

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JATAÍ (UFJ)
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS (CIAGRA)
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

ELIAQUIM DOS SANTOS

**ANÁLISE DO DESDOBRO DE TORAS DE *Khaya grandifoliola*
C. DC PROVENIENTES DE DESBASTE UTILIZANDO
SIMULADOR COMPUTACIONAL**

JATAÍ – GO
2022

ELIAQUIM DOS SANTOS

**ANÁLISE DO DESDOBRO DE TORAS DE *Khaya grandifoliola*
C. DC PROVENIENTES DE DESBASTE UTILIZANDO
SIMULADOR COMPUTACIONAL**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Jataí como parte das exigências para graduação em Engenharia Florestal.

Orientador: Dra. Juliana Ceccato Ferreira

JATAÍ - GO
2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFJ.

SANTOS , Eliaquim dos
ANÁLISE DO DESDOBRO DE TORAS DE *Khaya grandifoliola* C.
DC PROVENIENTES DE DESBASTE UTILIZANDO SIMULADOR
COMPUTACIONAL / Eliaquim dos SANTOS . - 2022.
XXXI, 31 f.

Orientadora: Profa. Dra. Juliana Ceccato FERREIRA.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade
Federal de Jataí, Unidade Acadêmica Especial de Ciências Agrárias,
Engenharia Florestal, Jataí, 2022.

Bibliografia.

Inclui gráfico, tabelas.

1. MAXITORA. 2. MADEIRA SERRADA . 3. RENDIMENTO . 4.
VOLUME . I. FERREIRA, Juliana Ceccato, orient. II. Título.

CDU 630

UFJUNIVERSIDADE FEDERAL DE JATAÍ
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO DA VERSÃO FINAL**

Declaro que o discente Eliaquim dos Santos do curso de Engenharia Florestal foi aprovado na defesa do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) com o título final "ANÁLISE DO DESDOBRAMENTO DE TORAS DE *Khaya grandifoliola* C. DC PROVENIENTES DE DESBASTE UTILIZANDO SIMULADOR COMPUTACIONAL", na data de 22 / 11 / 2022 e efetuou todas as correções pertinentes sugeridas pela banca examinadora, composta pelos seguintes membros:

Orientador(a)	Juliana Ceccato Ferreira
Membro 1	Robson Schaff Correa
Membro 2	Eder Marcos da Silva

Declaro ainda que não há ocorrência de plágio e atesto que a versão final anexada a este processo está adequada para ser devidamente depositada em repositório institucional.

Juliana Ceccato Ferreira
Docente do curso de Engenharia Florestal
Observação**Esta declaração deve ser assinada pelo(a) orientador(a)**

Documento assinado eletronicamente por **JULIANA CECCATO FERREIRA, Professora do Magistério Superior**, em 07/12/2022, às 15:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufj.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0090818** e o código CRC **F5D3DFA8**.

A minha mãe Gleida, o maior exemplo de ser humano, humilde e excepcional que fez tudo
para realização de meus sonhos.

A meu pai “Neto”, que sempre me apoiou em todas as minhas decisões.

A meus irmãos Samara, Maria, João e Marcos, que sempre fizeram parte de mim.

Aos meus sobrinhos Athos, Brian , Sophia e Ana Elise amores da minha vida.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Em tudo e em primeiro lugar agradeço a Deus, pela força e folego de vida.

A professora Juliana Ceccato pela orientação, paciência e contribuições para que este trabalho fosse realizado com excelência mesmo em meio a um período hostil.

Ao professor Robson Schaff pela oportunidade, confiança e disponibilidade para a realização desse estudo.

À minha mãe Gleida e meu pai José por me dar suporte de todas as formas durante toda a minha vida. Aos meus irmãos e sobrinhos.

A meus avós, por me incentivar em tudo que faço.

À meus amigos e parceiros do Laboratório de Madeiras e Materiais, em especial ao Professor Carlos, por todo auxílio durante minha trajetória no curso.

Aos meus amigos Arthur, Rita, Vanessa e Luana que mesmo distantes sempre se fizeram presentes em minha vida me apoiando e me dando forças. Aos meus amigos Ester, Pâmela e Lucas, pela amizade verdadeira e pelo companheirismo por todos esses anos.

Ao técnico de laboratório Eder Marcos, pela amizade e por todos os conselhos.

A minha amiga que vou levar no peito Cecilia Bolina, por todas as boas conversas.

A todos os meus amigos do Estágio na Solubio que foi uma das melhores experiências na minha vida.

A todos os amigos que fiz durante a graduação, em especial, Helio, Leticia, Marcos, Ana Clara, Ana Carolina, Mayla, Luna, Bruno, Aldiney, Stéfanne, Denis, Mickael, Mirelly, Marcelo, Tião, Francynara, e Antônio.

A atlética lenhadora que me mostrou o esporte que tanto amo e desenvolvo.

A todos os professores do Curso de Engenharia Florestal, por contribuírem com o meu aprendizado. À Universidade Federal de Jataí. Em fim A todos que contribuíram de forma direta ou indireta, para a realização deste trabalho e por toda a minha trajetória acadêmica, dando apoio e palavras que me auxiliaram na construção de meu aprendizado

RESUMO

Com a dificuldade de se estimar o volume de produção de madeira para serraria, advindos de um plantio florestal de mogno africano, o presente estudo teve como objetivo, estimar o número de tábuas, rendimento e área útil do desdobro de madeira serrada proveniente de um plantio florestal de *Khaya grandifoliola*, com o uso do software MaxiTora, e avaliar o número de tábuas e volume de madeira serrada ofertada pelo plantio sob diferentes intensidades de desbaste. O estudo foi realizado em uma floresta não desbastada, plantada em espaçamento 5 m x 5 m, onde as parcelas foram demarcadas adotando-se o Delineamento em Blocos Casualizados (DBC) com 3 tratamentos e 4 repetições, utilizando-se bordadura simples. Os tratamentos consistiram de 3 intensidades de desbaste, sendo de 20%, 40% e 60% do número total de árvores. Para o desdobro, foram consideradas toras de no mínimo 22 cm de diâmetro na ponta fina, e com comprimentos de 1,5; 2,3 e 3,0 metros. Para a largura das tábuas, foram consideradas as classes de 120 (classe 1), 160 (classe 2) e 200 mm (classe 3), todas com espessura de 5 cm. A serra utilizada para o desdobro foi uma serra fita horizontal com espessura de perda causada pelas serras aproximada de 1 cm. A simulação de otimização no desdobro foi realizada com o software MaxiTora, onde foram obtidos dados de número de tábuas (n), rendimento (%) e área útil (mm³), para as árvores desdobradas, em função do comprimento das toras e da classe. Análise de regressão foi aplicada entre os dados e modelos de regressão foram gerados e aplicados às árvores provenientes dos desbastes, a fim de estipular o número de tábuas, volume e rendimento (%) por hectare. A escolha do modelo se baseou no maior coeficiente de determinação (R²). Após modelagem de regressão e geração de equações os dados. O software MaxiTora possibilitou a estimativa de dados de número de tábuas, rendimento e área útil para o desdobro de toras, segundo as especificações usadas pela serraria do estudo. Toras com comprimento de 1,5 metros e largura final de tábuas de 12 cm foram as que tiveram maior número de tábuas. Já para rendimento e área útil, os melhores valores foram observados para o comprimento de 1,5 m na largura de 16 cm. A intensidade do desbaste que obteve o maior número de tábuas e volume foi a de 60%, conseguindo maiores produtos em relação ao desbaste de 40%. As árvores oriundas do desbaste de 20% não atingiram as dimensões mínimas necessárias para seguir para o desdobro na serraria. É necessário realizar uma análise econômica para os dados obtidos nesse trabalho, para definir o modelo de desdobro mais adequado.

Palavras-chave:

Maxitora. Madeira Serrada. Rendimento. Volume.

SUMÁRIO

1 Introdução.....	11
2 Material e métodos.....	13
2.1 Dados utilizados no estudo.....	13
2.2 Simulação de otimização no desdobro utilizando o software MaxiTora.....	14
2.3 Estimativa do volume de madeira serrada em função da intensidade de desbaste.....	16
2.4 Análise estatística dos dados.....	17
3 Resultados e discussão.....	18
3.1 Simulação de otimização no desdobro utilizando o software MaxiTora.....	18
3.2 Estimativa da oferta de madeira serrada em função da intensidade de desbaste.....	22
3.3 Análise estatística dos dados.....	25
4 Conclusão.....	28
5 Referências.....	29

1. Introdução

Segundo a Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ) com dados referentes ao ano de 2020, as florestas plantadas no Brasil se estendiam por cerca de 9,55 milhões de hectares (IBÁ, 2021). Entre as espécies, 78% da área é composta pelo cultivo de eucalipto, com 7,47 milhões de hectares; e 18% de pinus, com aproximadamente 1,7 milhão de hectares. Além desses cultivos, o setor conta com cerca de 382 mil hectares plantados com outras espécies, entre elas a seringueira, acácia, teca, paricá e mogno africano. Segundo a Food and Agriculture Organization (FAO, 2015), com base nos dados de plantio, o Brasil é considerado o maior produtor de madeira tropical do mundo, respondendo aproximadamente por dois terços do volume de madeira tropical produzido na América. Sua produção é destinada à indústria de papel e celulose, carvão vegetal, madeira serrada, produtos de madeira sólida e madeira processada, além da borracha.

Dentre as espécies destinadas para a obtenção destes produtos, o mogno africano, relacionado a algumas espécies do gênero *Khaya*, destaca-se, com uma área de 37 mil hectares implantados no país. O gênero foi introduzido no Brasil por volta de 1975, quando o pesquisador Ítalo Claudio Falesi recebeu de um técnico do Ministério de Agricultura da Costa do Marfim, oito sementes que foram progenitoras de aproximadamente 12 mil hectares de mogno africano no país (BRANDÃO, 2020).

A madeira dessa espécie pode ser usada para diversos fins como marcenaria, carpintaria, laminação, pisos, instrumentos musicais, artesanatos, construção naval, entre outros (RIBEIRO et al., 2019). Para cada produto gerado é requerida um tipo de madeira com propriedades específicas. No caso da madeira de mogno africano, por se tratar de uma madeira nobre, seu principal objetivo é a obtenção de madeira para serraria e laminação (EMBRAPA 2019).

O segmento da madeira serrada constitui uma considerável contribuição socioeconômica e, desta forma, subsídios a respeito do desempenho da produção, dentre outros, podem torná-lo mais eficiente e, conseqüentemente, mais competitivo nos mercados nacional e internacional (POLZL et al., 2003). Um dos aspectos que são analisados para aumentar essa eficiência se relaciona à melhoria das técnicas de desdobro das toras. O desdobro é o processo de redução da tora inteira, por meio do corte longitudinal, em peças menores de secção retangular ou quadrada geralmente realizado em serrarias (FAGUNDES, 2003). A metodologia de desdobro utilizada determina o maior ou menor rendimento da matéria-prima. A

determinação dos rendimentos obtidos numa serraria, para as mais variadas classes diamétricas e produtos, é fator importante economicamente (MURARA JUNIOR et al., 2013).

A metodologia de desdobro de toras pode ser realizada de duas maneiras: convencional e programada. Chama-se desdobro convencional a metodologia que utiliza, na maioria das vezes, o sistema de corte tangencial em sanduíche, o qual consiste em ‘fatiar’ a tora, tentando obter o maior número de peças. Um sistema de desdobro programado constitui-se em utilizar um sistema de corte previamente estudado, objetivando a máxima utilização da tora (LEITE, 1994).

Ferramentas computacionais para segmentar produtos de árvores não são uma novidade. A maioria busca a otimização do volume de madeira para energia, celulose e serraria (LEITE, 1994; CHICHORRO et al., 2003; OLIVEIRA et al., 2011; OLIVEIRA, 2011; BINOTI, 2012), ou estima o crescimento da produção florestal e o desdobro de madeira, como DynaTree, SawModel, SigmaE (LEITE, 1994; NUNES, 2013), SisEucalipto (OLIVEIRA, 2011) e RPF (BINOTI, 2012). Existem também métodos de scanner (HALABE et al., 2011), que avaliam ou simulam processos de serraria (STEELE, 1984; LIN et al., 1995; BAESLER et al., 2004; HEICH, 2010; MATURANA et al., 2010; VORONI et al., 2012; VERGARA et al., 2015; MUARA et al., 2013).

As soluções computacionais para madeira serrada que calculam a conversão em peças são destinadas ao uso comercial ou foram desenvolvidas para fins técnicos e científicos. Entre as aplicações comerciais estão o MaxiTora (NOVAK; SILVA, 2009; SERPE et al., 2018), CutLog (TEKL STUDIO, 2018), TimberLOG (TIMBER VISION, 2017) e Pitago Optimizers (AUTOR, 2020). A maioria das soluções é baseada na programação linear, técnica aplicada para otimizar as dimensões das peças selecionadas em um trecho do tronco.

Novak & Silva (2009) destacam a utilização de aplicativos computacionais como o SawCAM e o programa MaxiTora para facilitar e agilizar a tomada de decisões para otimizar o desdobro e obtenção de melhor rendimento. O MaxiTora, é um software desenvolvido para uso na indústria de processamento de madeira serrada. Esta ferramenta computacional auxilia na definição do padrão de corte possibilitando maior precisão e uma visualização prévia de produtos e rendimentos obtidos para as várias classes diamétricas processadas (NOVAK, 2007).

Desse modo, o objetivo desse estudo foi de estimar o número de tabuas, *rendimento* e área útil do desdobro de madeira serrada proveniente de um plantio florestal de *Khaya grandifoliola*,

com o uso do software MaxiTora, e avaliar o número de tábuas e volume de madeira serrada ofertada pelo plantio sob diferentes intensidades de desbaste.

2. Material e métodos

2.1 Dados utilizados no estudo

Os dados utilizados no estudo foram coletados em um plantio florestal de *Khaya grandifoliola* (mogno africano), com 10 anos de idade, implantado com um espaçamento de 5 x 5 m entre indivíduos, em uma área de 48 ha, localizado na zona rural do município de Cachoeira Alta – GO, na Fazenda Ribeirão dos Paulas, próximo às coordenadas 18°28'53''S e 51°08'19''O. De acordo com Alvares et al. (2013), o clima do município é classificado como Tropical de savana (Aw - classificação Köppen), com estação seca no inverno, apresentando temperatura média anual de 22,7 °C e precipitação média anual de 1692 mm. O tipo de solo predominante na região é o Latossolo Vermelho, que cobre cerca de 88,3% do município (RESENDE, 2016).

Para aplicação do método da altura relativa foi utilizado 10% do número total de árvores para cubagem em pé, totalizando 67 indivíduos amostrados. Para estes indivíduos foi feita cubagem rigorosa, obtendo-se os dados de diâmetro a altura do peito (DAP), altura total, e nos intervalos de 0,10; 0,30; 1,0; 1,30; 2,0 m e, a partir daí, a cada 2 metros até a altura total. Os volumes das 67 árvores foram calculados individualmente por meio da aplicação da fórmula de Smalian indicada a seguir.

$$v = \frac{g1 + g2}{2} * l$$

Em que:

v = volume (m³);

g1 e g2 = áreas seccionais das extremidades da secção considerada (m²);

l = comprimento da seção (m).

2.2 Simulação de otimização no desdobro utilizando o software MaxiTora

A simulação de otimização no desdobro foi realizada com o software MaxiTora, versão 2018.5.146, que é disponibilizado de forma gratuita, para análise, pela empresa OpTimber. Para a simulação dos dados no software, primeiramente foram inseridos dados das toras a serem desdobradas e das classes de tábuas a serem produzidas.

Os dados inseridos no software foram alimentados seguindo o padrão da serraria da proprietária do plantio usado no estudo, onde a serra utilizada para o desdobro é uma serra fita horizontal com espessura de perda causada pelas serras aproximada de 1 cm. Os desdobros considerados neste estudo foram feitos com toras de no mínimo 22 cm de diâmetro na ponta fina, e com os comprimentos das toras variando entre 1,5; 2,3 e 3,0 metros, valores esses restritos pela tortuosidade das toras e fatores comerciais pelos carrinhos da estufa utilizada para a secagem das tábuas. Para estas dimensões das toras, as larguras das tábuas cadastradas foram de 12cm (Classe 1), 16 cm (Classe 2) e 20 cm (Classe 3) e todas com espessuras de 5 cm. Essas dimensões se constituem como fonte de dados para a definição dos diagramas de corte específicos para as simulações.

Para os demais dados a serem preenchidos, em campos de corte a marcação foi ativada para “livre”; “semibloco” e “costaneiras” utilizando o método de processamento “semibloco”. Foram definidas as espessuras da serra vertical (0) e horizontal (1 cm) e otimização por volume (Figura 1).

Figura 1 Tela de cadastro de produtos preenchidas com informações da serraria para desdobro das toras, do software MaxiTora

Cadastro de Produtos

Id	Nome	Espessura (mm)	Largura (mm)	Valor	Virar	Livre	SemiBloco	Costaneira
1	CLASSE 1	50	120	0,00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	CLASSE 2	50	160	0,00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	CLASSE 3	50	200	0,00	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Teste	0	0		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

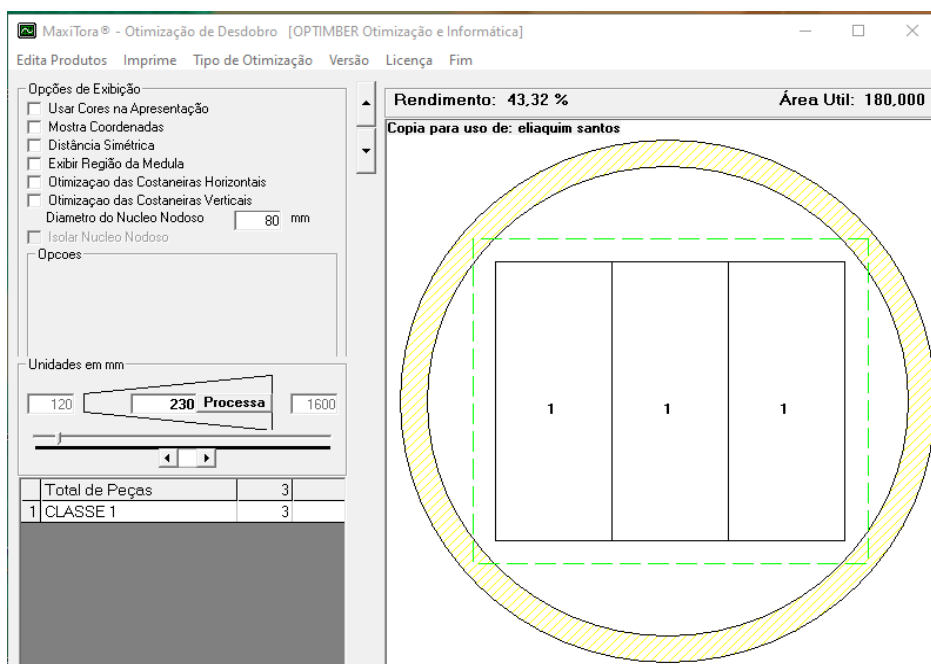
Opcoes

Espessura Serra Vertical
 Espessura Serra Horizontal
 Percentual Casca
 Otimizar por Volume Valor

[Ir para a Tela de Processamento](#)

Na segunda tela, de otimização de desdobro, foi selecionada a otimização retangular, que é o método utilizado pela serraria. Com os dados inseridos, obteve-se os dados de rendimento de madeira serrada, número de tábuas e área útil para cada classe de desdobro considerada e em cada comprimento de tora (Figura 2).

Figura 2 Tela de processamento desdobro exemplificado pelo software MaxiTora® apresentado, a área útil utilizada, o rendimento obtido e o N° de tabuas finais.



Em seguida, os dados foram analisados com base nos dados médios e desvio padrão, a fim de fazer um comparativo entre a produção de madeira serrada para cada classe de desdobro. A classe de desdobro que inclui um comprimento de tora e largura das tábuas, que obteve os melhores valores para número de tábuas (n), rendimento (%) e área útil (m²), foi a escolhida para ser aplicada na estimativa dos valores para o desdobro dos indivíduos provenientes dos desbastes.

Para a classe escolhida, foram gerados modelos de regressão para as seguintes relações: diâmetro na ponta fina (cm) das toras usadas no desdobro e o DAP das árvores (cm); número de tábuas (n) e o rendimento (%), em função do diâmetro na ponta fina das toras usadas na simulação do desdobro. A seleção das equações se baseou no maior coeficiente de determinação

(R²). Estas equações foram utilizadas na etapa posterior, para estimar os dados para as árvores provenientes dos desbastes.

A equação gerada para estimar o diâmetro na ponta fina das toras usadas no desdobro em função do DAP das árvores foi utilizado na etapa seguinte para identificar os indivíduos oriundos dos desbastes, potenciais para serem desdobrados na serraria. Em seguida, com a indicação dos indivíduos, foram estimados os demais dados, descritos no item a seguir.

2.3 Estimativa do volume de madeira serrada em função da intensidade de desbaste

Para a estimativa do volume de madeira serrada proveniente das árvores dos desbastes, foi adotado um Delineamento em Blocos Casualizados (DBC), com três tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos consistiram em três intensidades de desbaste, sendo elas de 20%, 40% e 60% de remoção do número total de árvores implantadas. As parcelas foram demarcadas utilizando-se bordadura simples, buscando-se que ao final do experimento, considerando a aplicação de mais um desbaste futuro, permanecessem 12 árvores úteis em cada parcela, assim os tratamentos de 20%, 40% e 60% de intensidade do desbaste tiveram parcelas com 1.000 m², 1.600 m² e 2.800 m², com remoção de 18, 36 e 72 árvores úteis, respectivamente. Para a aplicação do desbaste foram consideradas as falhas e a mortalidade, bem como árvores menos desenvolvidas, quebradas, tortuosas e presença ou formação de clareiras, mas que não foram levados em consideração neste estudo (SANTOS,2020).

Todas as árvores do experimento foram mensuradas quanto ao diâmetro à altura do peito, mensurada a 1,30 m de altura do solo (DAP), utilizando suta mecânica, e a altura total (HT), com auxílio de um hipsômetro TruPulse®. Para as análises sobre o desdobro das árvores mensuradas, utilizou-se apenas as que possuíam diâmetro e comprimento das toras equivalente ao utilizado pela serraria, ou seja, com diâmetro superior a 22 cm na ponta fina e comprimento acima de 1,50 metros.

Para identificar estes indivíduos, primeiramente foi estabelecida uma classe de desbaste, em função do comprimento da tora (1,5; 2,3 e 3,0 m) e largura das tábuas (12, 16 ou 20 cm), com base na análise dos dados realizados na etapa de simulação (item 2.2). Aplicou-se um filtro

inicial, identificando os indivíduos que se enquadraram na classe escolhida, para cada intensidade de desbaste.

Em seguida, para estes indivíduos, foi feita a estimativa do diâmetro na ponta fina das toras em função do seu DAP, utilizando a equação proposta na etapa anterior. Com a estimativa do diâmetro na ponta fina, foram estimados os valores de número de tábuas (n), volume em madeira serrada (m^3) e rendimento do processo de desdobro (%), com o uso das equações geradas na etapa de simulação, descrita no item 2.2. Em seguida, estes dados foram extrapolados para um hectare. Os valores de número de tábuas por hectare (n/ha), volume em madeira serrada por hectare (m^3/ha) e rendimento do processo de desdobro (%) foram avaliados em função das diferentes intensidades de desdobro.

2.4 Análise estatística dos dados

Após a etapa de simulação de otimização no desdobro utilizando o software MaxiTora, realizou-se análise descritiva para os dados, considerando o desdobro de toras com, no mínimo, 22 cm de diâmetro com casca na ponta fina e comprimentos de 1,5; 2,3 e 3,0 m. Para cada comprimento de tora simulado, também foram consideradas três classes para a largura das tábuas, sendo elas de 120 mm (Classe 1), 160 mm (Classe 2) e 200 mm (Classe 3). Para as diferentes combinações de desdobro, foram obtidos os valores médios e desvio padrão para o número de toras obtidas em cada classe de processamento, o rendimento do processo e a área útil das toras que foi desdobradas.

Análise de regressão foi aplicada e modelos de regressão foram gerados. A escolha do modelo se baseou no maior coeficiente de determinação (R^2).

Para a próxima etapa, a simulação do desdobro de toras foi feita para indivíduos que se enquadraram nos seguintes aspectos: classe de comprimento e largura das tábuas que proporcionou o maior número de tábuas por árvore e o maior rendimento do desdobro. Para a análise estatística foi considerado um esquema fatorial 3x3, composto de três intensidades de desbaste (20, 40 e 60%) e três classes de desdobro (12, 16 e 20 cm). Os dados avaliados foram o número de tábuas por hectare (n/ha), volume em madeira serrada por hectare (m^3/ha) e rendimento do processo de desdobro (%). Quando observadas diferenças significativas entre os

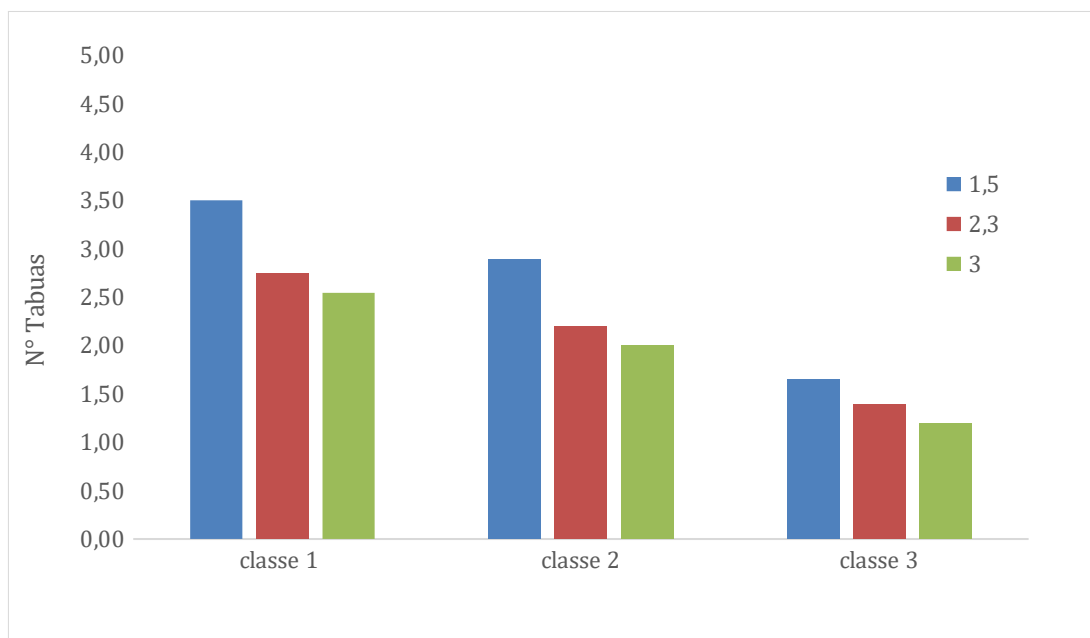
valores para cada variável analisada, aplicou-se o teste de médias de Tukey, a 5% de probabilidade de erro. A análise estatística foi feita no software Statistica.

3. Resultados e discussão

3.1. Simulação de otimização no desdobro utilizando o software MaxiTora

Das 67 árvores cubadas e analisadas, apenas 47 atingiram as condições mínimas necessárias para a simulação do desdobro, ou seja, que tiveram diâmetro mínimo na ponta fina das toras de 22 cm, a partir de uma altura de 1,5 m. A seguir, na Figura 3, é indicado o número de tábuas produzidas em cada classe de comprimento das toras e classe de largura das tábuas.

Figura 3 Número de tábuas(n) produzidas em função do comprimento das toras e classe de largura das tábuas.



Onde: Classe 1 = 120 mm; classe 2 = 160 mm; classe 3 = 200 mm. Comprimento das toras de 1,5; 2,3 e 3,0 m.

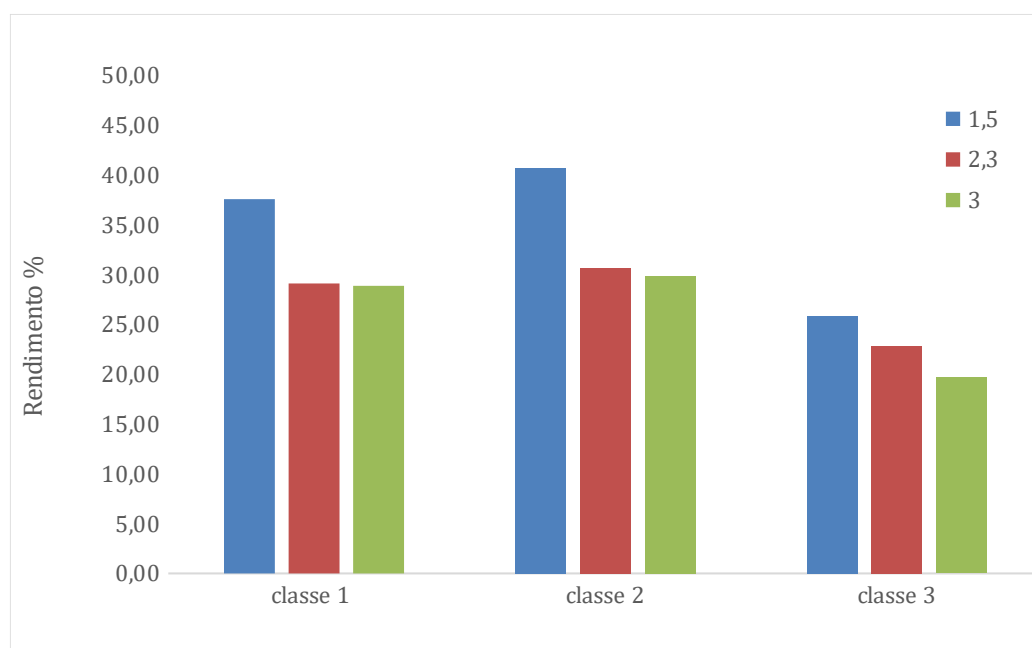
A partir da análise da Figura 3, observa-se que, das 47 árvores desdobradas 77,78 % obtiveram diâmetro mínimo nas 3 alturas utilizadas pela serraria, sendo de 1,5; 2,3 e 3,0 metros, 2,22 % obtiveram diâmetro mínimo em apenas duas alturas necessárias 1,5 e 2,3 metros e 24,44% das árvores só obtiveram o diâmetro mínimo necessário em sua primeira altura analisada sendo de 1,5 m.

Os diâmetros médios na ponta fina, para as toras com comprimento de 1,5; 2,3 e 3,0 m, foram de 26,69; 25,51 e 24,56 cm respectivamente. Segundo os dados indicados de média para número de tábuas na classe 1, na altura de 1,5 se obteve o maior número de tábuas tendo um resultado de 3,5 tábuas nessa classe diamétrica. A classe que obteve menor número de tábuas foi a classe 3 na altura de 3 metros chegando a pouco mais de 1 tábua por desdobro.

Para cada classe de largura de tábuas, observou-se uma redução da produção do número de tábuas, quanto maior foi o comprimento das toras. Dentro da classe 1, a variação de número de tábuas entre o comprimento de 1,5 para 3 m foi de, aproximadamente, uma tábua, o que pode ser explicado devido à conicidade das árvores. E com isso, de acordo com o aumento do comprimento das toras, menos árvores atingiam o diâmetro mínimo para o desdobro.

Em seguida, são apresentados os dados médios de rendimento do desdobro em função das classes analisadas (Figura 4).

Figura 4 Rendimento (%) do desdobro de toras em madeira serrada para diferentes comprimentos de toras e classes de espessura de tábuas



Onde: Classe 1 = 120 mm; classe 2 = 160 mm; classe 3 = 200 mm. Comprimento das toras de 1,5; 2,3 e 3,0 m.

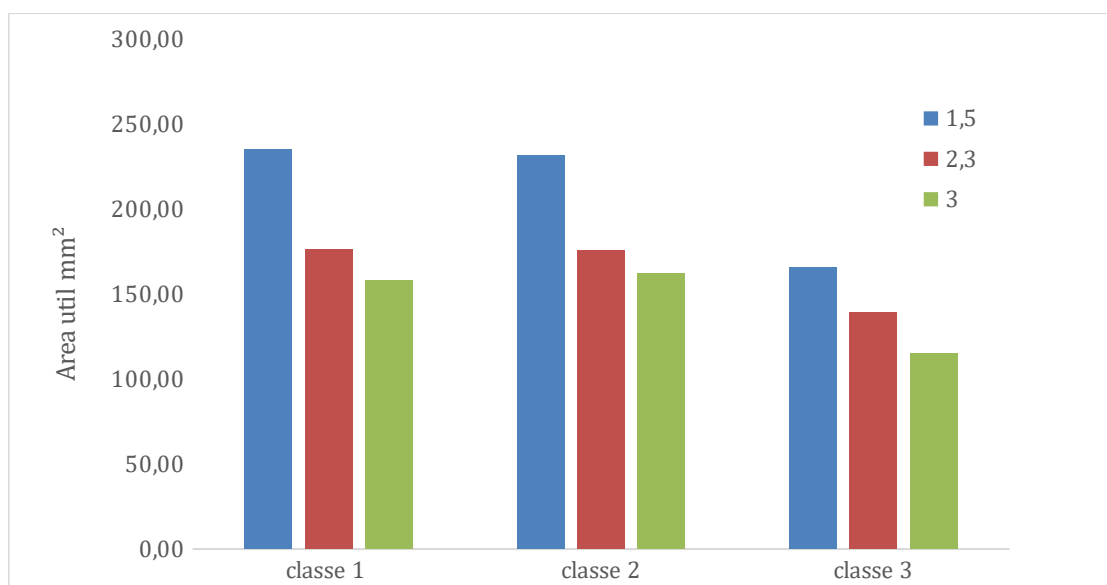
Os maiores valores para o rendimento do desdobro foram observados para a classe 2, com largura das tábuas de 160 mm, com destaque para toras com altura de 1,5 metros, que obtiveram rendimento de 40,68%. Acosta (1999) relatou valores de rendimento de 41%, para

Eucalyptus grandis, mas mencionou também que os rendimentos vão de 41% a 48%, atribuindo a diferença na performance às classes diamétricas e ao sistema de desdobro. Tais valores foram compatíveis aos valores obtidos neste trabalho, para esta classe. Diversos fatores influenciam no rendimento como a dimensão final das peças, o número de cortes realizado, o maquinário, a mão de obra especializada (ROCHA, 2002), o desdobro utilizado (FERREIRA et al., 2004) e a dimensão da tora (LIMA et al., 2007; VITAL, 2008).

A dimensão das toras teve influência nesta análise juntamente com a classe diamétrica desdobrada na serraria. A classe 3 foi a que proporcionou os menores rendimentos, devido a sua largura elevada, sendo de 200 mm, tendo a necessidade de toras com maiores diâmetros, para sucesso em seu desdobro. Essa tendência também foi observada por Rocha (2000), onde ele obteve valores compatíveis com o presente estudo, sendo que para as toras de menor diâmetro de *E. grandis* (19 a 24 cm) foi encontrado o rendimento médio de 48,22% e para as toras de maior diâmetro de *E. dunnii* (25 a 30 cm) foi encontrado um rendimento médio de 36,77%, em função da classe desdobrada.

Em seguida, na Figura 5, são indicados os valores observados para a área útil das toras que foram convertidas em madeira serrada. A área útil está diretamente relacionada ao rendimento, uma vez que o rendimento se refere ao total da madeira que é convertida em tábuas, logo, quando maior a área útil a ser convertida em tábuas, maior será o rendimento.

Figura 5 Área útil (mm²) de toras convertidas em madeira serrada, para diferentes comprimentos de toras e classes de espessura de tábuas



Onde: Classe 1 = 120 mm; classe 2 = 160 mm; classe 3 = 200 mm. Comprimento das toras de 1,5; 2,3 e 3,0 m.

Para a área útil das toras, que foi convertida em madeira serrada, a classe 1 obteve os maiores valores chegando a 234,78 mm² para o comprimento das toras de 1,5 m e 157,83 mm² para a altura de 3,0 m. Os menores valores para área útil foram observados na classe 3, variando entre 165 mm² e 115 mm² entre os comprimentos de toras de 1,5 a 3,0 m. Seguindo os mesmos indicadores de rendimento citados na discussão da Figura 4, a área útil da classe 3 obteve os menores valores devida a sua espessura necessitar de maiores dimensões diamétricas das toras. Uma tendência observada é que, quanto maior o comprimento das toras, menor é a área útil, isso também se explica pelo fator conicidade das toras. De acordo com Garcia (2002), a conicidade influencia a qualidade mecânica da madeira serrada e, principalmente, sua homogeneidade ao longo do comprimento da peça. Em sua pesquisa com toras de *E. grandis* e *E. saligna*, Crêspo (2000) observou que essa característica das toras influenciou mais o rendimento em madeira serrada do que as rachaduras de extremidade de toras e de tábuas.

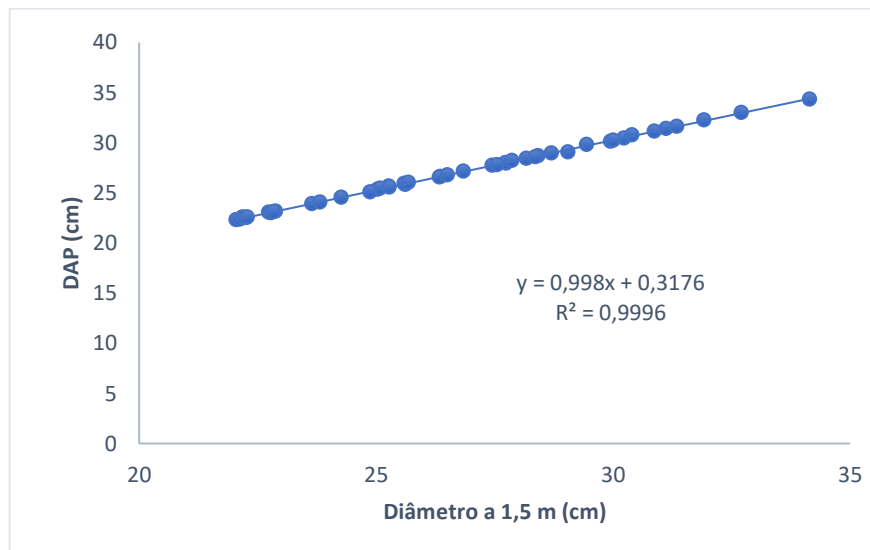
A partir da análise dos resultados dispostos nas Figuras 3, 4 e 5, a classe 1 e 2, com larguras de tábuas de 12 e 16 cm, respectivamente, para toras com comprimento de 1,5 m foram os desdobros que obtiveram maiores valores de número de tábuas e rendimento, dados que são importantes para associar à produtividade de uma serraria. Sendo assim, a estimativa do desdobro das árvores provenientes de diferentes intensidades de desbastes foi feita com base nas dimensões destas classes de desdobro.

3.2. Estimativa da oferta de madeira serrada em função da intensidade de desbaste

Com base nos resultados indicados no item 3.1, optou-se por analisar o desdobro de madeiras provenientes dos desbastes, convertendo toras em tábuas com 1,5 de comprimento e espessuras de tábuas de 12 cm (Classe 1) e 160 cm (Classe 2).

Na figura a seguir são indicados os valores de dispersão dos dados de diâmetro a 1,5 m e o DAP das árvores usadas na cubagem rigorosa.

Figura 6 Distribuição dos dados de diâmetro a 1,5 m e o DAP das árvores usadas na cubagem rigorosa.



A equação gerada, que melhor se ajustou à relação entre o diâmetro à 1,5 m e o DAP é uma equação linear, de primeiro grau, com coeficiente de determinação (R^2) de 0,9996. Após obtenção da equação de regressão, foi possível definir entre as árvores constantes no inventário, quais teriam potencial para seguir para o desdobro, após o desbaste, sendo aquelas que possuíram um DAP mínimo de 22,27 cm.

Com isso, foi inserido um filtro na tabela de dados excluindo os indivíduos que tivessem valores de DAP abaixo de 22,27 cm. Após a filtragem dos indivíduos, a equação de regressão indicada na Figura acima foi ajustada para estimar os valores de diâmetro a 1,5 m destas árvores, com base no seu DAP. A equação ficou da seguinte maneira:

$$y = (x - 0,3176) / 0,9980$$

Em que:

y = diâmetro medido na altura de 1,5 m (cm);

x = diâmetro a altura do peito (DAP) (cm).

Para estimar o número de tábuas obtidas por cada indivíduo, considerou-se o modelo de regressão gerado a partir da dispersão de dados de diâmetro a 1,5 m e o número de tábuas obtidas, para a classe 1 e classe 2, conforme indicado nas Figuras 7 e 8, a seguir:

Figura 7 Gráfico de regressão de dados, sendo analisados diâmetro a 1,5m x N de tabuas da classe 1 com linha de tendência e equação linear, junto com o coeficiente de variação para inferência de dados.

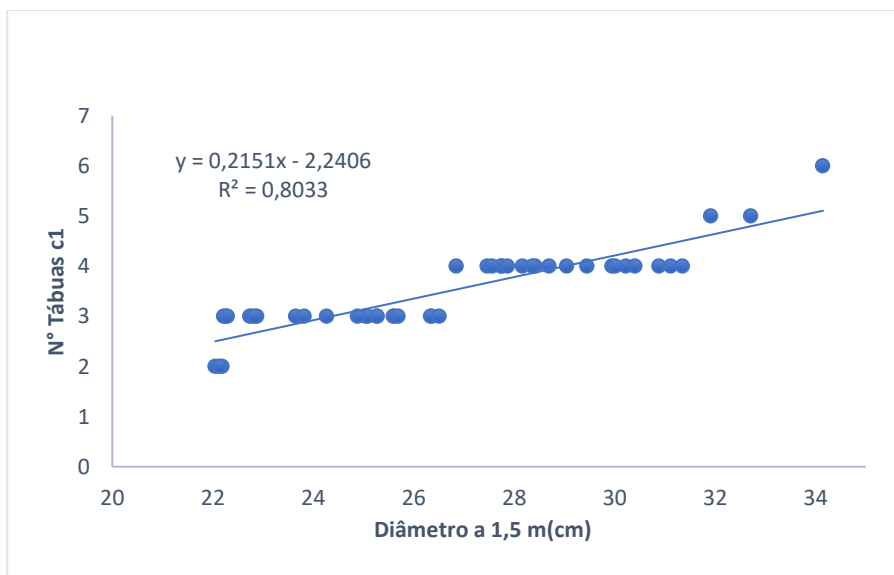
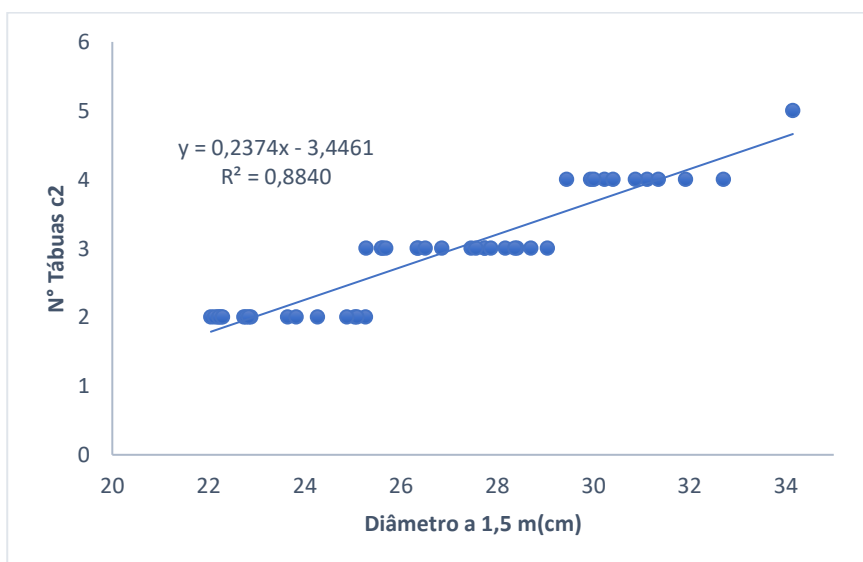


Figura 8 Gráfico de regressão de dados, sendo analisados diâmetro a 1,5m x N de tabuas da classe 2 com linha de tendência e equação linear, junto com o coeficiente de variação para inferência de dados



A equação, que melhor se ajustou à relação entre o diâmetro à 1,5 m e o número de tábuas da classe 1 foi uma equação linear, de primeiro grau, com coeficiente de determinação (R^2) de 0,8033, isso também explica a escolha da equação para a classe 2, que obteve um coeficiente de determinação (R^2) de 0,884. Com as equações estimadas, também foi possível

obter o potencial número de tábuas para as árvores provenientes das três intensidades do desbaste analisadas.

Com as equações geradas, foi estimado o número de tábuas (n) por indivíduos e, conseqüentemente, o volume em madeira serrada (m³), com base nos dados de largura, espessura e comprimento das tábuas. Os dados foram extrapolados para um hectare, em função das diferentes intensidades de desbaste.

As árvores retiradas nas unidades amostrais com intensidade de desbaste de 20% não se enquadraram no DAP mínimo de 22,27 cm, de modo que não tiveram indivíduos destinados ao desdobro na serraria. Apenas nas áreas com intensidade amostral de 40 e 60% tiveram indivíduos selecionados para o desdobro, e que foram considerados na análise estatística.

3.3 Análise estatística dos dados

Para o número de tábuas obtido por hectare, observou-se efeito significativo da interação entre a intensidade de desbaste x classe de desdobro, conforme indicado na tabela a seguir.

Tabela 1. Interação entre intensidade de desbaste e classe de desdobro para o número de tábuas obtido por hectare (n/ha).

Intensidade (%)	Classe 1	Classe 2
40	5,25 ± 3,96 Ba*	25,59 ± 18,39 Ba
60	195,30 ± 30,44 Aa	149,48 ± 22,41 Ab

Onde: Médias seguidas de mesma letra maiúscula em cada coluna e minúscula em cada linha não diferem entre si pelo teste de médias de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro. *Média ± desvio padrão.

De acordo com os dados obtidos de interação de desbaste e classe de desdobro, para a classe 1 foi observado um maior número de tábuas no desbaste a 60%. Isso se explica por causa da área do desbaste, que foi de 2800 m², sendo então que o número de indivíduos que saíram do desbaste 60% foi bem maior que o número de indivíduos que saíram da intensidade de 40%, essa observação se repete para a classe 2, onde também houve diferenciação estatística entre as duas intensidades. Já entre as classes 1 e 2, referente à largura das tábuas de 12 e 16 cm, respectivamente, não se teve diferença estatística no número de tábuas na intensidade de 40% entre as classes 1 e 2. Isso se dá pelo alto valor do desvio empregado na classe 2, mesmo tendo

um número de tábuas maior. Já na intensidade de desbaste 60%, houve diferença significativa entre a classe 1 e 2 com valores médios de 195,30 e 149,48 tábuas por hectare respectivamente, sem valores de desvio abrangentes. O elevado desvio pode estar associado à variação diamétrica das árvores retiradas no desbaste, uma vez que estão incluídas árvores com tortuosidades, com menor desenvolvimento, assim como árvores com dimensões padrão do plantio.

A estimativa do volume de madeira serrada por hectare (m^3/ha) teve influência significativa apenas do efeito isolado da intensidade de desbaste, conforme indicado na tabela a seguir.

Tabela 2. Efeito isolado da intensidade de desdobro sobre o volume de madeira serrada obtida por hectare (m^3/ha).

Intensidade (%)	Volume (m^3/ha)
40	$0,18 \pm 0,20$ B
60	$1,78 \pm 0,25$ A

Onde: Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de médias de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro. *Média \pm desvio padrão.

Após análise estatística da ANOVA, observou diferença significativa apenas na intensidade dos desbastes o que se explica em função da área desbastada a 60%, ter um volume de árvores retirados bem superiores aos que serão retirados no desbaste de 40%. Para 60% de desbaste foram retiradas 36 árvores por hectare, enquanto que para 40% foram retiradas 72 árvores por hectare.

A estimativa de modelo de regressão para o rendimento (%), para as classes indicadas, não foi possível de ser obtida, pois os valores para o R^2 foi inferior a 0,3, para as duas classes, quando as relacionou ao diâmetro a 1,5 m. Dessa forma o rendimento do processo de desdobro para tábuas de 1,5 m da classe 1 e da classe 2 foi considerado o mesmo observado para o rendimento na etapa de simulação dos dados no software MaxiTora, ou seja, valores de rendimento médios de tábuas da classe 1 de $37,57 \pm 4,45\%$ e $40,68 \pm 4,03\%$ para o desdobro de toras em tábuas da classe 2.

Possivelmente, os modelos de regressão não foram significativos para o rendimento, uma vez que a variação dos dados observadas entre os números de toras e o rendimento não mostraram uma tendência de dados. De modo geral a importância de se calcular o número de tábuas, rendimento e volume de seu plantio florestal, garante uma estimativa quase real do que

será retirado da produção, ainda com a floresta em pé. O conhecimento do potencial de oferta da matéria-prima de madeira serrada se torna essencial para análises econômicas, fornecendo ao produtor melhores conhecimentos econômicos de seu plantio.

Estudos comparativos entre os resultados obtidos no software MaxiTora e dados obtidos em uma serraria, com o desdobro real de toras também é importante para validar o aplicativo e obter relações que associem os dados estimados com os dados obtidos a campo.

4. Conclusões

- O software MaxiTora possibilitou a estimativa de dados de número de tábuas, rendimento e área útil para o desdobro de toras, segundo as especificações usadas pela serraria do estudo.
- Toras com comprimento de 1,5 metros e largura final de tábuas de 12 cm são as que terão maior número de tábuas.
- Já para rendimento e área útil, os melhores valores foram observados para os três comprimentos de toras avaliados, com largura final de tábuas de 16 cm, ou seja, para a classe 2. Entre os diferentes comprimentos de toras, os maiores valores também foram observados para 1,5 m.
- A intensidade do desbaste que obteve o maior número de tábuas e volume foi a de 60%, conseguindo maiores produtos em relação ao desbaste de 40%. As árvores oriundas do desbaste de 20% não atingiram as dimensões mínimas necessárias para seguir para o desdobro na serraria.
- É necessário realizar uma análise econômica para os dados obtidos nesse trabalho, para definir o modelo de desdobro mais adequado.
- Estudos comparativos entre os resultados obtidos no software MaxiTora e dados obtidos em uma serraria, com o desdobro real de toras também é importante para validar o aplicativo e obter relações que associem os dados estimados com os dados obtidos a campo.

REFERÊNCIAS

- BARBA, BRANDÃO et al. relação entre informações espectrais e variáveis dendrométricas para mogno africano no estado de mato grosso do sul. **anais do enic**, [S. l.], 2022. Disponível em: <https://anaisonline.uems.br/index.php/enic/article/view/7676>. Acesso em: 16 nov. 2022.
- BIASI, Cândido; ROCHA, Márcio. Rendimento em madeira serrada e quantificação de resíduos para três espécies tropicais. **floresta**, Curitiba, PR, v. 37, n. 1, p. 95-108, nov. 2006.
- BONASSA, Felipe *et al.* Determinação do rendimento de madeira serrada de três espécies florestais da Amazônia. **Engenharia Florestal: Desafios, Limites e Potencialidade**, [S. l.], p. 285-314.
- CARVALHO, A. M.; GONÇALVES, M. P. M.; AMPARADO, K. F.; LATORRACA, J. V. F.; GARCIA, R. A. Correlações da altura e diâmetro com tensões de crescimento em árvores de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus urophylla*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 34, n. 2, p. 323-331, 2010.
- CARDOSO JUNIOR AA. **Inovação tecnológica na obtenção de madeira serrada de pinus com uso de programa otimizador de desdobro** [Trabalho de conclusão de curso]. Curitiba: Universidade Federal do Paraná; 2008.
- COSTA, Thomaz *et al.* Primeira Validação do CalcMadeira, Software para Estimativa de Peças de Madeira Roliça e Serrada. **BOLETIM DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO**, [s. l.], 13 nov. 2019.
- DOBNER JÚNIOR, M. et al. Rendimento em serraria de toras de *Pinus taeda*: Sortimentos de grandes dimensões. **Floresta e Ambiente**, v.19, n.3, p.385-392, 2012.
- FERRAZ FILHO, A. C.; RIBEIRO, A.; Crescimento e produção de mogno-africano: quantificação e influências. In: REIS, C. A. F.; OLIVEIRA, E. B. de.; SANTOS, A. M. Mogno africano (*Khaya spp.*): **atualidades e perspectivas do cultivo no Brasil**. Brasília: Embrapa, 2019. p. 50-73.

GARCIA, F. M. **Rendimento operacional de uma serraria com a espécie cambará (*Qualea albiflora* Warm.)** na região amazônica. 2013. 83f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu

HEINRICH, D. **Simulação da produção de madeira serrada.** 2010. 157p. (Dissertação de mestrado).2010

JUIZO, Claudio *et al.* Avaliação do Rendimento em Madeira Serrada de Eucalipto para Dois Modelos de Desdobro numa Serraria Portátil. **Floresta e Ambiente**, [s. l.], v. 21, ed. 4, p. 543-550, out a dez. 2013.

JUNIOR, Antonio *et al.* Efeito do Sistema de Desdobro e das Classes Diamétricas no Rendimento em Madeira Serrada de *Araucaria angustifolia*. **Floresta e Ambiente**, [s. l.], 24, jun. 2017

JUNIOR, Mauro *et al.* Estimativa do Rendimento em Madeira Serrada de Pinus para Duas Metodologias de Desdobro. **Floresta e Ambiente**, [s. l.], p. 556-563, 31 dez. 2013.

MELO, Rafael *et al.* Análise da influência do diâmetro no rendimento em madeira serrada de cambará. Pesquisa Florestal Brasileira, **Brazilian Journal of Forestry Research**, ano 2016, v. 36, ed. 88, p. 393-398, 12 out. 2016.

MURARA JUNIOR, M. I. **Desdobro de toras de pinus utilizando diagramas de corte para diferentes classes diamétricas.** 66f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

NOVAK, Rosilei; SILVA, Arinei. um sistema de otimização aplicado ao desdobro de madeira. um sistema de otimização aplicado ao desdobro de madeira, **XLI SBPO 2009 - Pesquisa Operacional na Gestão do Conhecimento**, ano 2009, v. 1, ed. 1, p. 3030-3040, 6 out. 2009.

OPTIMBER. Guia de instruções do usuário: MaxiTora - Software de otimização de desdobro de toras, da empresa **OpTimber**, ambiente Windows. 2016.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA (FAO). O estado da Segurança Alimentar e Nutricional no Brasil: Um retrato multidimensional. **Relatório 2014**. Brasília 2015

POLZ W . B et al. cadeia produtiva do processamento mecânico da madeira - segmento da madeira serrada no estado do paran; **Revista floresta** 33(2) 127-134

RAMOS, Lucas; COSTA, Thomaz. Terceira Valida;o do CalcMadeira: desdobro pelo M;todo Radial. **BOLETIM DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO**, [s. l.], nov. 2021

RESENDE, M. J. G. Distribu;o dos solos de Goi;s. Ag;ncia Goiana de Assist;ncia T;cnica, Extens;o Rural e Pesquisa Agropecu;ria (**EMATER**). 2016, 57p

REIS, C. A. F.; KALIL FILHO, A. N.; AGUIAR, A. V.; MORAES-RANGEL, A. C. Caracteriza;o das esp;cies pertencentes ao g;nero *Khaya* de interesse no Brasil. In: REIS, C. A. F.; OLIVEIRA, E. B. DE.; SANTOS, A. M. Mogno-africano (*Khaya spp.*): atualidades e perspectivas do cultivo no Brasil, 1. ed. Bras;lia: **Embrapa**, 2019. p. 12-49

RIBAS C, ASSINI JL, YAMAZOE G, GURGEL GARRIDO LMA. Estudo da influ;ncia do di;metro e do comprimento das toras de *Pinus elliottii* na produ;o de madeira serrada e de res;duos de serraria. **Revista do Instituto Florestal** 1989; 1(1): 51-65.

ROCHA MP & TOMASELLI I. 2002. Efeito do Modelo de Desdobro na Qualidade da Madeira Serrada de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii*. **Cerne** 8: 70-83

SANTOS, Ronaldo *et al.* Modelagem do rendimento em madeira serrada para esp;cies comerciais em serrarias do estado do Amap;. **Pesquisas Agr;rias e Ambientais**, [s. l.], v. 5, p. 612-618, jun. 2017.

SANTOS, Elaine de Lima Santana. **Aspectos silviculturais e de manejo de *Khaya grandifoliola*** C.DC Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Jataí, Jataí, 2020

SCANAVACA JR L & GARCIA JN. 2003. Rendimento em madeira serrada de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis** 63: 32-43

SERPE, Edson *et al.* rendimento do desdobro de madeira em serraria convencional e diferentes simulações utilizando otimizador computacional. **biofix Scientific Journal**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 103-108, 18 jul. 2018.

SILVA, J. G. M. da; VIDAURRE, G. B. Propriedades da madeira do mogno-africano (*Khaya spp.*). In: REIS, C. A. F.; OLIVEIRA, E. B. de.; SANTOS, A. M. Mogno-africano (*Khaya spp.*): **atualidades e perspectivas do cultivo no Brasil**. Brasília: Embrapa, 2019. p. 287-362

TONINI, H.; ANTONIO, L. M. M. F. Rendimento em madeira serrada de cupiuba (*Goupia glabra*), caferana (*Erismia uncinatum*) e angelim-pedra (*Dinizia excelsa*). Boa Vista: **Embrapa Roraima**, 2004. (Comunicado Técnico, n.7).

TREVISAN, R.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J.; SCHNEIDER, P. R.; MENEZES, L.F. de. Efeito da intensidade de desbaste nas características dendrométricas e tecnológicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 4, p. 377-387, 2007.