na lateral das amostras..... | 10 |
| Figura 6. Correlação entre a densidade básica e a contração volumétrica da madeira de mogno africano (<i>Khaya ivorensis</i> A. Chev.) | 12 |
| Figura 7. Correlação entre a densidade básica e a contração volumétrica da madeira de mogno africano (<i>Khaya ivorensis</i> A. Chev.) | 13 |
| Figura 8. Exemplo do teste de fendilhamento por pregos | 17 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1. Notas aplicadas nas avaliações da peças nos ensaios de usinagem | 6 |
| Tabela 2. Valores de densidade aparente, densidade básica e contração volumétrica das amostras de mogno africano (<i>Khaya ivorensis</i> A. Chev.) | 11 |
| Tabela 3. Resultados obtidos para a madeira de mogno africano (<i>Khaya ivorensis</i> A. Chev.) na avaliação do desempenho | 14 |
| Tabela 4. Resultado obtido para a madeira de mogno africano (<i>Khaya ivorensis</i> A. Chev.) no teste de lixa | 15 |
| Tabela 5. Resultados obtidos para a madeira de mogno africano (<i>Khaya ivorensis</i> A. Chev.) na furação em cavilha | 15 |
| Tabela 6. Resultados obtidos para a madeira de mogno africano (<i>Khaya ivorensis</i> A. Chev.) na furação para dobradiça..... | 16 |
| Tabela 7. Resultados obtidos para a madeira de mogno africano (<i>Khaya ivorensis</i> A. Chev.) em relação ao levantamento de fibras no teste de rasgo..... | 16 |
| Tabela 8. Resultados obtidos para a madeira de mogno africano (<i>Khaya ivorensis</i> A. Chev.) no fendilhamento por prego..... | 17 |

1. INTRODUÇÃO

A madeira foi um dos primeiros materiais usados pelo homem através dos tempos, na construção de sua habitação e de seus primeiros equipamentos de transporte. Atualmente, no mundo, ela tem extrema importância, pois tem uso para diferentes fins, como o da construção civil, geração de energia, produção de polpa celulósica e papel, fabricação de móveis e etc.

A madeira, por ser um material heterogêneo e anisotrópico (apresenta propriedades físico/mecânicas diferentes nos planos radial, tangencial e longitudinal) possui muitos fatores a serem considerados em processos de usinagem e beneficiamento, comumente chamados de “aparelhamento”.

Na indústria moveleira, as madeiras provenientes de reflorestamento se revelam promissoras e o futuro reside no uso crescente das mesmas, uma vez que a antiga vantagem comparativa representada pelo uso da madeira de florestas nativas torna-se cada vez mais ineficiente (SOUZA, 2007).

Além das espécies de eucalipto e pinus, já concretizadas no cenário nacional como madeiras fornecedoras de matéria-prima para inúmeros fins, existem iniciativas da introdução de novas espécies com potencial madeireiro, uma delas é o mogno africano cujas características são detalhadas a seguir.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Mogno Africano

O mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.) é natural da Costa do Marfim, Gana, Benin, Nigéria e sul de Camarões; ocorre desde 0 a 450 m de altitude, normalmente em vales úmidos. Seus indivíduos suportam inundações durante o período de chuvas, entretanto, é muito sensível ao período de estiagem (ACAJOU D’AFRIQUE, 1979 apud CONDE, 2006).

Ele foi introduzido no Brasil visando substituir o mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla*) devido a sua alta resistência ao microlepidóptero *Hypsiphyla grandella*, a principal praga do mogno nativo.

O mogno de origem africana vem se tornando uma espécie de grande importância na Região Amazônica, em virtude do seu alto valor econômico, a sua facilidade de produção de mudas e ao rápido crescimento, promovendo a recuperação de áreas alteradas. Segundo estimativas, uma árvore de mogno africano, ao atingir o ponto de corte, em torno de 15 a 20 anos, poderá alcançar o valor de cerca de US\$ 2.000,00, não existindo outro produto agrícola que a supere (FALESI & BAENA, 1999), sendo uma das espécies atualmente preferidas pelos reflorestadores no Estado do Pará. Em sistemas silvipastoris. Essa espécie, aos sete anos de

idade, pode alcançar altura de 12 m, correspondente à primeira ramificação da copa e diâmetro a altura do peito (DAP) de 22 cm (CASTRO, *et al.* 2008). Segundo Falesi e Galeão (2002), em reflorestamento no Pará o mogno africano (*Khaya ivorensis*) apresentou média de altura total de 8,54 m e de DAP de 15,45 cm aos 5 anos e 8 meses, e média de altura total de 9,15 m e DAP de 17,25 cm aos 6 anos e 4 meses.

O comércio do mogno africano é extraordinário, devido as características tecnológicas e a beleza de sua madeira. É usado na indústria de movelaria, construção naval e em sofisticadas construções de interiores. O mercado europeu é o principal consumidor desta madeira (AUBREVILLE, 1959 apud CONDE, 2006).

2.2. Usinagem

Os principais defeitos no processo de usinagem da madeira estão ligados a quatro fontes básicas. Primeiramente, têm-se as variações das propriedades da madeira, seguido das características de funcionamento das máquinas e das ferramentas de corte e por último o treinamento da mão-de-obra.

O conceito de qualidade da usinagem é apresentado diferentemente por dois grupos de pesquisadores. O primeiro grupo conceitua a qualidade apenas através dos valores normativos da usinagem, através do cálculo do avanço por dente (f_z) ou da profundidade do arco ciclóide (t), enquanto o segundo grupo considera não somente os parâmetros indicados acima, como também a presença de falhas na superfície, que são geradas em função da estrutura da madeira pela presença dos diferentes tipos de células, de suas diferentes dimensões e orientações (SILVA, 2002).

O entendimento sobre o correto modo de se usinar a madeira de uma determinada espécie é importante, pois influencia economicamente na produção, reduzindo perdas com a necessidade da adição de mais uma etapa de usinagem, e melhorando o acabamento superficial da madeira, aumentando assim o seu valor agregado.

2.3 Ensaios Físicos

A madeira é composta por constituintes primários que são polímeros como a celulose, hemiceluloses e lignina, responsáveis pela maioria das propriedades físicas da madeira. Além destes constituintes há ainda os extrativos, que podem contribuir para muitas outras propriedades (MORI *et al.*, 2003).

A madeira é um material heterogêneo, possuindo diferentes tipos de células, adaptadas ao desempenho de funções específicas; as variações nas suas composições químicas, físicas e anatômicas são grandes entre espécies. Dentro da mesma espécie, elas também ocorrem conforme a idade, posição na árvore, fatores genéticos e ambientais etc. (SHIMOYAMA, 1990).

A retratibilidade da madeira é medida a partir do volume da madeira saturada e seu volume após secagem em estufa. A retratibilidade varia muito de uma espécie para outra e com o modo de secagem, podendo inchar ou contrair de acordo com a umidade relativa do meio em que se encontra. Deve-se ressaltar que quanto menor as contrações, melhores serão as suas propriedades (MORI et al, 2003).

A densidade aparente é medida relacionando volume e massa medidos com a madeira em 12 % de umidade, enquanto a densidade básica é medida com a madeira após secagem em estufa.

A densidade é um importante fator na determinação das propriedades físicas que caracterizam diferentes espécies de madeiras, diferentes árvores de uma dada espécie e diferentes regiões de uma mesma árvore (FOELKEL et al, 1971).

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Este trabalho teve como objetivo principal avaliar o processo de usinagem da madeira do mogno africano (*Khaya ivorensis*) e caracterizar as propriedades físicas através de ensaios de densidade e contração volumétrica.

3.2 Objetivos Específicos

- Avaliar o comportamento das amostras de mogno africano em cada um dos ensaios de usinagem, propor adaptações metodológicas e sugerir melhorias nos equipamentos utilizados;
- Determinar a relação entre as propriedades físicas e o comportamento da madeira nos processos de usinagem.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Material e Desdobro

A madeira utilizada no estudo foi obtida de árvores localizadas no bairro Ecologia, em Seropédica - RJ. Estas árvores apresentaram um diâmetro aproximado de 30 cm, 8 metros de altura da primeira ramificação e idade em torno de 10 anos.

Para realização dos testes foram coletadas três toretes de 1 m de comprimento de três diferentes indivíduos.

Os toretes foram levados para o Laboratório de Usinagem e Beneficiamento da Madeira, antiga marcenaria do DPF/IF/UFRRJ, onde posteriormente foi feito o desdobro e confecção de amostras para os ensaios físicos e de usinagem.

Foram confeccionadas 30 amostras de 30 cm x 12 cm x 2,3 cm para os ensaios de usinagem. Para determinação da densidade aparente, densidade básica e contração volumétrica, foram confeccionadas 30 amostras de 3 cm x 2 cm x 5 cm.

4.2 Caracterização Física da Madeira

Para avaliação das propriedades físicas da madeira foram realizados os ensaios de densidade aparente, densidade básica e contração volumétrica.

4.2.1 Densidade aparente

As amostras foram previamente mantidas na câmara climatizada (sob condições de 65% de umidade relativa e 20°C de temperatura ambiente), por um período de 40 dias para atingir o teor de umidade próximo a 12%. A densidade aparente (ρ_{ap}) é uma massa específica convencional, definida pela razão entre a massa e o volume de corpos-de-prova com teor de umidade de 12%, sendo dada pela Equação 1.

$$\rho_{ap} = m/v \quad \text{Equação 1}$$

onde: m = massa do corpo-de-prova a 12% de umidade, em g;
 v = volume do corpo-de-prova a 12% de umidade, em cm^3 .

4.2.2 Densidade básica

A densidade básica é uma massa específica convencional definida pela razão entre a massa seca e o volume saturado de uma amostra de madeira, determinada pela Equação 2.

$$\rho_{bas} = m_s / V_{sat} \quad \text{Equação 2}$$

onde: m_s = massa seca do corpo-de-prova, em g;
 V_{sat} = volume do corpo-de-prova saturado, em cm^3 .

Para determinação da densidade básica os corpos-de-prova foram imersos em água até estarem completamente saturados. Após saturação os corpos-de-prova foram medidos nas suas três dimensões, para obtenção do volume saturado, logo a seguir foram levados à estufa para obtenção da massa seca, sob temperatura de $103^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$, sendo medidos a cada 6 horas até que a diferença entre as medições fosse menor que 0,5% da última medição.

4.2.3 Contração volumétrica

A estabilidade dimensional da madeira é caracterizada pelas propriedades de contração e inchamento de uma peça ou amostra. A contração volumétrica de cada corpo-de-prova foi determinada medindo-se os três sentidos (radial, tangencial e longitudinal) com um paquímetro digital, em estado saturado e após secagem em estufa, sendo o resultado da avaliação determinado através da Equação 3.

$$\Delta V = \frac{V_{\text{sat}} - V_{\text{seca}}}{V_{\text{seca}}} \times 100 \quad \text{Equação 3}$$

onde: V_{sat} = volume do corpo-de-prova saturado, em cm^3 ;

V_{seca} = volume do corpo-de-prova após secagem em estufa, em cm^3 .

4.3 Testes de Usinagem

As amostras para realização dos testes de usinagem foram confeccionadas no Laboratório de Usinagem e Beneficiamento da Madeira, com dimensões de 30 cm x 12 cm x 2,3 cm (Figura 1), seguindo o procedimento utilizado em IBAMA (1997), o qual descreve uma adaptação da norma ASTM D 1666-87: “Standard method for conducting machining tests of wood and wood base materials”.

Para avaliação dos defeitos e sua intensidade foram dadas notas para cada amostra, que variou de 1 a 5, onde 1 significou amostra sem defeitos e as demais notas foram dadas em função da intensidade dos mesmos.

A Tabela 1 apresenta a avaliação realizada em cada um dos ensaios de usinagem detalhados.

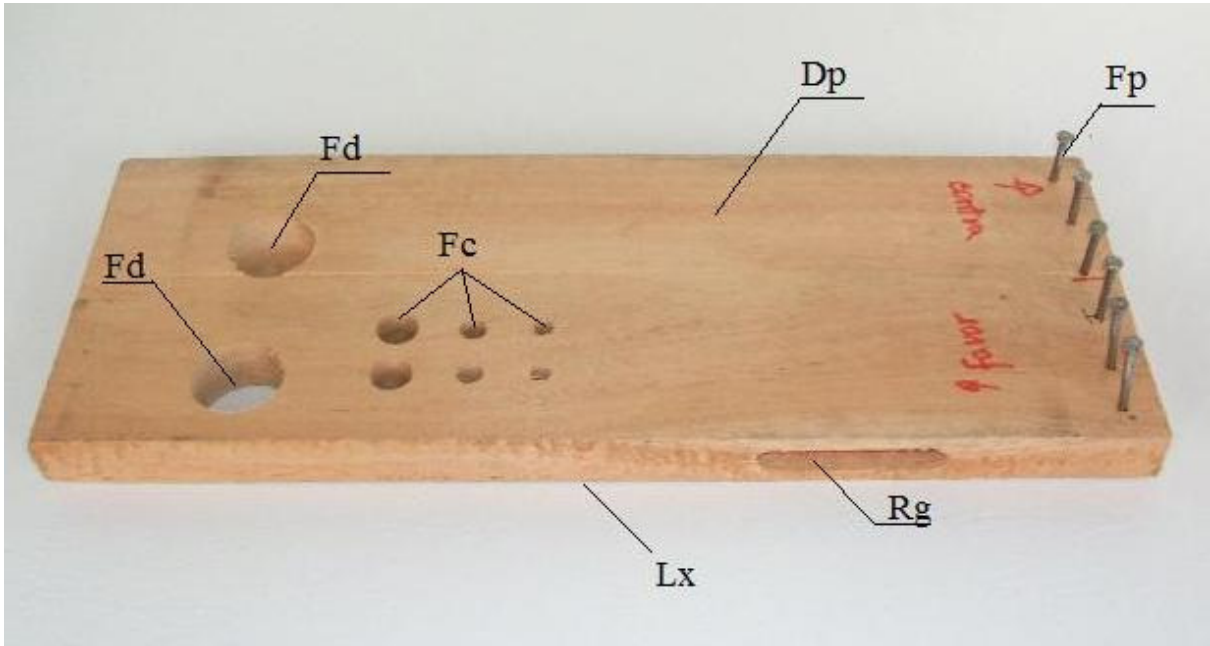


Figura 1. Corpo-de-prova dos ensaios de usinagem. Dp= Desempeno; Fd= Furação para dobradiça; Fc= furação para cavilha; Rg= Rasgo; Fd= Fendilhamento por pregos; Lx= lixamento.

Tabela 1. Notas aplicadas nas avaliações da peças nos ensaios de usinagem:

| Nota | Classificação | Defeitos (%) |
|------|---------------|--------------|
| 1 | Excelente | Sem defeitos |
| 2 | Boa | menos de 50 |
| 3 | Regular | 50 |
| 4 | Ruim | mais de 50 |
| 5 | Muito Ruim | 100 (cem) |

4.3.1 Teste de plaina

Neste teste foi avaliada a presença de quatro diferentes defeitos: marcas de cavaco (“chip marks”), grã arrancada (“torn grain”), grã felpuda (“fuzzy grain”) e grã levantada (“raised grain”), após a passagem das amostras em uma plaina desempenadeira, de duas facas, com a velocidade de avanço da peça determinada pelo operador, que foi de aproximadamente $18 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, frequência de rotação do eixo de 2600 min^{-1} . A espessura de corte foi de aproximadamente 1,6 mm. O avanço por dente (Figura 2) foi calculado pela equação 4.

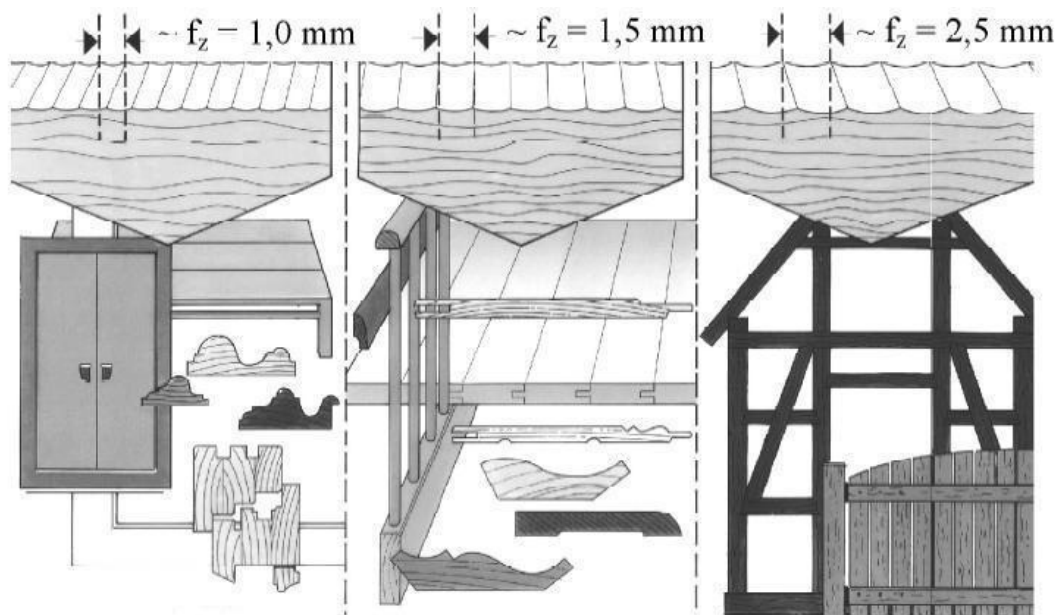


Figura 2. Indicação de produtos de madeira para diferentes qualidades da superfície usinada, em função do avanço por dente (f_z).

Para cálculo do avanço por dente foi utilizada a equação 4.

$$f_z = \frac{V_f \cdot 1000}{n \cdot z} \quad \text{Equação 4.}$$

onde:

f_z = avanço do dente, em mm;

V_f = velocidade de avanço da peça, em $m \cdot \text{min}^{-1}$;

n = frequência de rotação do eixo porta ferramenta em min^{-1} ;

z = número de gumes ativos da ferramenta.

Para esse ensaio específico, as notas descritas na Tabela 1 foram ainda detalhadas segundo as informações abaixo.

Nota 1 (excelente) – superfície isenta de quaisquer defeitos;

Nota 2 (boa) – defeitos de leve em até metade da peça;

Nota 3 (regular) – defeitos médios, ou leves na maior parte da peça;

Nota 4 (ruim) – defeitos médios na maior parte da peça, ou presença de defeitos fortes;

Nota 5 (muito ruim) – defeitos fortes na maior parte da peça.

Ao longo do teste de plaina foram realizadas duas operações de desempenho, uma em “oposição” e outra em “concordância”, considerando a movimentação do eixo e da faca em relação ao sentido longitudinal da peça ou disposição das fibras (Figura 3).

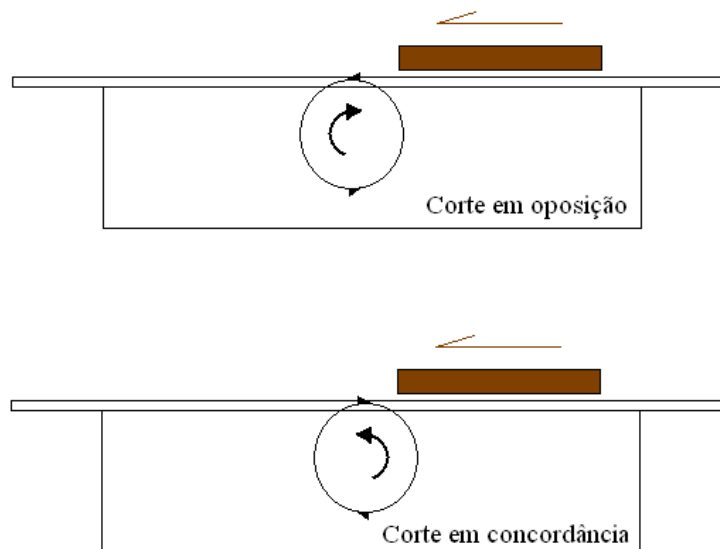


Figura 3. Esquema dos cortes de desempenho em oposição e concordância.

4.3.2 Teste de lixa

O teste de lixa foi feito em lixadeira de esteira do Laboratório de Usinagem e Beneficiamento da Madeira, que possui 2,70 m entre a roda motriz e a roda guia, com uma lixa de grão 100. O teste de lixa foi feito na face oposta à que foi utilizada no teste de plaina, sendo a superfície da madeira lixada por aproximadamente 20 segundos.

Neste teste foi avaliado o riscamento de superfície e grã felpuda, onde foram dadas notas conforme o detalhamento a seguir:

Nota 1 (excelente) – superfície sem defeitos;

Nota 2 (boa) – superfície com riscamento ou grã felpuda em apenas uma parte pequena da peça;

Nota 3 (regular) – presença de riscamento ou grã felpuda em metade da superfície da peça;

Nota 4 (ruim) – presença de riscamento ou grã felpuda na maior parte da peça;

Nota 5 (muito ruim) – presença de riscamento ou grã felpuda em quase que a totalidade da peça.

4.3.3 Teste de furação para cavilha e dobradiça

Para realização do teste de furação para cavilha foi utilizada uma furadeira vertical de coluna, com velocidade de avanço manual e frequência de rotação do motor de 3100 min^{-1} .

Na furação para cavilha a furadeira foi equipada com brocas do tipo helicoidal de aço, com 6, 8 e 12 mm de largura, sendo realizados seis furos passantes por amostra, dois para cada broca. Os furos foram distribuídos com uma distância mínima de 25 mm entre eles e também das bordas (Figura 4).

No teste de furação para dobradiça foi utilizada a mesma furadeira equipada com uma broca chata de 26 mm. Foram confeccionados dois furos, sendo um passante e outro não passante.

Na furação para cavilha foi avaliada a presença de: grã felpuda, arrancamento de grã e queima da madeira.

Na furação para dobradiça foi avaliada a presença de: grã felpuda, arrancamento de grã, queima da madeira e esmagamento de grã.

Para avaliação da furação em cavilha foram dadas notas de um a cinco:

Nota 1 (excelente) – ausência de defeito em qualquer um dos furos;

Nota 2 (boa) – superfície defeito leve em apenas um, ou dois dos furos;

Nota 3 (regular) – presença de defeito leve em metade dos furos, ou presença de defeito médio;

Nota 4 (ruim) – presença de defeito severos em um furo, ou presença de defeito médio na maior parte dos furos;

Nota 5 (muito ruim) – presença de defeito severo em mais de um furo.



Figura 4. Operação de furação para cavilha dos corpos de prova.

4.3.4 Teste de rasgo

O rasgo foi feito na lateral da peça, com a utilização de uma furadeira horizontal acoplada a um equipamento de múltiplas funções (serra circular, tupia e furadeira), com uma broca helicoidal de 8 mm. Para avaliação foram atribuídas notas de um a cinco, em função do levantamento de fibras presente nas superfícies do rasgo, esquematizado na Figura 5.

Nota 1 (excelente) – ausência de levantamentos de fibras em qualquer das quatro bordas e no fundo;

Nota 2 (boa) – presença de levantamento leve em uma ou duas faces quaisquer;

Nota 3 (regular) – presença de levantamento forte em uma e leve em outra;

Nota 4 (ruim) – presença de levantamento forte em duas a quatro faces quaisquer e fundo isento de levantamento;

Nota 5 (muito ruim) – presença de levantamento forte nas quatro faces e no fundo;

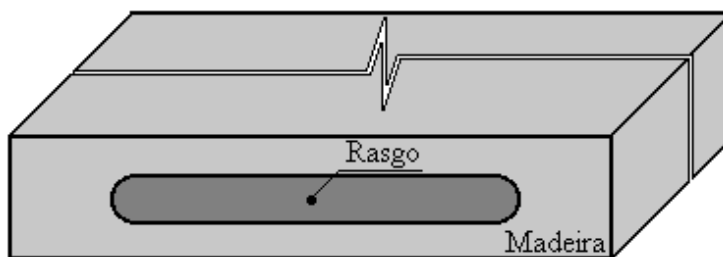


Figura 5. Ilustração do rasgo produzido na lateral das amostras.

4.3.5 Fendilhamento por prego

Para realização deste teste foram utilizados pregos 15 x 15 com 30 mm de comprimento e 2,4 mm de diâmetro.

Os pregos foram inseridos com espaçamento de 20 mm entre si e a 10 mm das bordas das peças, com a utilização de um martelo de 250g. As avaliações foram feitas levando-se em consideração a presença de rachas ou trincas observadas na superfície de penetração. Sendo que os resultados foram classificados como:

Peça que aceita pregos: amostra sem rachas ou trincas, ou dimensões insignificantes destes, não alcançando o topo das amostras;

Peça que não aceita pregos: com trincas ou rachas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização das Propriedades Físicas da Madeira

5.1.1 Densidade aparente, densidade básica e contração volumétrica

Na Tabela 2 foram inseridos os resultados de densidade aparente, densidade básica e contração volumétrica encontrados para as amostras analisadas.

Tabela 2. Valores de densidade aparente, densidade básica e contração volumétrica das amostras de mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.):

| Amostra | Dens. Apar.(g/cm ³) | Dens. Bás. (g/cm ³) | Contração volumétrica (%) |
|---------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| 1 | 0,589 | 0,459 | 9,091 |
| 2 | 0,649 | 0,478 | 9,880 |
| 3 | 0,566 | 0,446 | 19,455 |
| 4 | 0,700 | 0,519 | 17,515 |
| 5 | 0,587 | 0,443 | 19,188 |
| 6 | 0,669 | 0,476 | 21,415 |
| 7 | 0,641 | 0,471 | 18,062 |
| 8 | 0,667 | 0,485 | 17,117 |
| 9 | 0,697 | 0,506 | 16,426 |
| 10 | 0,562 | 0,430 | 13,552 |
| 11 | 0,662 | 0,470 | 20,930 |
| 12 | 0,690 | 0,504 | 21,026 |
| 13 | 0,574 | 0,443 | 17,622 |
| 14 | 0,688 | 0,505 | 17,982 |
| 15 | 0,565 | 0,437 | 17,461 |
| 16 | 0,582 | 0,444 | 16,075 |
| 17 | 0,596 | 0,462 | 15,394 |
| 18 | 0,654 | 0,487 | 14,823 |
| 19 | 0,568 | 0,450 | 17,023 |
| 20 | 0,652 | 0,495 | 17,471 |
| 21 | 0,676 | 0,505 | 15,196 |
| 22 | 0,588 | 0,442 | 16,903 |
| 23 | 0,575 | 0,440 | 17,371 |
| 24 | 0,659 | 0,489 | 19,601 |
| 25 | 0,664 | 0,494 | 16,390 |
| 26 | 0,575 | 0,440 | 17,036 |
| 27 | 0,665 | 0,490 | 16,787 |
| 28 | 0,636 | 0,502 | 16,749 |
| 29 | 0,571 | 0,437 | 16,687 |
| 30 | 0,653 | 0,489 | 15,134 |
| Média | 0,627 | 0,471 | 16,845 |
| Desvio padrão | 0,048 | 0,027 | 2,706 |
| C.V. (%) | 7,585 | 5,694 | 16,062 |

A densidade básica apresentou uma média de $0,471 \text{ g/cm}^3$, próxima de algumas espécies de eucalipto. Tomazello Filho (1985) encontrou densidade básica de $0,43 \text{ g/cm}^3$ para *E. saligna* e $0,385 \text{ g/cm}^3$ para *E. grandis* aos 10 anos de idade. Tomazello Filho (1987) encontrou para árvores com 10 anos de idade densidade básica de $0,48 \text{ g/cm}^3$ para *E. globulus*, $0,51 \text{ g/cm}^3$ para *E. pellita* e $0,53 \text{ g/cm}^3$ para *E. acmenioides*.

As amostras apresentaram valores baixos para desvio padrão e coeficiente de variação, caracterizando um conjunto homogêneo e de baixa variabilidade destas características ou propriedades.

Para a contração volumétrica, a média obtida foi de 16,85%, este valor foi próximo aos encontrados por Santos *et al.* (2009) para *Eucalyptus camaldulensis* (15,47%). De acordo com o IPT (1985), madeira com retração volumétrica entre 12,33% e 19,39% é considerada de média contração.

As Figuras 6 e 7 representam os gráficos de correlação entres os valores de densidade aparente e densidade básica e os valores de contração volumétrica.

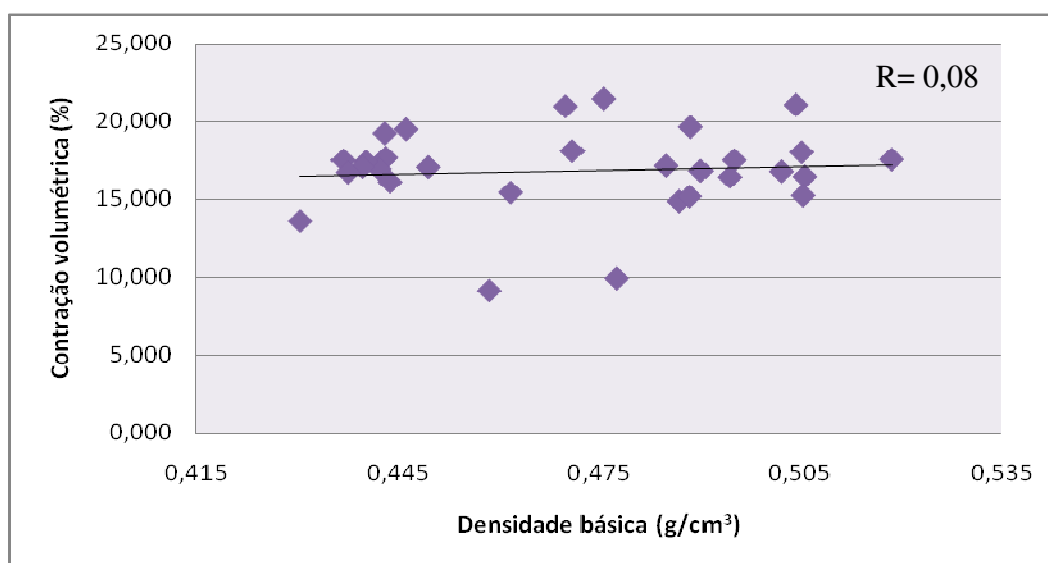


Figura 6. Correlação entre a densidade básica e a contração volumétrica da madeira de mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.).

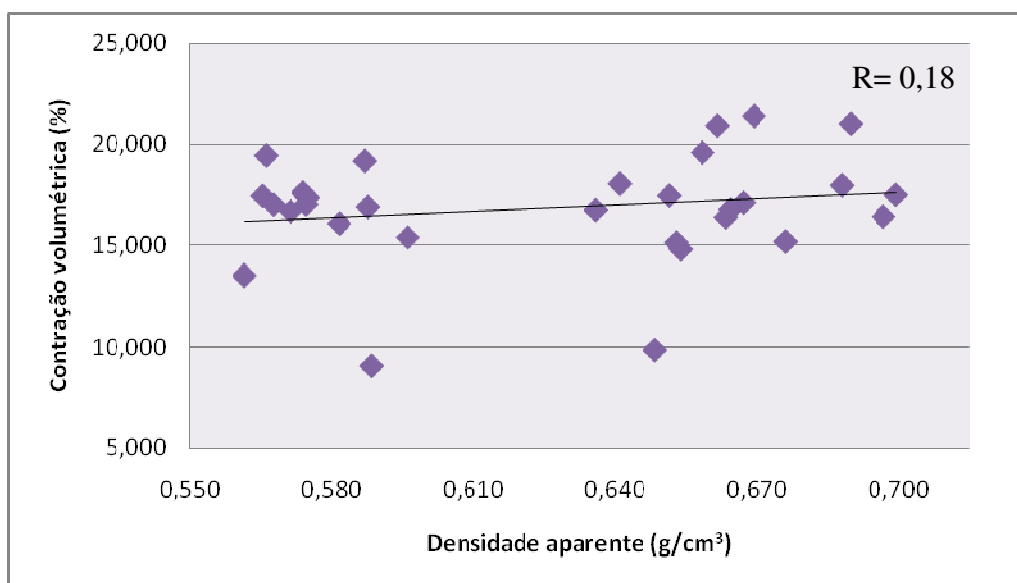


Figura 7. Correlação entre a densidade básica e a contração volumétrica da madeira de mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.).

A retração volumétrica da madeira aumenta conforme a densidade básica aumenta, entretanto este efeito pode ser mascarado pela presença de extrativos na madeira. A correlação entre a densidade básica e retração volumétrica, apesar de baixa ($R= 0,08$), foi positiva, conforme esperado, enquanto que a correlação entre a densidade aparente e a retração volumétrica foi maior ($R= 0,18$), e também positiva.

5.2 Testes de Usinagem

5.2.1 Teste de plaina

O avanço do dente calculado foi de 3,46 mm, resultado próximo aos 3,4 mm, encontrados por Silva *et al.* (2009) para velocidade de avanço de $15 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.

O percentual das peças, por nota e defeito, foi inserido na Tabela 3, para os resultados das operações em concordância e oposição ao sentido longitudinal da peça respectivamente.

Tabela 3. Resultados obtidos para a madeira de mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.) na avaliação do desempenho:

| Nota | Tipo de defeito | | | | | | | |
|------|------------------|-----|---------------|-----|-------------|-----|---------------|-----|
| | Marcas de cavaco | | Grã Arrancada | | Grã Felpuda | | Grã Levantada | |
| | C | D | C | D | C | D | C | D |
| 1 | 83% | 97% | 60% | 77% | 77% | 53% | 90% | 50% |
| 2 | 17% | 3% | 33% | 23% | 23% | 47% | 10% | 47% |
| 3 | 0% | 0% | 7% | 0% | 0% | 0% | 0% | 3% |
| 4 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 5 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |

C: desempenho em concordância; D: desempenho em discordância;

Nota 1 – superfície isenta de quaisquer defeitos; Nota 2 – presença de defeitos de leve em até metade da peça; Nota 3 – presença de defeitos médios, ou leves na maior parte da peça; Nota 4 – presença de defeitos médios na maior parte da peça, ou presença de defeitos fortes; Nota 5 – presença de defeitos fortes na maior parte da peça.

A madeira de mogno africano apresentou um bom desempenho nesta avaliação, tendo recebido quase todas as notas 1 ou 2, equivalentes aos conceitos excelente e bom, em todos os defeitos avaliados, indicando um bom comportamento da madeira neste tipo de processamento, e indicando também que o aparelho está adequado, tanto para o desempenho em concordância, quanto ao desempenho em oposição ou discordância.

Na avaliação do desempenho em concordância foi observado uma maior presença de grã arrancada, logo após grã felpuda, marcas de cavaco e por fim grã levantada, mesmo assim a avaliação foi considerada boa, já que a maior parte das amostras teve nota 1 em todos os testes.

Em relação aos defeitos observados em oposição ou discordância, verificou-se maior presença de peças com presença de grã felpuda e grã levantada, uma menor frequência de presença na avaliação de grã arrancada, e quase não se observou a presença de marcas de cavaco.

5.2.2 Teste de lixa

No teste de lixa os resultados obtidos foram inseridos na Tabela 4, na forma de percentagem.

Tabela 4. Resultado obtido para a madeira de mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.) no teste de lixa:

| Nota | Tipo de defeito | |
|------|-----------------|-------------|
| | Riscamento | Grã felpuda |
| 1 | 87% | 70% |
| 2 | 13% | 30% |
| 3 | 0% | 0% |
| 4 | 0% | 0% |
| 5 | 0% | 0% |

Nota 1 – superfície sem defeitos; Nota 2 – superfície com riscamento ou grã felpuda em apenas uma parte pequena da peça; Nota 3 – presença de riscamento ou grã felpuda em metade da superfície da peça; Nota 4 – presença de riscamento ou grã felpuda na maior parte da peça; Nota 5 – presença de riscamento ou grã felpuda em quase que a totalidade da peça.

No teste de lixa as amostras demonstraram acabamento superficial excelente, com 87% das peças sem riscamento e 70% das peças sem grã felpuda, além disto, todas as peças que apresentaram defeitos foram avaliadas com a Nota 2 (bom). Este resultado mostra que este equipamento é adequado para trabalhar com esta espécie, e que a madeira se comporta muito satisfatoriamente na operação de lixamento.

5.2.3 Furação para cavilha e dobradiça

Na furação em cavilha e para dobradiça, os resultados obtidos foram os apresentados na Tabela 5 e 6, respectivamente, na forma de percentagem.

Tabela 5. Resultados obtidos para a madeira de mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.) na furação em cavilha:

| Nota | Tipo de defeito | | |
|------|-----------------|---------------------|-------------------|
| | Grã felpuda | Arrancamento de grã | Queima da madeira |
| 1 | 67% | 0% | 100% |
| 2 | 27% | 43% | 0% |
| 3 | 7% | 50% | 0% |
| 4 | 0% | 7% | 0% |
| 5 | 0% | 0% | 0% |

Nota 1 – ausência de defeito em qualquer um dos furos; nota 2 – superfície defeito leve em apenas um, ou dois dos furos; nota 3 – presença de defeito leve em metade dos furos, ou presença de defeito médio; nota 4 – presença de defeito severos em um furo, ou presença de defeito médio na maior parte dos furos; nota 5 – presença de defeito severo em mais de um furo.

Tabela 6. Resultados obtidos para a madeira de mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.) na furação para dobradiça:

| Nota | Tipo de defeito | | | |
|------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------------|
| | Grã felpuda | Arrancamento de grã | Queima da madeira | Esmagamento de grã |
| 1 | 40% | 47% | 100% | 100% |
| 2 | 57% | 53% | 0% | 0% |
| 3 | 3% | 0% | 0% | 0% |
| 4 | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 5 | 0% | 0% | 0% | 0% |

Nota 1 – ausência de defeito em qualquer um dos furos; nota 2 – superfície defeito leve em apenas um, ou dois dos furos; nota 3 – presença de defeito leve em metade dos furos, ou presença de defeito médio; nota 4 – presença de defeito severos em um furo, ou presença de defeito médio na maior parte dos furos; nota 5 – presença de defeito severo em mais de um furo.

A madeira de *Khaya ivorensis* apresentou desempenho regular na furação para cavilha, tendo como pior resultado a avaliação do arrancamento de grã, em que 50% das amostras obtiveram Notas 3 e 7% receberam Nota 4. Em 67% das amostras não foi observada grã felpuda, o que demonstra um bom resultado para este defeito. Não foi observada em nenhuma amostra queima da madeira.

Na avaliação para furação para dobradiça a madeira de mogno africano teve um bom desempenho, pois, não foram observadas presenças de queima da madeira e de esmagamento de grã em nenhuma das amostras, e nas avaliações de grã felpuda e arrancamento de grã, as amostras receberam notas 1 e 2, quase que em sua totalidade.

Na furação para cavilha, a furadeira empregada mostrou-se pouco eficiente, sendo necessário um provável aumento na rotação do aparelho. Já na furação para dobradiça observou-se notas melhores, mostrando uma provável adequação deste aparelho para este procedimento.

5.2.4 Teste de rasgo

No teste de rasgo em furadeira horizontal, foi avaliado apenas o levantamento de fibras provocado por este processo. As percentagens de peças por nota recebida estão na Tabela 7.

Tabela 7. Resultados obtidos para a madeira de mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.) em relação ao levantamento de fibras no teste de rasgo:

| Nota | Levantamento de fibras |
|------|------------------------|
| 1 | 7% |
| 2 | 63% |
| 3 | 23% |
| 4 | 7% |
| 5 | 0% |

Nota 1 – ausência de levantamentos de fibras em qualquer das quatro bordas e no fundo; nota 2 – presença de levantamento leve em uma ou duas faces quaisquer; nota 3 – presença de levantamento forte em uma e leve em outra; nota 4 – presença de levantamento forte em duas a quatro faces quaisquer e fundo isento de levantamento; nota 5 – presença de levantamento forte nas quatro faces e no fundo;

A madeira de *Khaya ivorensis* apresentou desempenho bom para o levantamento de fibras no teste de rasgo, tendo recebido 63% de suas amostras a nota 2 (boa), e 23% a nota 3 (regular), além de ter recebido 7% de notas 1 (excelente) e 7% de notas 4 (ruim). Este resultado mostra que a madeira de *Khaya ivorensis*, teve um desempenho bom para neste teste.

5.2.5 Fendilhamento por pregos

Os resultados para o teste de fendilhamento por pregos foram inseridos na Tabela 8. Na Figura 8, há um exemplo de uma amostra com racha.

Tabela 8. Resultados obtidos para a madeira de mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.) no fendilhamento por prego:

| Avaliação | % das peças |
|------------|-------------|
| Sem rachas | 80% |
| Com rachas | 20% |

No teste de fendilhamento por pregos, das trinta peças de madeira de *Khaya ivorensis* analisadas, 24, ou seja, 80% não apresentaram rachas, enquanto as demais apresentaram. Portanto, o resultado mostra que a madeira de *Khaya ivorensis* aceita prego.



Figura 8. Exemplo do teste de fendilhamento por pregos.

6. CONCLUSÕES

A partir dos resultados encontrados no presente trabalho foi possível listar as seguintes conclusões:

- A madeira de mogno africano apresentou densidade aparente e básica consideradas médias, comparáveis às apresentadas por algumas espécies de *Eucalyptus*. Este resultado foi provavelmente influenciado pela idade dos indivíduos;
- Os resultados de usinagem de *Khaya ivorensis* foram bons, tendo sido observada avaliação regular apenas para a furação para cavilha;
- Os equipamentos do Laboratório Usinagem e Beneficiamento da Madeira, empregados na madeira de *Khaya ivorensis*, mostraram-se adequados para a usinagem desta espécie;
- A madeira de *Khaya ivorensis*, apresentou um bom comportamento, para ser utilizada na indústria moveleira, ou, para fins de acabamento superficial em construção civil.

6.1 Recomendações

A partir dos resultados encontrados no presente trabalho foi possível listar as seguintes recomendações:

- Sugere-se a continuidade de estudos com esta espécie, que tem se mostrado uma boa alternativa para a produção de madeira de reflorestamento no país;
- Recomenda-se a avaliação das caracterizações mecânicas desta espécie, para determinar se esta é uma madeira de qualidade para fins estruturais;
- No caso da furação em cavilha, a furadeira vertical utilizada se mostrou inadequada, sendo necessária uma adequação da velocidade do motor para diminuição do arrancamento de grã.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACAJOU D'AFRIQUE. **Revue Bois et Forêts des tropiques**, nº 183, p 33-48, 1979.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D 1666-87: **Standard method for conducting machining tests of wood and wood base materials** (reapproved 1994). Philadelphia, 1995. p. 226 - 245.

AUBREVILLE, A. **La flore forestière de la Cota d'Ivoire**, 1959.

CASTRO, A.C.; LOURENÇO JÚNIOR, J.B.; SANTOS, N.F.A.; MONTEIRO, E.M.M.; AVIZ, M.A.B.; GARCIA, A.R. Sistema silvipastoril na Amazônia: ferramenta para elevar o desempenho produtivo de búfalos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, nº8, p.2395-2402, nov, 2008.

CONDE, R. A. R. **Controle silvicultural e mecânico da broca do mogno *Hypsipyla grandella* (Zeller, 1948)(Lepdoptera; Pyralidae) em sistema agroflorestal**. 2006, 19f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2006

FALESI, I. C.; BAENA, A. R. C. **Mogno africano *Khaya ivorensis* A. Chev em sistema silvipastoril com leguminosa e revestimento natural do solo**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1999, 52p. (Embrapa Amazônia Oriental, Documentos, 4).

FALESI, I. C.; GALEÃO, R. R. **Recuperação de áreas antropizadas da mesorregião nordeste paraense através de sistemas agroflorestais**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 4., 2002, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus, 2002. 11p. 1 CD-ROM.

FOELKEL, C. E. B.; BRASIL, M. A. M.; BARRICHELO, L. E. G. **Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas**. IPEF n.2/3, p.65-74, 1971.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - **Madeiras da Amazônia: características e utilização - Amazônia Oriental**. Brasília, vol. 3. 141p, 1997.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Madeira: o que é e como pode ser processada e utilizada**. Boletim ABPM, n.36, p.1-189, 1985.

MORI, C. L. S. O.; MORI, F. A.; MENDES, L. M.; SILVA, J. R. M. Caracterização da Madeira de Angico-Vermelho (*Anadenanthera Peregrina* (Benth) Speng) para Confecção de Móveis. **Brasil Florestal**, v. XXII, p. 29-36, 2003.

SANTOS, F. W.; SEBBENN, A. M.; FLORSHEIM, S. M. B.; **Estimativas de parâmetros genéticos e correlações genéticas e fenotípicas entre caracteres físicos e mecânicos da madeira em uma população base de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.** III Seminário de Iniciação Científica do Instituto Florestal, 2009.

SHIMOYAMA, V.R. **Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* sp.** 1990. 93f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1990.

SILVA, J. R. M. **Relações da usinabilidade e aderência do verniz com as propriedades fundamentais do *eucalyptus grandis* hill ex. maiden.** 2002. 179f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

SILVA, J. R. M.; MARTINS, M.; OLIVEIRA, G. M. V.; BRAGA, P. P. C. Parâmetros de qualidade da usinagem para determinação dos diferentes usos da madeira de *Eucalyptus*. **Cerne**, Lavras, v. 15, p. 75-83, 2009.

SOUZA, M.O.A. **Madeira de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh e *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake visando seu uso na indústria moveleira.** 2007. 91f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus saligna* e *E. grandis*. . **IPEF**, Piracicaba, nº 29, p37-45, 1985.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica em estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus globulus*, *E. pellita* e *E. acmenioides*. **IPEF**, Piracicaba, nº 36, p35-42, 1987.