Qualidade da madeira de mogno brasileiro plantado para
a produção de serrados

Wood quality of Brazilian mahogany planted for lumber production

**João Gabriel Missia da Silva¹, Graziela Baptista Vidaurre^{1*}, Daniela Minini¹,
Ramon Ferreira Oliveira¹, Sofia Maria Gonçalves Rocha¹ e Fabricio Gomes Gonçalves¹****RESUMO**

Teve-se por objetivo avaliar a qualidade da madeira de mogno brasileiro proveniente de plantação comercial para a produção de serrados, aos 16 anos. Como índices de qualidade, avaliou-se as rachaduras de topo de toras (IRTT), os empenamentos e rachaduras de tábuas e o máximo desvio angular (MAD). Ao longo de cinco dias de estocagem das toras houve a evolução do IRTT, porém a abertura das rachaduras foi praticamente constante e inferior a 1 mm. Para tábuas úmidas e secas ao ar, os índices de encurvamento e arqueamento foram menores que o limite máximo de 0,50% preconizado em norma técnica vigente, o que demonstrou a alta estabilidade dimensional da espécie. Uma parcela de 34% das tábuas secas ao ar não apresentou rachaduras de extremidades. O MAD aumentou da medula para a casca e ao longo da altura do fuste, e essa avaliação permitiu classificar a grã da madeira como tendo tendência ao intercruzamento. Houve a diminuição do IRTT com o aumento do MAD e do diâmetro das toras. A madeira jovem de mogno brasileiro possui qualidade satisfatória à produção de serrados.

Palavras-chave: *Swietenia macrophylla*, Rachaduras, Empenamentos, Desvios da grã.

ABSTRACT

The aim was to evaluate the quality of Brazilian mahogany wood (16 years old) from commercial planting for the lumber production. As quality indexes the end split of logs were evaluated, as were the warping and splits of the lumber and the maximum angular deviation (MAD). During five days of storage of the logs there was the evolution of the end split indexes, but the splits opening was practically constant and less than 1 mm. For the wet and dry lumber, the indexes bow and spring were smaller than the maximum limit of 0.50%, recommended in current technical standard, which shows a good dimensional stability of the species. A 34% share of the air dried lumber did not show end splitting. The MAD increased from the pith to bark and along the height of the stem, and this evaluation made it possible to classify the wood grain as having a tendency for interlocking. There was a decrease in end splitting of logs with an increase of MAD and diameter. The young mahogany wood has satisfactory quality for lumber production.

Keywords: *Swietenia macrophylla*, Splits, Warping, Grain deviation.

INTRODUÇÃO

O mogno (*Swietenia macrophylla* King) é uma espécie conhecida mundialmente e de importância econômica por causa das características inerentes da madeira, como fácil trabalhabilidade, média resistência mecânica, alta estabilidade dimensional e aspecto estético atrativo (ARÉVALO FUENTES, 2002; FADILLAH et al., 2014; LANGBOUR et al., 2011; LESTARI et al., 2015). Além disso, a madeira é utilizada na fabricação de mobiliários, molduras, painéis de adorno e acabamentos internos, lâminas decorativas, instrumentos musicais, em componentes da indústria de aviação e naval, e artesanatos (KRISNAWATI; KALLIO; KANNINEN, 2011; LEÓN H., 2010).

Após ser listado em 2003 no Anexo II da *Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora* – CITES (GROGAN; BARRETO, 2005) e com o decreto N° 6.472 de 2008 do Governo Federal brasileiro, houve a proibição do corte de árvores de mogno nativo e consequentemente a redução da disponibilidade da madeira no mercado. Nesse cenário, o desenvolvimento de plantações

1. Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Espírito Santo UFES. Jerônimo Monteiro / ES, Brasil. * Autor correspondente: grazividaurre@gmail.com

comerciais com a espécie é essencial para retomar e garantir o fornecimento de madeira sólida de alto valor agregado e licenciada (LANGBOUR et al., 2011).

Os produtores e investidores florestais optam por implantar povoamentos de espécies nativas de acordo com técnicas de manejo empregadas para a cultura do eucalipto, pela carência de informações e mão de obra especializada em plantações comerciais de espécies nativas brasileiras. Apesar do valor comercial da madeira de mogno, ainda são poucas as informações tecnológicas e científicas a respeito do seu manejo em campo, impacto e necessidade de alteração dos tratos silviculturais e da qualidade da madeira.

A madeira de mogno oriunda de plantações comerciais é comparada à de origem nativa (floresta amazônica) quanto aos parâmetros de qualidade, porém o desenvolvimento e as práticas de manejo nos povoamentos já configuram contrastes em relação às árvores que crescem em ambiente natural. Em adição, estudos demonstram que os fatores influentes na qualidade da madeira do mogno podem ser características do próprio indivíduo e também do ambiente de crescimento (LANGBOUR et al., 2011; MOYA et al., 2015).

Deste modo, teve-se por objetivo avaliar a qualidade da madeira de mogno brasileiro proveniente de plantação comercial para a produção de serrados.

MATERIAL E MÉTODOS

Material e amostragem

Utilizou-se a madeira de mogno brasileiro aos 16 anos de idade proveniente de uma plantação comercial homogênea, com espaçamento de 6 x 4,2 m no município de Luziânia, estado de Goiás, Brasil.

As mudas foram produzidas com sementes provenientes do estado do Acre, sendo a implantação e a condução do plantio embasada em literaturas e práticas relativas à cultura do eucalipto. Foram estabelecidos dois talhões no entorno de plantações de soja e algodão. Anualmente, como medida preventiva a incêndios florestais, realizou-se a gradagem superficial nas entrelinhas do povoamento. Não foram realizados desbastes ao longo dos anos, apenas desrama quando as árvores apresentavam bifurcações e a aplicação de inseticida em virtude do ataque da *Hypsipyla grandella*.

Sete árvores foram amostradas em função do diâmetro médio à altura do peito (DAP) – 1,30 m do solo – de cada talhão obtido no inventário florestal do ano anterior ao corte, bem como a altura da bifurcação superior ou igual a cinco metros. O número de árvores selecionadas em cada talhão foi de acordo com o número de parcelas do inventário (sete), sendo colhida uma árvore por parcela, a cada 7,5 hectares, considerando a área total da plantação (53,18 ha).

As posições cardeais (norte e sul) foram marcadas no tronco das árvores amostradas, para padronização e o controle durante o desdobro e análises das propriedades da madeira. As variáveis dendrométricas das árvores também foram mensuradas (Tabela 1). O fuste comercial foi seccionado em três discos ao longo do seu comprimento (base, 3 m e topo - anterior à bifurcação) e duas toras [Figura 1 (A)].

Tabela 1. Variáveis dendrométricas das árvores de mogno brasileiro aos 16 anos de idade plantadas em Luziânia - GO.
Table 1. Dendrometric variables of Brazilian mahogany trees at 16 years old planted in Luziânia - GO, Brazil.

*ED	DAP (cm)	HT (m)	HC (m)	VCsc (m³)	Casca (%)	FF	Coni _t (cm/m)	Acha _t (%)	Dm _t (cm)
μ	24,14	15,09	6,59	0,2182	14,84	0,86	1,41	94,57	1,38
s	0,73	1,95	1,02	0,0350	4,14	0,04	0,89	4,50	1,23

*ED: estatística descritiva; DAP: diâmetro a altura do peito; HT: altura total; HC: altura comercial; VCsc: volume comercial sem casca; casca (%): porcentagem de casca; FF: fator de forma; coni_t: conicidade, Acha_t: achatamento e Dm_t: deslocamento de medula das toras. μ: média; s: desvio padrão.

Índice de rachaduras de topo de toras

O índice de rachaduras de topo de toras (IRTT) foi avaliado como parâmetro de qualidade, sendo as mensurações realizadas por análise de imagens no software *Image-Pro Plus*® (versão 4.5.0.29). As extremidades das duas toras de cada árvore [Figura 1 (C)] foram fotografadas logo após e cinco dias após o corte com câmera digital, posicionada a uma distância padrão de um metro e em direção ao eixo longitudinal da tora (SILVA et al., 2016). No topo delas foi colada uma moeda como referencial para calibração do software.

Figura 1. Esquema de utilização das árvores: amostragem do fuste comercial (A); posições de retirada e análise realizada nos discos (B); pontos de análise nas toras (C); e modelo de corte (D).

Figure 1. Scheme of use of trees: sampling of the stem (A); positions where disks were removed for wood grain analysis (B); points of analysis in logs (C); and sawing diagram (D).

A mensuração das dimensões (comprimento e abertura) das rachaduras seguiu o método proposto por Schaitza, Mattos e Pereira (2003), com o cálculo do índice de rachaduras pela metodologia de Lima, Garcia e Piedade (2002).

Empenamentos e rachaduras de extremidade de tábuas

As toras foram desdobradas em uma prancha diametral (8 cm de espessura) e tábuas tangenciais (2,5 cm de espessura), com o número de peças dependente do diâmetro [Figura 1 (D)]. Posteriormente, foram avaliados as dimensões das rachaduras de extremidade e os empenamentos (encurvamento, arqueamento e encanoamento) das tábuas conforme a Norma Brasileira Regulamentadora – NBR 9487 (ABNT, 1986).

Foram selecionadas 32 tábuas para mensuração das dimensões das rachaduras e flechas de empenamentos na condição úmida. Em seguida, as tábuas foram dispostas em uma pilha horizontal do tipo caixa para secagem ao ar livre, onde permaneceram por 90 dias até atingir a umidade de equilíbrio de 12%, sendo novamente mensurados os defeitos.

Máximo desvio angular

Os desvios da grã da madeira foram estudados pelo máximo desvio angular (MAD). A variação casca-casca do MAD foi avaliada em amostras de 5 x 5 x 5 cm retiradas nos discos da base das árvores em virtude do maior diâmetro [Figura 1 (B) e Figura 2 (A)]. A avaliação no sentido base-topo foi amostrada na região próxima à medula dos discos das três posições do fuste comercial (base, 3 m e topo - anterior à bifurcação), totalizando 35 amostras.

O MAD foi determinado pelo método de divisão radial com posterior análise de imagens proposto por Webb (1969) e adaptado por Hernández e Almeida (2003). Esse método foi utilizado na avaliação de diversas espécies madeiras por Coelho (2016), França (2014), Hernández (2007) e Vidaurre et al. (2017). As amostras foram divididas radialmente em uma das faces com martelo e faca, promovendo manualmente o fendilhamento na face oposta [Figura 2 (B) a (D)]. As duas partes fendilhadas foram unidas novamente com fita adesiva [Figura 2 (E)] e escaneadas [Figura 2 (F)] para a mensuração dos desvios no software analisador de imagens [Figura 2 (G)] e posterior cálculo do MAD (Equação 1).

$$MAD = \tan^{-1}\left(\frac{EF}{L}\right) + \tan^{-1}\left(\frac{GH}{L}\right) \quad (1)$$

Em que: MAD: máximo desvio angular (°); EF e GH: raios dos desvios da grã para o lado esquerdo e direito (cm), respectivamente; L: altura da amostra (cm).

Figura 2. Procedimento para mensuração do MAD: (A) amostras com orientação no sentido transversal; (B) e (C) faca posicionada na direção radial, recebendo impacto do martelo para promover o início da divisão; (D) uso de força manual para terminar o fendilhamento; (E) corpo de prova fendilhado, com as partes unidas por fita adesiva; (F) escaneamento das amostras; e (G) esquema de mensuração dos desvios angulares.

Figure 2. Procedure for measuring the MAD: (A) samples with transverse orientation; (B) knife positioned at radial direction, receiving impacts by a hammer to splitting; (C) and (D) force used to finish splitting; (E) adhesive tape used to join the two split specimens; (F) scanning of samples; (G) scheme for measuring angular deviations.

A intensidade de intercruzamento da grã foi classificada pelo sistema proposto por Limaye (1954), que considerou para a descrição de cada classe (grã direita, com tendência ao intercruzamento, moderadamente intercruzada, intercruzada, entre outras) uma amplitude limite dos desvios médios da grã no sentido transversal das amostras.

Análise estatística

O índice de qualidade de toras, defeitos da madeira serrada e o máximo desvio angular foram avaliados pela estatística descritiva (média e desvio padrão). A relação funcional entre diâmetro das toras, IRTT, MAD e defeitos da madeira serrada foi avaliada pela correlação de Pearson ($P < 0,05$). Previamente ao teste t, que avaliou a significância dos coeficientes de correlação, foi realizada a análise de normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias pelos testes de Shapiro-Wilk e de Cochran, respectivamente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Índice de rachaduras de topo de toras

Houve uma evolução de 0,140% do IRTT no período de cinco dias, sendo o perfil das toras que apresentaram esse incremento representado na Tabela 2. Ocorreu uma maior alteração no comprimento em relação à abertura das rachaduras, visto que, logo após o corte elas possuíam comprimento médio de 2,38 cm, e cinco dias após aumentou para 4,19 cm, mas a abertura se manteve próxima a 0,06 cm. Apesar da evolução no índice, as rachaduras foram superficiais e não ocorreu uma severa separação do lenho ao longo do comprimento das toras.

Na condição após o corte, o IRTT do mogno brasileiro foi inferior ao encontrado para a *Khaya ivorensis* (19 anos) – 0,200%; e semelhante ao da *K. senegalensis* (19 anos) – 0,050% (SILVA et al., 2016). Para os dois períodos de avaliação, o IRTT do mogno brasileiro foi superior em qualidade aos índices de 0,113% (após o corte) e 0,267% (24 horas após o corte) observados para sete clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, aos 13 anos, plantados no sul da Bahia (FRANÇA, 2014).

Para a maioria das repetições, a ponta fina e as toras próximas ao topo das árvores apresentaram maior IRTT, evidenciando que em menores diâmetros ocorreu uma maior propagação das rachaduras. Este fenômeno é explicado pelo incremento significativo das tensões de crescimento em menores

Tabela 2. Valores médios do índice e perfil de rachaduras de topo de toras por período de avaliação e defeitos da madeira serrada por condição de umidade.

Table 2. Mean values of the index and image of end splitting of logs per evaluation period and lumber defects by moisture condition.

Índice de rachaduras de topo de toras	
Após corte (%)	5º dia após corte (%)
0,048 ± 0,032	0,188 ± 0,082

Após o corte

5 dias após

Defeitos da madeira serrada							
Encurvamento (%)		Arqueamento (%)		Encanoamento (%)		Rachaduras de extremidade (%)	
tu	ts	tu	ts	tu	ts	tu	ts
0,46	0,50	0,17	0,21	-	0,94	0,62	2,60
± 0,23	± 0,27	± 0,13	± 0,13	-	± 0,62	± 1,10	± 3,70

tu: tábua úmida; ts: tábua seca; ± desvio padrão.

diâmetros e na proximidade do ápice das árvores, por causa das menores seções existentes para redistribuições das tensões geradas na periferia do fuste (LISBÔA, 1993). Em toras de *E. benthamii*, aos 13 anos de idade e provenientes de Palmeira/SC, a ocorrência das rachaduras de topo aumentou com a redução do diâmetro (CUNHA et al., 2015).

As rachaduras de topo de toras podem se desenvolver em até 72 horas após a derrubada da árvore, sendo os formatos mais comuns em "I", "Y" e "X" (HILLIS; BROWN, 1984). Os dois últimos são mais danosos por inviabilizar parte considerável do diâmetro da tora durante o desdobro, sendo o tipo "Y" o predominante nas toras avaliadas de mogno brasileiro.

Após cinco dias do corte das árvores o maior comprimento das rachaduras (7,6 cm) foi registrado para uma tora com diâmetro de 22,44 cm, tendo o defeito o formato de "X". Uma solução para o problema é a adoção de um sistema de desdobro que concentra as rachaduras em um bloco central junto com a medula, que geralmente possui classificação inferior. Tendo em vista que as rachaduras não possuem grande abertura e profundidade, a operação de destopo primário também poderá contribuir na mitigação deste dano.

O mogno brasileiro, como outras espécies arbóreas, possui rachaduras de topo de toras, porém os níveis são brandos e não resultam em perdas no desdobro, que venham a afetar a relação custo: benefício. Este diagnóstico é fundamentado, principalmente, nos pequenos valores de abertura das rachaduras nas extremidades das toras.

Empenamentos e rachaduras de extremidades de tábuas

Os três tipos de empenamentos e o índice de rachaduras de extremidade de tábuas - IRt apresentaram evolução do estado úmido para o seco ao ar (12%) (Tabela 2). Os índices de encurvamento e arqueamento foram menores ou iguais a 0,50%, tanto na condição úmida quanto seca, o que atende ao limite estabelecido pela NBR 9487 (ABNT, 1986) e permite um maior aproveitamento e melhor classificação das peças serradas.

Os índices de encurvamento e arqueamento das tábuas ao final de 90 dias de secagem ao ar livre tiveram evolução de 0,04%, e ao considerar as flechas destes defeitos o incremento foi de 0,08 e 0,11 cm, em ordem, que neste caso podem ser consideradas negligenciáveis. A pequena evolução desses defeitos com a secagem natural pode ser explicada, em primeiro grau, pela boa estabilidade dimensional da madeira de mogno e, em segundo, pela restrição imposta pelos tabiques e peso das camadas de tábuas no empilhamento.

As tábuas secas ao ar de mogno brasileiro (12% de umidade) arqueiam em proporção semelhante à observada para *K. ivorensis* (0,18) e *K. senegalensis* (0,26), e encurvam em menor intensidade que as tábuas de *K. senegalensis* (0,79%) que foram secas até 15% de umidade (SILVA et al., 2016). Isso demonstra que as comparações feitas no mercado entre estas espécies não são fundamentadas em dados científicos, pois a madeira do mogno brasileiro e do africano possuem comportamentos diferentes, a exemplo da genética e interação com o ambiente, por isso elas devem ser trabalhadas com desenvolvimento de rotinas e metodologias individuais.

O encanoamento das tábuas ocorreu somente após o processo de secagem, e foi o empenamento com maior evolução. A medição do encanoamento considera a menor dimensão (largura) da área da tábua, por isso pequenas flechas causam valores de índice consideráveis. Por exemplo, a flecha média desse empenamento nas tábuas de mogno foi de 0,12 cm, o que gerou um índice superior ao limite de 0,50% preconizado pela norma. Todavia, destaca-se que em 22% das tábuas não ocorreram flechas de encanoamento.

A ausência de encanoamento em tábuas úmidas é uma evidência de que esse defeito está relacionado principalmente às tensões que ocorrem com a secagem da madeira e não àquelas originadas pelo crescimento das árvores. Uma expressiva diferença entre as contrações tangencial e radial, variações do ângulo microfibrilar e da grã e presença de lenho de tração podem causar os empenamentos das tábuas (SIMPSON, 1991; WALKER, 2006).

Houve uma evolução de 1,98% no IRt ao longo de 90 dias de secagem natural. Na condição úmida, 62,50% das tábuas avaliadas não racharam, sendo o comprimento médio das rachaduras cerca de 0,82 cm. Após a secagem, a quantidade de tábuas sem a presença de rachaduras caiu para 34,38%, sendo o comprimento médio igual a 1,52 cm. Apesar da baixa evolução e da não ocorrência das rachaduras em algumas tábuas, é importante considerar uma sobremedida de até 3,2 cm no comprimento das peças durante o desdobro de toras de mogno brasileiro.

Um bom índice de qualidade da madeira serrada de mogno brasileiro é o baixo IRt, independente da condição de umidade e relativamente às espécies do gênero *Khaya*, *Corymbia* e *Eucalyptus*. As tábuas secas ao ar de mogno brasileiro racham menos que as de *K. ivorensis* em até 6,86% (SILVA et al., 2016), e possuem IRt semelhante ao de tábuas úmidas de *C. torelliana* aos 17 anos (2,54%), apesar do período de secagem. Já as tábuas de espécies de eucalipto usuais em serrarias, como o *E. grandis* x *E. urophylla* (8 anos) e *E. grandis* (14 anos), alcançam valores na ordem de 6,32 e 10,15%, respectivamente (HORNBERG et al., 2012).

Em geral, a madeira serrada de mogno brasileiro em idade jovem e proveniente de plantações homogêneas apresentou bons resultados quanto aos defeitos avaliados, com índices relativamente menores que os observados para os gêneros *Eucalyptus* e *Khaya*. Isso pode conferir um leque maior de empregabilidade em virtude dos parâmetros de qualidade da madeira serrada, no entanto, as propriedades físicas e mecânicas, durabilidade natural e relação cerne e alburno do lenho não devem ser negligenciadas.

Máximo desvio angular (MAD)

O ângulo da grã da madeira de mogno brasileiro plantado, aos 16 anos, variou de 1,30 a 12,57°, com média de 6,53° e desvio padrão de 2,88°. Para a madeira do mogno nativo do Peru, Hernández (2007) obteve o valor médio de inclinação da grã de 2,8°, inferior ao observado na madeira deste

estudo e que pode ser explicado pela diferença etária, fatores genéticos, ambiente e condições de crescimento e estratégia de amostragem.

O MAD do mogno brasileiro foi inferior em até 20,85% comparado ao encontrado para o mogno africano (19 anos) plantado em Linhares/ES (VIDAURRE et al., 2017). A variabilidade do MAD entre espécies pode ser associada aos fatores genéticos e ambientais, à realização ou não de desrama e desbaste e do espaçamento adotado. A intensidade de competição nos espaçamentos, do desbaste e da desrama, pode causar alterações no tamanho dos nós e no crescimento e formação das células do lenho e com isso mudar o ângulo de inclinação das células axiais em relação ao eixo longitudinal do fuste.

Pelo sistema de Limaye (1954), a madeira de mogno brasileiro foi classificada como tendo grã com tendência ao intercruzamento, pois o desvio médio foi igual a 0,289 cm, inferior ao limite máximo desta classe que é 0,318 cm (Figura 3). Apesar de menos frequentes, também foram avaliadas amostras com grã inter cruzada. De acordo com ITTO (2016), a grã da madeira de mogno brasileiro é normalmente reta ou ligeiramente inclinada, e a depender do tipo de corte produz desenhos atraentes para determinados usos.

Figura 3. Frequência e limites das classes de intensidade de intercruzamento da grã da madeira.

Figure 3. Frequency and limits of the intensity classes of interlocking grain wood.

Ao longo do diâmetro das árvores, os maiores desvios da grã foram registrados em regiões próximas à casca, com um incremento de 51,13% em relação à medula, o que pode ser visualizado pelo perfil das amostras, na forma de desvios de maior amplitude (Tabela 3). Com o aumento do MAD, as amostras exibem padrões de fissuras radiais de superfície cada vez mais irregulares, com tendência a um zigue-zague transversal, uma representação grosseira da forma de uma curva senoidal (VIDAURRE et al., 2017). Esse zigue-zague fornece uma boa indicação da frequência e intensidade da grã inter cruzada (HARRIS, 1989) e deduz-se que ele representa a orientação das iniciais fusiformes do câmbio vascular (OGATA et al., 2003).

Maiores desvios da grã foram observados na posição próxima ao topo do fuste e o modelo de variação no sentido base-topo foi linear, com acréscimo da variabilidade do MAD em maiores alturas. O incremento de 9,77% do MAD no topo em relação à base da árvore pode estar associado ao arranjo dos elementos axiais da madeira, influenciado pelas bifurcações e a proporção existente de lenho juvenil.

O intercruzamento da grã é uma característica das regiões de bifurcação das árvores em geral (SLATER et al., 2014). De acordo com os autores, os padrões divergentes de grã na bifurcação em relação ao lenho normal ocorrem para unir um ramo ao outro, conferir resistência mecânica para suporte de cargas externas, mediante a dificuldade de divisão das fibras entrelaçadas, e permitir funcionalidade aos vasos no fluxo de seiva.

Tendência semelhante e inversa de variação do MAD no sentido medula-casca e base-topo das árvores, respectivamente, foi observada para a madeira de sete clones do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* aos 13 anos (COELHO, 2016). A variabilidade da grã dentro da árvore é dependente da espécie, mas

Tabela 3. Valores médios, em graus, do máximo desvio angular para as posições casca-casca e base-topo.**Table 3.** Average values, in degrees, of maximum angular deviation for the diametric and base-top positions.

Posição casca-casca			Posição base-topo		
Próxima à casca (Norte)	Medula	Próxima à casca (Sul)	Base	3 m	Topo
6,83	5,73	8,66	5,73	6,19	6,29
± 3,01	± 2,69	± 3,24	± 1,15	± 2,56	± 2,96

Ilustração dos desvios da grã

± desvio padrão dos dados.

estudos ainda são necessários para avaliar a sua resposta mediante a outros fatores como idade de corte, espaçamento de plantio, desbaste, desrama, fertilização e sítio.

A variabilidade do MAD em relação às posições diamétricas foi superior em 41,36% à observada com a altura do fuste do mogno brasileiro. Este resultado pode estar associado à proporção de lenho juvenil em relação ao adulto, que é uma das principais causas a originar a variabilidade diametral. Comportamento semelhante foi descrito para árvores de *Pinus radiata*, nas quais a maior variabilidade do ângulo de grã espiralada ocorreu da medula para a casca, cerca de 55%, com outros 23% de variação axial no fuste (MOORE; COWN; MCKINLEY, 2015).

A variação da grã possui forte influência genética, mas também é reflexo dos fatores ambientais que afetam a árvore em crescimento, como fertilidade dos solos, padrão de distribuição e direção dos ventos no local, disponibilidade hídrica, radiação solar, altitude e inclinação do terreno (FONWEBAN et al., 2013; HARRIS, 1989). O manejo por influenciar o crescimento, o tamanho dos galhos, as características e massa da copa, a forma e a inclinação do tronco das árvores também têm efeito na variação da grã (BRAZIER, 1977).

Um grande número de espécies tropicais (mogno brasileiro, mogno africano, eucalipto, cedro australiano, entre outras) apresenta o inter cruzamento da grã, que possui uma vantagem ecológica ou fisiológica, ou pelo menos não representa qualquer inconveniente ao desenvolvimento da árvore. Ademais, o inter cruzamento melhora a distribuição de água na copa da árvore e atribui uma boa adaptabilidade para responder a alterações das condições ambientais (CABROLIER; BEAUCHÊNE; THIBAUT, 2009; WEBB, 1969).

As principais consequências dos desvios da grã ocorrem no processamento e utilização da madeira. Elevados valores de MAD podem causar instabilidade e deformações das tábuas, diminuindo a resistência e a rigidez e influenciando o acabamento durante a usinagem (BRAZIER, 1977; COWN; YOUNG; KIMBERLEY, 1991; CYRA; TANAKA, 2000).

Relação funcional das variáveis estudadas

A relação funcional foi avaliada em duas etapas: i) índices de qualidade das toras (IRTT, MAD e diâmetro) e ii) da madeira serrada; sendo acrescentado o IRTT e o MAD junto às rachaduras e empenamentos das tábuas na condição úmida (Figura 4).

Os IRTTs para os dois períodos de avaliação se relacionaram positivamente, sendo possível estimar, com mediano grau de precisão, os índices deste defeito ao longo do período de estocagem. Na prática, permite o entendimento de que há uma redução do IRTT em menores períodos de estocagem, todavia, em situações que não há possibilidade de o desdobro ocorrer simultaneamente à colheita, pode-se traçar uma previsão das perdas e das modificações necessárias na rotina das operações da serraria.

Figura 4. Matriz de correlação de Pearson entre os índices de qualidade das toras e madeira serrada de mogno brasileiro aos 16 anos.

Figure 4. Pearson correlation matrix between quality indexes for logs and lumber of Brazilian mahogany at 16 years old.

Apesar da correlação dos IRTTs por períodos de avaliação ser significativa, eles possuem comportamentos distintos, visto que logo após o corte houve uma relação negativa com o diâmetro das toras, porém sem efeito significativo do MAD; enquanto o IRTT cinco dias após o corte relacionou negativamente com MAD e não teve influência do diâmetro. Ou seja, após o corte a principal variável a influenciar no IRTT é o diâmetro das toras, sendo maior a propagação das rachaduras nas toras de menor classe diamétrica. Com o passar do tempo o diâmetro das toras reduziu a sua influência e o MAD passou a exercer maior efeito no IRTT, apresentando maiores rachaduras nas regiões de menor desvio da grã da madeira.

A relação do diâmetro das toras e do MAD com o IRTT em diferentes períodos de avaliação trata-se de um fenômeno complexo, que ainda requer abordagens mais pontuais. A hipótese é que logo após o corte o IRTT é uma resposta das tensões de crescimento, tendo o diâmetro participação na redistribuição delas. O alívio das tensões com o período de estocagem faz com que a correlação existente entre o MAD e o IRTT aumente, situação também observada por França (2014) em toras de eucalipto.

Ao unir a relação funcional entre o MAD e o IRTT com a variabilidade do MAD no sentido medula-casca, é possível compreender o motivo das toras de mogno racharem mais no centro ou região da medula. Essa região, além de possuir baixa resistência mecânica e densidade, apresentou menor inclinação da grã, o que contribuiu para o desenvolvimento das rachaduras de topo das toras.

Alguns efeitos da grã da madeira podem ser benéficos à utilização, como as figuras de superfície formadas em cortes radiais ou tangenciais. Somado a isso, para a madeira de mogno plantado maiores valores de MAD colaboraram para a redução das rachaduras de topo das toras, avaliadas previamente ao desdobro. Este resultado corrobora com Harris (1989), de que o efeito mais evidente da grã inter cruzada nas propriedades mecânicas da madeira é dificultar a divisão do lenho, na forma de rachaduras. No caso do mogno isso acontece para grã com tendência ao inter cruzamento.

Valores elevados de MAD também promoveram uma redução de rachaduras no topo das toras de sete clones de *E. grandis* x *E. urophylla* aos 13 anos de idade (FRANÇA, 2014).

A relação entre os índices de qualidade permite conhecer e prever as perdas nas dimensões da madeira serrada em função de algumas variáveis das toras, mensuradas antes do desdobro. De tal modo, o IRTT mensurado cinco dias após o corte, previamente ao desdobro, correlacionou positivamente com o encurvamento e índice de rachaduras de tábuas úmidas (IRtu). Logo, quanto maior as rachaduras de topo das toras maior a propagação deste defeito e do encurvamento nas tábuas.

A maior intensidade de rachaduras de tábuas úmidas com o aumento do IRTT também foi observada para as espécies *C. torelliana*, *E. cloeziana*, *E. grandis*, *E. grandis* x *E. urophylla* e *E. resinifera* (HORNBERG et al., 2012).

Não houve correlação dos valores de MAD com os defeitos da madeira serrada de mogno brasileiro plantado. Apesar de não significativo, o maior coeficiente de correlação foi observado entre o MAD

e o encurvamento de tábuas úmidas. A ausência de significância pode ser uma resposta do número de repetições e também do esquema de amostragem adotado, pois na avaliação do MAD ao utilizar corpos de prova com espessura superior à das tábuas tangenciais, amostrou-se diferentes proporções do raio ou mais camadas de crescimento com desvios de grã divergentes quanto à amplitude (HARRIS, 1989).

Uma outra perspectiva é de que, para a madeira serrada, o ângulo relativo ao eixo longitudinal da peça é determinado não somente pelo padrão inerente do ângulo da grã da árvore, mas também pela conicidade e retidão do fuste e pelo sistema de desdobro utilizado na serraria (MACDONALD; HUBERT, 2002). Isso explica a falta de relação do MAD avaliado nos discos de madeira, com os empenamentos e rachaduras das tábuas de mogno brasileiro.

O arqueamento das tábuas foi a única variável a não ter relação significativa com os demais índices de qualidade das toras e da madeira serrada. Contudo, o IRTu e o encurvamento correlacionaram positivamente, sendo maior a propagação de rachaduras maiores as flechas de encurvamento das tábuas. Ou seja, a mesma força que contribuiu para a propagação das rachaduras também gerou as flechas de encurvamento.

CONCLUSÕES

A madeira de mogno brasileiro oriunda de plantação homogênea aos 16 anos possui qualidade satisfatória à produção de serrados, com destaque para a pequena magnitude dos desvios da grã, rachaduras e empenamentos, e ausência de defeitos em algumas peças.

AGRADECIMENTOS

À Celeiro Floresta Criativa pelo fornecimento do material e condições para a realização desta pesquisa. A Fapes pelo financiamento e fornecimento de bolsas auxílio. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARÉVALO FUENTES, R. L. **Influence des composantes secondaires et de la structure anatomique sur les propriétés physico-mécaniques du bois d'acajou (*Swietenia macrophylla* king)**. 2002. 167 p. Tese - (Ph.D - Sciences du bois et de la forêt) – Université Laval, Quebec, 2002.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9487**: Classificação da madeira serrada de folhosas. Rio de Janeiro, 1986. 32 p.
- BRAZIER, J. D. The effect of forest practices on quality of the harvested crop. **Forestry**, v. 50, n. 1, p. 49-66, 1977.
- CABROLIER, P.; BEAUCHÊNE, J.; THIBAUT, B. Is interlocked grain an adaptive trait for tropical tree species in rainforest? In: PLANT BIOMECHANICS CONFERENCE. 6., 2009, Cayenne. **Proceedings...** Cayenne: PMC, 2009.
- COELHO, J. C. F. **Efeitos dos desvios da grã nas variáveis dendrométricas e propriedades físico-mecânicas em madeiras de eucalipto**. 2016. 56 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2016.
- COWN, D. J.; YOUNG, G. D.; KIMBERLEY, M. O. Spiral grain patterns in plantation grown *Pinus radiata*. **New Zealand Journal of Forestry Science**, v. 21, n. 2/3, p. 206-216, 1991.
- CUNHA, A. B.; FRANÇA, M. C.; ALMEIDA, C. C. F.; GORSKI, L.; CRUZ, R. C.; SANTOS, D. Avaliação do rendimento em madeira serrada de *Eucalyptus benthamii* e de *Eucalyptus grandis* por meio do desdobro tangencial e radial. **Floresta**, v. 45, n. 2, p. 241-250, 2015.
- CYRA, G.; TANAKA, C. The effects wood-fiber directions on acoustic emission in routing. **Wood Science and Technology**, v. 34, n. 3, p. 237-252, 2000.

- FADILLAH, A. M. ; HADI, Y. S. ; MASSIJAVA, M. Y. ; OZARSKA, B. Resistance of preservative treated mahogany wood to subterranean termite attack. **Journal of the Indian Academy of Wood Science**, v. 11, n. 2, p.140-143, 2014.
- FONWEBAN, J; MAVROU, I.; GARDINER, B.; MACDONALD, E. Modeling the effect of spacing and site exposure on spiral grain angle on Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) in Northern Britain. **Forestry**, v. 86, n. 3, p. 331-342, 2013.
- FRANÇA, F. J. N. **Propriedades da madeira de eucalipto para a produção de madeira serrada**. 2014. 61 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2014.
- GROGAN, J.; BARRETO, P. Big-Leaf Mahogany on CITES Appendix II: Big Challenge, Big Opportunity. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 973-976, 2005.
- HARRIS, J. M. **Spiral grain and wave phenomena in wood formation**. New York: Springer-Verlag, 1989. 225 p.
- HERNÁNDEZ, R. E. Moisture sorption properties of hardwoods as affected by their extraneous substances, wood density, and interlocked grain. **Wood and Fiber Science**, v. 39, n. 1, p. 132-145, 2007.
- HERNÁNDEZ, R.; ALMEIDA, G. Effects of wood density and interlocked grain on the shear strength of three Amazonian tropical hardwoods. **Wood and Fiber Science**, v. 35, n. 2, p. 154-166, 2003.
- HILLIS, W.; BROWN, A. G. **Eucalypts for wood production**. Melbourne: CSIRO, 1984. 434 p.
- HORNBURG, K. B. ; ELEOTÉRIO, J. R. ; BAGATTOLI, T. R. ; NICOLLETTI, A. L. Qualidade das toras e da madeira serrada de seis espécies de eucalipto cultivadas no litoral de Santa Catarina. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 96, p. 463-471, 2012.
- ITTO - INTERNATIONAL TROPICAL TIMBER ORGANIZATION. **Lesser used species**. 2016. Disponível em: < <http://www.tropicaltimber.info/pt-br> >. Acesso em: 26 nov. 2016.
- KRISNAWATI, H.; KALLIO, M.; KANNINEN, M. **Swietenia macrophylla King**: ecology, silviculture and productivity. Bogor, Indonesia: Center for International Forestry Research - CIFOR, 2011.
- LANGBOUR, P.; GERARD, J.; RODA, J. M.; FAUZI, P. A.; GUIBAL, D. Comparison of wood properties of planted big-leaf mahogany (*Swietenia macrophylla*) in Martinique Island with naturally grown mahogany from Brazil, Mexico and Peru. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 23, n. 3, p. 252-259, 2011.
- LEÓN H., W. J. Variabilidad de la madera de *Swietenia macrophylla* King proveniente de plantaciones de 10 años de edad (Caparo, estado Barinas, Venezuela). **Revista Forestal Venezolana**, v. 54, n. 2, p. 169-182, 2010.
- LESTARI, A. S. R. D.; HADI, Y. S.; HERMAWAN, D.; SANTOSO, A. Glulam properties of fast-growing species using mahogany tannin adhesive. **BioResources**, v. 10, n. 4, p. 7419-7433, 2015.
- LISBÔA, C. D. J. **Estudo das tensões de crescimento em toras de *Eucalyptus grandis* Hill. Ex Maiden**. 1993. 298 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1993.
- LIMA, I. L.; GARCIA, J. N.; PIEDADE, S. M. S. Rachaduras de extremidades de tora e suas implicações nas rachaduras da madeira serrada. **Scientia Forestalis**, n. 61, p. 13-24, 2002.
- LIMAYE, V. D. Interlocking of grain in Indian timbers. **Indian Forester**, v. 80, n. 1, p. 6-9, 1954.
- MACDONALD, E.; HUBERT, J. A review of the effects of silviculture on timber quality of Sitka spruce. **Forestry**, v. 75, n. 2, p. 107-138, 2002.
- MOORE, J. R.; COWN, D. J.; MCKINLEY, R. B. Modelling spiral grain angle variation in New Zealand-grown radiata pine. **New Zealand Journal of Forestry Science**, v. 45, n. 15, p. 1-9, 2015.
- MOYA, R.; SALAS, C.; BERROCAL, A.; VALVERDE, J. C. Evaluation of chemical compositions, air-dry, preservation and workability of eight fast growing plantation species in Costa Rica. **Madera y Bosques**, v. 21, n. especial, p. 31-47, 2015.

- OGATA, Y.; FUJITA, M.; NOBUCHI, T.; SAHRI, M. H. Macroscopic and anatomical investigation of interlocked grain in *Acacia mangium*. **IAWA Journal**, v. 24, n. 1, p.13-26, 2003.
- SCHAITZA, E. G.; MATTOS, P. P.; PEREIRA, J. C. D. **Metodologias simples e baratas para análise de Imagens planas**. Colombo: Embrapa, 2003. 4 p. (Comunicado técnico, 90)
- SILVA, J. G. M. ; VIDAURRE, G. B. ; ARANTES, M. D. C. ; BATISTA, D. C. ; SORANSO, D. R. ; BILLO, FD. F. Qualidade da madeira de mogno africano para a produção de serrados. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 109, p. 181-190, 2016.
- SIMPSON, W. T. **Dry Operator's Manual**. Madison: Forest Products Laboratory, 1991, 274 p.
- SLATER, D.; BRADLEY, R.; WHITHERS, P. J.; ENNOS, A. R. The anatomy and grain pattern in forks of hazel (*Corylus avellana* L.) and other tree species. **Trees**, v. 28, n. 5, p. 1437-1448, 2014.
- VIDAURRE, G. B.; SILVA, J. G. M.; CASTRO, M.; COELHO, J. C. F.; BRITO, A. S.; MOULIN, J. C. Relação da grã com as propriedades tecnológicas da madeira de *Khaya ivorensis*. **Scientia Forestalis**, v. 45, n. 114, p. 249-259, 2017.
- WALKER, J. C. F. **Primary Wood Processing: Principles and Practice**. 2^a. ed. Springer, 2006, 595 p.
- WEBB, C. D. Variation of interlocked grain in Sweetgum. **Forest Products Journal**, v. 19, n. 8, p. 45-48, 1969.

Recebido em: 22/11/2017

Aceito em: 18/06/2018