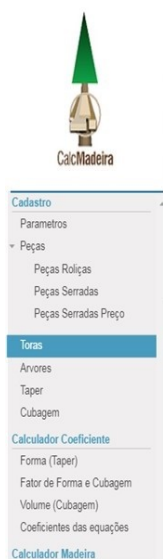


Terceira Validação do CalcMadeira: desbobo pelo Método Radial



Toras

1-7 de 7

Arvore	Codigo da tora	Diametro minimo	Diametro maximo	Comprimento da tora
<input type="checkbox"/>	1	1	43,5	48,0
<input type="checkbox"/>	2	2	35,5	44,5
<input type="checkbox"/>	3	3	30,5	37,2
<input type="checkbox"/>	4	4	28,7	31,5
<input type="checkbox"/>	5	5	38,2	43,6
<input type="checkbox"/>	6	6	55,0	60,5
<input type="checkbox"/>	7	7	59,0	59,5

Radial



***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Milho e Sorgo
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento***

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
233**

**Terceira Validação do CalcMadeira:
desbobo pelo Método Radial**

Lucas Barbosa Ramos
Thomaz Correa e Castro da Costa

*Embrapa Milho e Sorgo
Sete Lagoas, MG
2021*

Esta publicação está disponível no endereço:
<https://www.embrapa.br/milho-e-sorgo/publicacoes>

Embrapa Milho e Sorgo
Rod. MG 424 Km 45
Caixa Postal 151
CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG
Fone: (31) 3027-1100
Fax: (31) 3027-1188
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
da Unidade Responsável

Presidente
Maria Marta Pastina

Secretário-Executivo
Elena Charlotte Landau

Membros
Cláudia Teixeira Guimarães, Mônica Matoso Campanha, Roberto dos Santos Trindade e Maria Cristina Dias Paes.

Revisão de texto
Antonio Claudio da Silva Barros

Normalização bibliográfica
Rosângela Lacerda de Castro (CRB 6/2749)

Tratamento das ilustrações
Mônica Aparecida de Castro

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Mônica Aparecida de Castro

Foto da capa
Lucas Barbosa Ramos

1ª edição
Publicação digital (2021)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Nome da unidade catalogadora

Ramos, Lucas Barbosa.

Terceira validação do CalcMadeira: desdobro pelo método radial / Lucas Barbosa Ramos, Thomaz Correa e Castro da Costa. – Sete Lagoas : Embrapa Milho e Sorgo, 2021.

31 p. : il. -- (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1679-0154; 233).

1. Madeira. 2. Produto florestal. 3. Software. 4. Extração de madeira. I. Costa, Thomaz Correa e Castro da. II. Título. III. Série.

CDD (21. ed.) 634.9

Rosângela Lacerda de Castro (CRB 6/2749)

© Embrapa, 2021

Sumário

Resumo05

Abstract06

Introdução.....07

Material e Métodos10

Resultados e Discussão12

Conclusão.....26

Patente26

Agradecimentos.....26

Referências26

Literatura Recomendada30

Terceira Validação do CalcMadeira: desbobo pelo Método Radial

Lucas Barbosa Ramos¹

Thomaz Correa e Castro da Costa²

Resumo – Nas operações para obter madeira serrada muitos são os métodos usados para desdobro da tora, que podem ser padrões de corte ou processos empíricos, usando a experiência dos operadores. Como usualmente o produtor vende a árvore em pé, com valores muito inferiores àqueles que serão obtidos após o processamento mecânico da madeira, foi desenvolvido o CalcMadeira, software com a finalidade de auxiliar o produtor a vender a árvore não em metros cúbicos, mas em função das peças serradas que podem ser obtidas a partir de árvores. Um dos modelos implementados é o padrão de corte radial, que consiste em dividir a tora em quadrantes, e calcular peças serradas próximas ao sentido do raio. Foram realizados testes com diferentes deslocamentos da medula em relação ao centro da face menor da tora para avaliar a exatidão quanto ao número e à dimensão de peças que o programa calculou em relação às peças observadas nas toras. São apresentadas exatidões por tora em função do deslocamento da medula. As distribuições totais calculada e observada de largura da peça foram estatisticamente iguais.

Termos para indexação: serraria; multiprodutos; software; modelagem; manejo florestal.

¹ Lucas Barbosa Ramos, estudante de Engenharia Florestal na Universidade Federal de São João Del Rei, Campus de Sete Lagoas-MG, bolsista do CNPq na Embrapa Milho e Sorgo;

² Thomaz Correa e Castro da Costa, Engenheiro-Florestal, Doutor em Sensoriamento Remoto ligado a Ciência Florestal, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo

Third Validation of CalcMadeira: Radial Method

Abstract – In operations to obtain sawn wood, there are many methods used to cut the log, which can be cutting patterns or empirical operation, using the experience. As the trees standing are sold with values lower than those obtained after the wood's processing, CalcMadeira was developed in order to help the producer to sell the trees not in cubic meters, but in the function of the pieces that one can get from trees. One of the implemented models is the radial cutting pattern, which consists of dividing the log into quadrants and calculating sawn pieces to the radius direction. Tests were performed with different displacements of the pith in relation to the center of the smaller face of the log. It assessed the accuracy of the number and dimension of pieces that the program calculated in relation to the pieces observed in the logs. Accuracies are shown per log as a function of pith displacement. The total calculated and observed piece width distributions were statistically equal.

Index terms: sawmill; multiproducts; software; modeling; forest management.

Introdução

O Brasil é referência mundial no setor de árvores cultivadas, que inclui fabricação de papel e celulose, produtos de papel, carvão vegetal para ferro gusa, painéis de madeira e laminados, gerando emprego e renda combinada com uma atuação socialmente e ambientalmente responsável. Em 2019, registrou uma receita bruta de R\$ 97,4 bilhões, com crescimento de 12,6% em relação ao ano anterior (Indústria Brasileira de Árvores, 2020).

Em 2019, a área total de árvores plantadas totalizou 9,0 milhões de hectares, um aumento de 2,4% em relação a 2018 (8,79 milhões de hectares, considerando o ajuste conforme nova metodologia). Desse total, a maioria (77%) é representada pelo cultivo de eucalipto, com 6,97 milhões de hectares, e 18% de pinus, com 1,64 milhão de hectares. Além desses cultivos, existe 0,39 milhão de hectares plantados de outras espécies, entre elas seringueira, acácia, teca e paricá (Indústria Brasileira de Árvores, 2020).

Em contraposição ao crescimento do mercado para papel e celulose, painéis de madeira e carvão vegetal, o consumo de madeira serrada apresentou uma redução de 82% de 2008 a 2016 (Brazilian Association for Mechanically Processed Timber, 2016) e, em 2019, caiu 3,5%, o que totaliza 9,9 milhões de m³, segundo dados da Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Mais de 90% da produção brasileira é direcionada ao próprio mercado doméstico. Em 2019, as exportações recuaram 12%, e as importações aumentaram 21%.

As causas para esta tendência de queda continuada foram a redução de remanescentes florestais nativos, as restrições ambientais, e a substituição de madeira maciça por painéis de madeira, sendo esta última uma forte tendência para o mercado moveleiro, que reduziu o impacto sobre as florestas nativas.

Por outro lado, instituições como APROCEDRO, ABPMA, AREFLORESTA, IBF, dentre outras, vêm estimulando o plantio de florestas plantadas para ofertar madeira maciça de maior qualidade para a construção civil e movelaria. Florestas plantadas, com padronização das suas dimensões, favorecem a construção de regras de negócio para solucionar problemas dos manejadores e processadores de madeira. Desta forma, com as informações de peças serradas por árvores ou por toras, o atributo “volume” para a comercialização de madeira pode ser discriminado em produtos serrados.

Esta avaliação advém de um mercado que valora a madeira em metros cúbicos ou estéreo. O vendedor, pela dificuldade em estimar produtos madeireiros, ao vender a madeira, não sabe quantas peças poderão ser beneficiadas. Esta situação favorece uma relação comercial desvantajosa, porque o produtor não saber a quantidade de peças de madeira que sua floresta poderia render dá ao comprador uma vantagem de aferir um lucro muito maior após o processamento (Costa et al., 2016).

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; Soares 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; Heinrich, 2010; Maturana et al., 2010; Vroni et al., 2012; Vergara et al., 2015; Murara Júnior 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 MaxiTora (Novak; Silva, 2009; Serpe et al., 2018), CutLog (Tekl Studio, 2018), TimberLOG (Timber Vision, 2017) e Pitago Optimizers (2020). A maioria das soluções é baseada na programação linear, técnica aplicada para otimizar as dimensões das peças selecionadas em um trecho do tronco.

O CalcMadeira, software apresentado neste trabalho, oferece uma outra solução, ao simular padrões de corte aplicados a árvores ou toras individuais. Seus algoritmos usam regras trigonométricas (conceitos de corda, flecha,

seno e cosseno) ao invés de técnicas de otimização (Costa et al., 2019a, 2019b; Costa et al., 2020). O usuário escolhe as peças com as dimensões desejadas (comprimento, amplitudes de largura e espessura para madeira serrada), e seleciona o padrão de corte que será adotado na serraria, além de parâmetros gerais e específicos, conforme o modelo de desdobro.

Um dos padrões de corte implementados no software é o radial. Esse só é justificável, segundo Tuset e Duran, (1979), Fontes, (1994), Rocha, (2002), quando se deseja obter uma característica especial na madeira, como aspecto visual para decoração e em peças para instrumentos musicais. Talvez o fato mais importante para este tipo de corte está em atenuar os efeitos da instabilidade dimensional da madeira.

Segundo Del Menezzi e Nahuz (1998), o desdobro de eucalipto se baseia em técnicas de desdobro radial, onde são efetuados cortes radialmente às camadas de crescimento, gerando peças com faces no mesmo plano dos raios, e técnicas de desdobro tangencial, que geram peças tangenciais às camadas de crescimento. Mendoza (1995), citado por Rocha (2000), já mencionava que os modelos de corte mais utilizados para eucalipto são os orientados para a obtenção de peças radiais. Este tipo de corte tem sua importância embasada na redução dos efeitos das contrações, gerando peças mais estáveis.

Neste trabalho, objetivou-se validar o modelo de desdobro radial em toras, comparando a exatidão da quantidade e dimensão de peças de madeira calculada pelo software, e a obtida por desenhos na face das toras.

Material e Métodos

O modelo de corte radial divide a tora em quadrantes e executa o corte de peças, alternando as arestas dentro do quadrante, limitadas em duas fatias pelo ângulo de 45°. Os cálculos são realizados para um quadrante e multiplicados por 4 para a tora. Na Figura 1 é mostrado o padrão de corte radial.

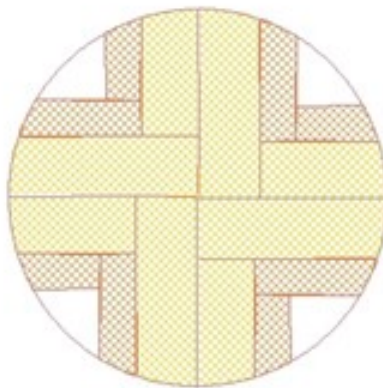


Figura 1. Padrão de corte radial

Os testes foram realizados em seis toras (Tabela 1), provenientes de árvores caídas de araucária e pinus, sendo três toras de araucária e três toras de pinus. As árvores estavam localizadas na Embrapa Milho e Sorgo em Sete Lagoas-MG.

Os dados de diâmetro mínimo e máximo e comprimento das toras foram introduzidos no cadastro de toras (Figura 2) para calcular as peças que serão extraídas de cada uma.

As peças cadastradas no software foram tábuas com larguras de 50 mm até o máximo permitido pelo diâmetro mínimo da tora, com passo de 5 mm, e espessura fixa de 27 mm.

Considerou-se 0,0% de casca (cálculos realizados na tora sem casca) e espessura da serra de 5 mm, referente ao consumo de madeira na operação de corte. Foram então calculadas as quantidades e larguras de peças por tora pelo software.

Tabela 1. Toras com diâmetros mínimo (d_{min}), máximo (d_{max}), comprimento, volume (v) e a distância entre a medula e o centro da circunferência (desvio da medula).

Tora	Diâmetro Mínimo (cm)	Diâmetro Máximo (cm)	Comprimento (m)	Volume (m^3)	Desvio da medula (cm)
1	35,5	44,5	2,38	0,3029	2,0
2	30,5	37,2	2,89	0,2626	4,0
3	28,7	31,5	1,51	0,1077	4,5
4	38,2	43,6	2,70	0,3563	5,3
5	55,0	60,5	1,93	0,5054	6,0
6	59,0	59,5	1,96	0,5390	6,5
				2,0739	

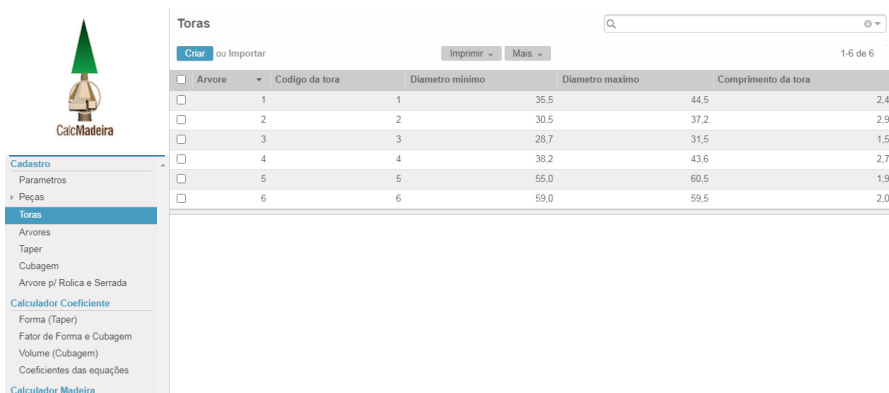


Figura 2. Entrada dos dados no software CalcMadeira.

De forma independente foram desenhadas na seção menor das toras peças com 32 mm de espessura, que corresponde aos 27 mm de espessura + 5 mm, considerando o consumo de madeira pela serra, e larguras até a extremidade da tora sem casca, em todos os quadrantes com ponto de origem na medula, que resultou em quadrantes de tamanhos diferentes.

Com as quantidades e as larguras calculadas e observadas de cada peça foram realizados testes de comparação entre as amostras calculadas e observadas (Kolmogorov-Smirnov).

A exatidão percentual da largura entre peças calculadas e observadas foi obtida pela (Eq. 1)

$$E\% = (L_{calc} - L_{obs})/L_{obs} \times 100 \quad \text{Eq. 1}$$

Sendo:

L_{obs} = Largura observada

L_{calc} = Largura calculada

Resultados e Discussão

Na Figura 3 são mostradas as peças desenhadas na seção menor das toras, com ponto de origem na medula, e na Tabela 2 são apresentados os resultados das peças calculadas e desenhadas por quadrante e por tora.



Figura 3. Seção das toras desenhadas com peças de 32 mm de espessura ($27 + 5$ mm) e larguras ≥ 50 mm.

Tabela 2. Largura calculada (Lcalc) e observada (Lobs) das peças, erro % associado a cada peça e o volume calculado (Vcalc) e observado (Vobs).

Tora	Quadr.	Peca	Esp. (mm)	Larg_ calc (mm)	Larg_ obs (mm)	Compr. (mm)	E %	Vcalc (m³)	Vobs (m³)
1	1	1	32	175	192	2.38	-9	0.0112	0.0123
1	1	2	32	140	154	2.38	-9	0.0090	0.0099
1	1	3	32	135	154	2.38	-12	0.0087	0.0099
1	1	4	32	100	112	2.38	-11	0.0064	0.0072
1	1	5	32	85	104	2.38	-18	0.0055	0.0067
1	1	6	32	55	62	2.38	-11	0.0035	0.004
1	2	1	32	175	192	2.38	-9	0.0112	0.0123
1	2	2	32	140	146	2.38	-4	0.009	0.0094
1	2	3	32	135	149	2.38	-9	0.0087	0.0096
1	2	4	32	100	110	2.38	-9	0.0064	0.0071
1	2	5	32	85	99	2.38	-14	0.0055	0.0064
1	2	6	32	55	59	2.38	-7	0.0035	0.0038
1	3	1	32	175	150	2.38	17	0.0112	0.0096
1	3	2	32	140	135	2.38	4	0.009	0.0087
1	3	3	32	135	107	2.38	26	0.0087	0.0069
1	3	4	32	100	85	2.38	18	0.0064	0.0055
1	3	5	32	85	54	2.38	57	0.0055	0.0035
1	4	1	32	175	152	2.38	15	0.0112	0.0098
1	4	2	32	140	144	2.38	-3	0.009	0.0093
1	4	3	32	135	114	2.38	18	0.0087	0.0073
1	4	4	32	100	98	2.38	2	0.0064	0.0063
1	4	5	32	85	65	2.38	31	0.0055	0.0042
2	1	1	32	150	188	2.89	-20	0.0117	0.0147
2	1	2	32	115	115	2.89	0	0.009	0.009
2	1	3	32	105	141	2.89	-26	0.0082	0.011
2	1	4	32	75	84	2.89	-11	0.0059	0.0066

Continua.

Tabela 2. Continua.

Tora	Quadr.	Peca	Esp. (mm)	Larg_ calc (mm)	Larg_ obs (mm)	Compr. (mm)	E %	Vcalc (m³)	Vobs (m³)
2	1	5	32	55	96	2.89	-43	0.0043	0.0075
2	2	1	32	150	126	2.89	19	0.0117	0.0098
2	2	2	32	115	88	2.89	31	0.009	0.0069
2	2	3	32	105	82	2.89	28	0.0082	0.0064
2	2	4	32	75	50	2.89	50	0.0059	0.0039
2	3	1	32	150	240	2.89	-38	0.0117	0.0187
2	3	2	32	115	128	2.89	-10	0.009	0.01
2	3	3	32	105	171	2.89	-39	0.0082	0.0133
2	3	4	32	75	94	2.89	-20	0.0059	0.0073
2	3	5	32	55	116	2.89	-53	0.0043	0.0091
2	4	1	32	150	128	2.89	17	0.0117	0.01
2	4	2	32	115	114	2.89	1	0.009	0.0089
2	4	3	32	105	84	2.89	25	0.0082	0.0066
2	4	4	32	75	63	2.89	19	0.0059	0.0049
3	1	1	32	140	136	1.51	3	0.0057	0.0055
3	1	2	32	105	80	1.51	31	0.0043	0.0033
3	1	3	32	95	87	1.51	9	0.0039	0.0035
3	2	1	32	140	114	1.51	23	0.0057	0.0046
3	2	2	32	105	77	1.51	36	0.0043	0.0031
3	2	3	32	95	66	1.51	44	0.0039	0.0027
3	3	1	32	140	155	1.51	-10	0.0057	0.0063
3	3	2	32	105	151	1.51	-30	0.0043	0.0062
3	3	3	32	95	130	1.51	-27	0.0039	0.0053
3	3	4	32	65	120	1.51	-46	0.0027	0.0049
3	3	5	32		93	1.51	-100	0	0.0038

Continua.

Tabela 2. Continua.

Tora	Quadr.	Peca	Esp. (mm)	Larg_ calc (mm)	Larg_ obs (mm)	Compr. (mm)	E %	Vcalc (m³)	Vobs (m³)
3	3	6	32		77	1.51	-100	0	0.0031
3	4	1	32	140	122	1.51	15	0.0057	0.005
3	4	2	32	105	130	1.51	-19	0.0043	0.0053
3	4	3	32	95	90	1.51	6	0.0039	0.0037
3	4	4	32	65	93	1.51	-30	0.0027	0.0038
3	4	5	32		52	1.51	-100	0	0.0021
4	1	1	32	185	250	2.7	-26	0.0135	0.0182
4	1	2	32	155	132	2.7	17	0.0113	0.0096
4	1	3	32	145	207	2.7	-30	0.0106	0.0151
4	1	4	32	115	105	2.7	10	0.0084	0.0077
4	1	5	32	100	155	2.7	-35	0.0073	0.0113
4	1	6	32	70	74	2.7	-5	0.0051	0.0054
4	1	7	32		105	2.7	-100	0	0.0077
4	2	1	32	185	250	2.7	-26	0.0135	0.0182
4	2	2	32	155	162	2.7	-4	0.0113	0.0118
4	2	3	32	145	204	2.7	-29	0.0106	0.0149
4	2	4	32	115	130	2.7	-12	0.0084	0.0095
4	2	5	32	100	158	2.7	-37	0.0073	0.0115
4	2	6	32	70	88	2.7	-20	0.0051	0.0064
4	2	7	32		94	2.7	-100	0	0.0069
4	3	1	32	185	142	2.7	30	0.0135	0.0104
4	3	2	32	155	125	2.7	24	0.0113	0.0091
4	3	3	32	145	100	2.7	45	0.0106	0.0073
4	3	4	32	115	75	2.7	53	0.0084	0.0055
4	4	1	32	185	150	2.7	23	0.0135	0.0109
4	4	2	32	155	154	2.7	1	0.0113	0.0112
4	4	3	32	145	115	2.7	26	0.0106	0.0084

Continua.

Tabela 2. Continua.

Tora	Quadr.	Peca	Esp. (mm)	Larg_ calc (mm)	Larg_ obs (mm)	Compr. (mm)	E %	Vcalc (m³)	Vobs (m³)
4	4	4	32	115	105	2.7	10	0.0084	0.0077
4	4	5	32	100	74	2.7	35	0.0073	0.0054
4	4	6	32	70	54	2.7	30	0.0051	0.0039
5	1	1	32	270	310	1.925	-13	0.014	0.0161
5	1	2	32	240	205	1.925	17	0.0125	0.0107
5	1	3	32	235	273	1.925	-14	0.0122	0.0142
5	1	4	32	200	225	1.925	-11	0.0104	0.0117
5	1	5	32	195	135	1.925	44	0.0101	0.007
5	1	6	32	160	176	1.925	-9	0.0083	0.0091
5	1	7	32	145	93	1.925	56	0.0075	0.0048
5	1	8	32	115	110	1.925	5	0.006	0.0057
5	2	1	32	270	198	1.925	36	0.014	0.0103
5	2	2	32	240	182	1.925	32	0.0125	0.0095
5	2	3	32	235	154	1.925	53	0.0122	0.008
5	2	4	32	200	132	1.925	52	0.0104	0.0069
5	2	5	32	195	106	1.925	84	0.0101	0.0055
5	2	6	32	160	80	1.925	100	0.0083	0.0042
5	3	1	32	270	319	1.925	-15	0.014	0.0166
5	3	2	32	240	261	1.925	-8	0.0125	0.0136
5	3	3	32	235	290	1.925	-19	0.0122	0.0151
5	3	4	32	200	239	1.925	-16	0.0104	0.0124
5	3	5	32	195	256	1.925	-24	0.0101	0.0133
5	3	6	32	160	203	1.925	-21	0.0083	0.0106
5	3	7	32	145	217	1.925	-33	0.0075	0.0113
5	3	8	32	115	164	1.925	-30	0.006	0.0085
5	3	9	32	95	174	1.925	-45	0.0049	0.009
5	3	10	32	65	124	1.925	-48	0.0034	0.0064

Continua.

Tabela 2. Continua.

Tora	Quadr.	Peca	Esp. (mm)	Larg_ calc (mm)	Larg_ obs (mm)	Compr. (mm)	E %	Vcalc (m³)	Vobs (m³)
5	3	11	32		125	1.925	-100	0	0.0065
5	3	12	32		79	1.925	-100	0	0.0041
5	3	13	32		64	1.925	-100	0	0.0033
5	4	1	32	270	229	1.925	18	0.014	0.0119
5	4	2	32	240	255	1.925	-6	0.0125	0.0133
5	4	3	32	235	195	1.925	21	0.0122	0.0101
5	4	4	32	200	210	1.925	-5	0.0104	0.0109
5	4	5	32	195	155	1.925	26	0.0101	0.0081
5	4	6	32	160	154	1.925	4	0.0083	0.008
5	4	7	32	145	102	1.925	42	0.0075	0.0053
5	4	8	32	115	91	1.925	26	0.006	0.0047
6	1	1	32	290	354	1.955	-18	0.0153	0.0187
6	1	2	32	260	309	1.955	-16	0.0137	0.0163
6	1	3	32	255	324	1.955	-21	0.0135	0.0171
6	1	4	32	225	286	1.955	-21	0.0119	0.0151
6	1	5	32	215	290	1.955	-26	0.0113	0.0153
6	1	6	32	180	256	1.955	-30	0.0095	0.0135
6	1	7	32	170	255	1.955	-33	0.009	0.0135
6	1	8	32	140	213	1.955	-34	0.0074	0.0112
6	1	9	32	120	225	1.955	-47	0.0063	0.0119
6	1	10	32	90	165	1.955	-45	0.0048	0.0087
6	1	11	32	65	175	1.955	-63	0.0034	0.0092
6	1	12	32		123	1.955	-100	0	0.0065
6	1	13	32		125	1.955	-100	0	0.0066
6	1	14	32		88	1.955	-100	0	0.0046
6	1	15	32		68	1.955	-100	0	0.0036

Continua.

Tabela 2. Continua.

Tora	Quadr.	Peca	Esp. (mm)	Larg_ calc (mm)	Larg_ obs (mm)	Compr. (mm)	E %	Vcalc (m³)	Vobs (m³)
6	2	1	32	290	347	1.955	-16	0.0153	0.0183
6	2	2	32	260	232	1.955	12	0.0137	0.0122
6	2	3	32	255	306	1.955	-17	0.0135	0.0162
6	2	4	32	225	199	1.955	13	0.0119	0.0105
6	2	5	32	215	260	1.955	-17	0.0113	0.0137
6	2	6	32	180	162	1.955	11	0.0095	0.0086
6	2	7	32	170	214	1.955	-21	0.009	0.0113
6	2	8	32	140	124	1.955	13	0.0074	0.0065
6	2	9	32	120	155	1.955	-23	0.0063	0.0082
6	2	10	32	90	83	1.955	8	0.0048	0.0044
6	2	11	32	65	86	1.955	-24	0.0034	0.0045
6	3	1	32	290	230	1.955	26	0.0153	0.0121
6	3	2	32	260	305	1.955	-15	0.0137	0.0161
6	3	3	32	255	199	1.955	28	0.0135	0.0105
6	3	4	32	225	269	1.955	-16	0.0119	0.0142
6	3	5	32	215	143	1.955	50	0.0113	0.0075
6	3	6	32	180	190	1.955	-5	0.0095	0.01
6	3	7	32	170	115	1.955	48	0.009	0.0061
6	3	8	32	140	136	1.955	3	0.0074	0.0072
6	3	9	32	120	60	1.955	100	0.0063	0.0032
6	3	10	32	90	62	1.955	45	0.0048	0.0033
6	4	1	32	290	225	1.955	29	0.0153	0.0119
6	4	2	32	260	231	1.955	13	0.0137	0.0122
6	4	3	32	255	156	1.955	63	0.0135	0.0082
6	4	4	32	225	185	1.955	22	0.0119	0.0098
6	4	5	32	215	144	1.955	49	0.0113	0.0076
6	4	6	32	180	135	1.955	33	0.0095	0.0071
6	4	7	32	170	106	1.955	60	0.009	0.0056

Aproximadamente 65% das peças obtiveram erro % em relação a largura entre -30 e 30 (Figura 4). Observam-se 12 peças com -100% de erro, quando foi possível obter a peça, mas o software não a calculou. Isso ocorreu porque o modelo radial realiza os cálculos a partir do centro da circunferência, que se pressupõe que seja aproximadamente central à medula, porém, as toras disponibilizadas para esse trabalho apresentavam deslocamentos da medula (Tabela 1), o que resultou em áreas diferentes das pressupostas pelo software.

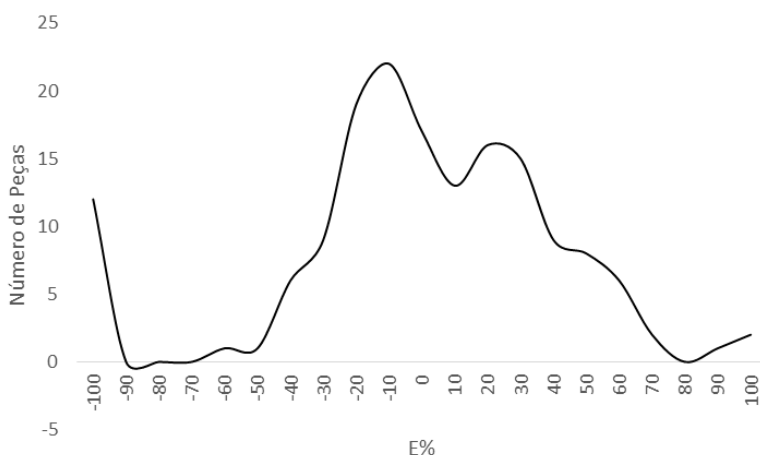


Figura 4. Frequência dos erros percentuais em classes de 10%.

Considerando não só a deformidade da tora, mas também seu diâmetro, verificou-se que toras maiores apresentaram maior desvio da medula (Tabela 1). Quanto maior o desvio da medula, maiores serão os erros positivos e negativos em razão do distanciamento entre quadrantes com origem na medula e originados do centro da tora. Para a face circular com a tora isenta de qualquer deformação, e a medula coincidente com o centro da tora, as larguras de peças calculadas e desenhadas seriam iguais, assim como a quantidade de peças entre ambas.

Na Figura 5 são apresentadas as distribuições de erro da maior para a menor largura de peças por quadrante em cada tora. A interpretação para a tora 1 é que nos quadrantes 1 e 2 a largura de peças desenhadas foi maior do que a de peças calculadas, invertendo-se o erro nos quadrantes 3 e 4. A face dessa tora apresenta o menor deslocamento de medula, 2 cm (Tabela 1), e boa circularidade, apresentando os menores erros, com exceção da peça 5 do quadrante 3. Há uma tendência, considerando também outras toras, de que o erro seja inversamente proporcional à largura da peça.

Os gráficos de erros de todas as toras demonstram as constatações do parágrafo anterior.

Na Figura 5 podemos observar erros de $\pm 100\%$. Quando esses erros são negativos, significa que foi possível observar peças a mais do que o software estimou, e, quando positivos, os valores observados foram metade do estimado.

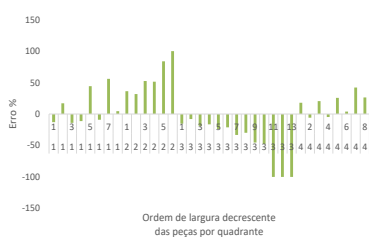
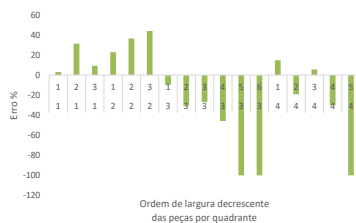
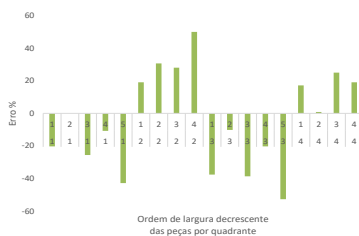
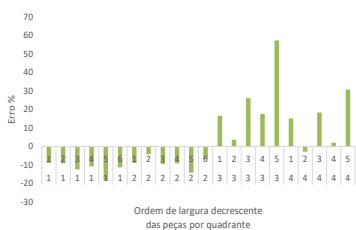


Figura 5. Erros % da largura de peças em ordem decrescente, por quadrante, para as toras (1 a 6).

Quando comparado o coeficiente de rendimento volumétrico (volume serrado/volume da tora) entre o volume observado e o volume calculado de peças serradas, podemos observar que a diferença entre eles não foi superior a 11% (Figura 6), ou seja, o deslocamento da medula não causou grandes desvios entre o rendimento calculado e observado.

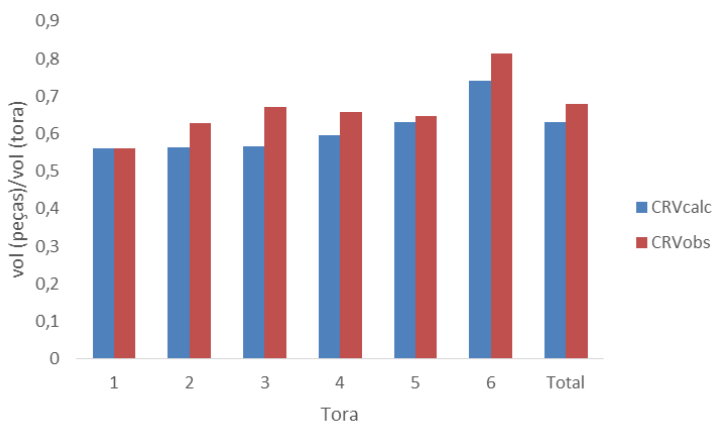


Figura 6. Coeficiente de Rendimento Volumétrico (CRV) para peças calculadas e observadas.

Ainda com os dados de largura calculada e observada, utilizou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov, um teste não paramétrico que consiste em medir a discrepância entre os valores observados e os valores estimados sob um modelo de probabilidade. Especificamente o teste utilizado foi o de Kolmogorov-Smirnov biamostrai, o mais difundido para comparação de duas amostras.

Para isso, os dados foram agrupados em classes de largura observada e largura calculada com amplitude de 10 mm. Foram calculadas as frequências acumuladas das larguras e foi inferido o valor máximo do módulo das diferenças entre as larguras observadas e estimadas (Tabela 4).

Tabela 4. Distribuições de frequência absoluta, relativa e relativa acumulada em classes de 10 mm de largura, e a estatística de Kolmogorov-Smirnov, considerando o conjunto de todas as toras.

Classe (mm)	Freq. Abs. Larg_calc (mm)	Freq. Abs. Larg_obs (mm)	Freq. Rel_calc	Freq. Rel_obs	Freq. Acum_calc	Freq. Acum_obs	Ki = Desvios
50	0	1	0.000	0.006	0.000	0.006	0.0063
60	4	5	0.027	0.032	0.027	0.038	0.0108
70	8	7	0.054	0.044	0.082	0.082	0.0006
80	4	8	0.027	0.051	0.109	0.133	0.0241
90	7	11	0.048	0.070	0.156	0.203	0.0461
100	12	10	0.082	0.063	0.238	0.266	0.0277
110	8	10	0.054	0.063	0.293	0.329	0.0366
120	14	9	0.095	0.057	0.388	0.386	0.0017
130	0	13	0.000	0.082	0.388	0.468	0.0806
140	15	7	0.102	0.044	0.490	0.513	0.0229
150	11	9	0.075	0.057	0.565	0.570	0.0050
160	8	13	0.054	0.082	0.619	0.652	0.0329
170	4	4	0.027	0.025	0.646	0.677	0.0310
180	8	4	0.054	0.025	0.701	0.703	0.0019
190	4	4	0.027	0.025	0.728	0.728	0.0000
200	8	6	0.054	0.038	0.782	0.766	0.0165
210	0	5	0.000	0.032	0.782	0.797	0.0152
220	4	3	0.027	0.019	0.810	0.816	0.0069
230	4	5	0.027	0.032	0.837	0.848	0.0114
240	8	4	0.054	0.025	0.891	0.873	0.0177
250	0	2	0.000	0.013	0.891	0.886	0.0051
260	8	5	0.054	0.032	0.946	0.918	0.0279
270	4	2	0.027	0.013	0.973	0.930	0.0424
280	0	1	0.000	0.006	0.973	0.937	0.0361
290	4	3	0.027	0.019	1.000	0.956	0.0443
300	0	0	0.000	0.000	1.000	0.956	0.0443
310	0	4	0.000	0.025	1.000	0.981	0.0190
320	0	1	0.000	0.006	1.000	0.987	0.0127
340	0	1	0.000	0.006	1.000	0.994	0.0063
350	0	1	0.000	0.006	1.000	1.000	0.0000
	147	158	1	1			

O maior valor de K-S foi de 0.0806, menor que o tabelado para o tamanho das amostras de 30 classes e nível de significância de 5%, o que consiste em aceitar H_0 . Assim podemos afirmar que as amostras totais calculadas e observadas apresentam estatisticamente a mesma distribuição de largura de peças em classes de 10 mm (Figura 7).

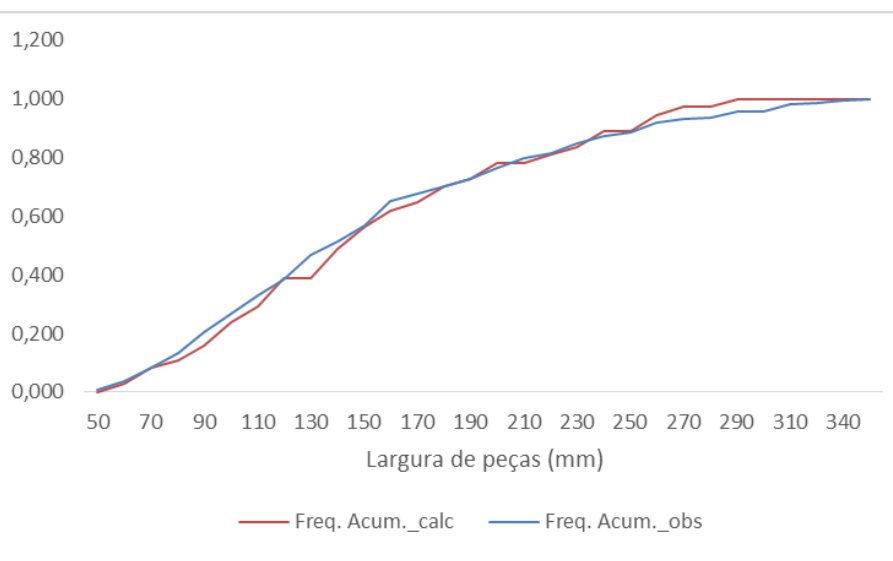


Figura 7. Distribuição das frequências acumulada e observada.

Conclusão

Na utilização do modelo radial implementado no CalcMadeira para obter produtos serrados a partir de árvores, o usuário precisa considerar as características de suas árvores, que incluem imperfeições, principalmente em relação ao deslocamento da medula. O resultado será um cálculo, que pode se transformar em uma estimativa próxima do esperado quando as árvores se aproximam de um sólido cônico com medula central próxima à circunferência, ou uma estimativa com maiores erros, para árvores que afastam-se deste padrão, pois o algoritmo implementado pressupõe que a medula esteja no centro da circunferência.

Patente

Certificado de Registro de Programa de Computador no INPI. Nº: BR512018001002-4 and Nº: BR512020002607-9. CalcMadeira 1.0

Agradecimentos

Esta pesquisa foi apoiada pelo projeto Nº 20.18.03.015.00.00 “Estratégia ILPF para inovação agropecuária na região do Cerrado Mineiro e áreas limítrofes - SisGerais”, e o desenvolvimento do software citado foi realizado em parceria com a empresa SIG Soluções Ltda.

Referências

- BRAZILIAN ASSOCIATION FOR MECHANICALLY PROCESSED TIMBER. **Abimci sectoral study**. 2016. Disponível em: <https://hanson-plywood.co.uk/wpcontent/uploads/2017/08/ABIMCI-2016-Sectoral-Study.pdf>. Acesso em: 18 set. 2020.
- BAESLER, F. F.; SEPULVEDA, J. A.; ARAYA, E.; RAMIS, F. J. The use of simulation and design of experiments for productivity improvement in the sawmill industry. In: INGALLS, R. G.; ROSSETTI, M. D.; SMITH, J. S.; PETERS, B. A. (ed.). **Proceeding of the 2004 Winter Simulations Conference**. [S.l.:

s.n.], 2004. p. 1218-1221. Disponível em: <https://informs-sim.org/wsc04papers/158.pdf>. Acesso em: 18 set. 2020.

BINOTI, D. H. B. **Sistemas computacionais aplicados ao manejo florestal**. 2012. 122 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Nº 474, de 06 de abril de 2016. Altera a Resolução no 411, de 6 de maio de 2009, que dispõe sobre procedimentos para inspeção de indústrias consumidoras ou transformadoras de produtos e subprodutos florestais madeireiros de origem nativa, bem como os respectivos padrões de nomenclatura e coeficientes de rendimento volumétricos, inclusive carvão vegetal e resíduos de serraria, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 2 maio 2016. Seção 1, p. 74.

CHICHORRO, J. F.; RESENDE, J. L. P.; LEITE, H. G. Equações de volume e de taper para quantificar multiprodutos da madeira em floresta atlântica. **Revista Árvore**, v. 27, n. 6, p. 799-809, 2003. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622003000600006>.

COSTA, T. C. C.; CAMPANHA, M. M.; FRANÇA, L. F. M. **Primeira validação do CalcMadeira, software para estimativa de peças de madeira roliça e serrada**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2019a. 24 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa, 194).

COSTA, T. C. C.; FRANÇA, L. F.; SANTOS, T. H. P. **Segunda validação do CalcMadeira: estimativa de peças serradas de desdobros empíricos**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020. 31 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 214).

COSTA, T. C. e C. da; CAMPANHA, M. M.; ALBERNAZ, W.; PINTO, E.; CASTRO, R.; FRANÇA, L. CalcMadeira: validation of sawn timber calculation by the Circumscript square (Block) and Longitudinal Methods. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 39, e201902043, p. 419, 2019b. Edição especial dos resumos do IUFRO World Congress, 25., 2019, Curitiba.

COSTA, T. C. e C. da; CAMPANHA, M. M.; GONTIJO NETO, M. M. **Quantificação de madeira roliça de eucalipto comparada a valoração em metro cúbico e lenha: opções de renda em sistemas de integração lavoura-**

-pecuária-floresta (iLPF). Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2016. 12 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 224).

DEL MENEZZI, C. H. S.; NAHUZ, M. A. R. Técnicas de desdobro utilizadas para madeira de eucalipto: uma revisão bibliográfica. **Revista Árvore**, v. 22, n. 3, p. 415-428, 1998.

FONTES, P. J. P. **Auto suficiência energética em serraria de Pinus e aproveitamento dos resíduos**. 1994. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1994.

HALABE, U. B.; GOPALAKRISHNAN, B.; JADEJA, J. Advanced lumber manufacturing model for increasing yield in sawmills using GPR-based defect detection system. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 56, p. 649-661, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-011-3205-x>.

HEINRICH, D. **Simulação da produção da madeira serrada**. 2010. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

INDUSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório anual 2020**. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf>. Acesso em: 18 dez. 2020.

LEITE, H. G. **Conversão de troncos em multiprodutos de madeira, utilizando programação dinâmica**. 1994. 230 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1994.

LIN, W.; KLINE, D. E.; AEAMAN, P.; WIEDENBERCK, J. K. Design and evaluation of log-to-dimension manufacturing systems using system simulation. **Forest Products Journal**, v. 45, n. 3, p. 37-44, 1995.

MATURANA, S.; PIZANI, E.; SCHEDULING, V. J. Production for a sawmill: a comparison of a mathematical model versus a heuristic. **Computers & Industrial Engineering**, v. 59, p. 667-674, 2010.

MURARA JÚNIOR, M. I.; ROCHA, M. P.; TRUGILHO, P. F. Estimativa do rendimento em madeira serrada de pinus para duas metodologias de desdobro. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 4, p. 556-563, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2013.037>.

NOVAK, R. S.; SILVA, A. C. L. Um sistema de otimização aplicado ao desdobro de madeira. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 41., 2009, Porto Seguro. **Pesquisa operacional na gestão do conhecimento**: livro de resumos/programa. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional, 2009. p. 3030-3040.

NUNES, G. V. P. **Algoritmos para geração de padrões de corte paralelo e radial no processamento de toras de madeira**. 2013. 77 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2013.

OLIVEIRA, E. B. de; HALISKI, M.; NAKAJIMA, N. Y.; CHANG, M. **Determinação da quantidade de madeira, carbono e renda da plantação florestal**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 37 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 220).

OLIVEIRA, E. B. **Softwares para manejo e análise econômica de plantações florestais**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 70 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 216).

PITAGO OPTIMIZERS. Disponível em: <https://pitago.eu/log-cut-en.php>. Acesso em: 10 dez. 2020.

ROCHA, M. P. da. ***Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunii* Maiden como fontes de matéria prima para serrarias**. 2000. 186 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

ROCHA, M. P. da. **Técnicas de planejamento em serrarias**. Curitiba: FUPEF, 2002. 121 p. (Série Didática, n. 02/01).

SERPE, E. L.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ARCE, J. E. Rendimento do desdobro de madeira em serraria convencional e diferentes simulações utilizando otimizador computacional. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 3, p. 103-108, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/biofix.v3i1.58058>.

SOARES, T. S.; VALE, A. B.; LEITE, H. G.; MACHADO, C. C. Otimização de multiprodutos em povoamentos florestais. **Revista Árvore**, v. 27, n. 6, p. 811-820, 2003.

STEELE, P. H. **Factors determining lumber recovery in sawmilling**. Madison: United States Department of Agriculture, 1984. 8 p. Genetics technical report.

TEKL STUDIO. **CultLog software**. Detva, 2018. Disponível em: <https://www.cutlog.com/index.php/downloads>. Acesso em: 21 ago. 2018.

TIMBER VISION. **TimberLOG**: log-and log class simulator 2017. Disponível em: http://www.timbervision.fi/timberlog_en.html. Acesso em: 10 dez. 2020.

TUSET, A.; DURAN, F. **Manual de madeiras comerciais**: equipos y proceso de utilizacions. Montevideo: Editorial Hemisfério Sul, 1979.

VERGARA, F. P.; PALMA, C. D.; SEPULVEDA, H. A comparison of optimization models for lumber production planning. **Bosque Valdivia**, v. 36, p. 239-246, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002015000200009>. Disponível em: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002015000200009&lng=es&nrm=iso. Acesso em: 18 set. 2020.

VORONIN, A.; KUZNETSOV, V.; ARKHIPOV, I.; SHABAEV, A. Software system for sawmill operation planning. In: BALANDIN, S. (ed.). **FRUCT'12**: proceeding of the 2012 12th Conference of Open Innovations Association FRUCT. Helsinki: Fruct Oy, 2012. p. 165-171. DOI: <http://dx.doi.org/10.23919/FRUCT.2012.8122101>.

Literatura Recomendada

ANJOS, R. A. M. dos; FONTE, A. P. N. Rendimento de madeira serrada de espécies de *Eucalyptus*. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 16, n. 1, p. 26-32, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5965/223811711612017026>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14807/2002**: peças de madeira serrada: dimensões. Rio de Janeiro, 2002.

BONATO JÚNIOR, A. I.; ROCHA, M. P. da; JUÍZO, C. G. F.; KLITZKE, R. J. Efeito do sistema de desdobro e das classes diamétricas no rendimento em madeira serrada de *Araucaria angustifolia*. **Floresta e Ambiente**, v. 24, p. 1-8, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.100414>. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2179-80872017000100166&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 18 set. 2020.

CUNHA, A. B. da; FRANÇA, M. C.; ALMEIDA, C. C. F. de; GORSKI, L.; CRUZ, R. C. da; 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. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v45i2.32570>.

JUÍZO, C. G.; ROCH, M. P.; BILA, N. F. Avaliação do rendimento em madeira serrada de eucalipto para dois modelos de desdobro numa serraria portátil. **Floresta e Ambiente**, v. 21, p. 543-550, 2014.

LIBRECAD: open source 2D-CAD. Disponível em: <https://librecad.org/>. Acesso em: 11 dez. 2020.

MANHICA, A. A.; ROCHA, M. P. da; TIMOFEICZYK JÚNIOR, R. Eficiência operacional no desdobro de Pinus utilizando modelos de corte numa serraria de pequeno porte. **Cerne**, v. 19, p. 339-346, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-77602013000200019>. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-77602013000200019&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 18 set. 2020.

OPTIMBER: otimização do desdobro de toras. Disponível em: <https://optimber.com.br/otimizacao-do-desdobro-de-toras>. Acesso em: 10 dez. 2020.

ROCHA, M. P.; TOMASELLI, I. Efeito do modelo de desdobro na qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii*. **Cerne**, v. 8, p. 70-83, 2002.



Milho e Sorgo



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL

