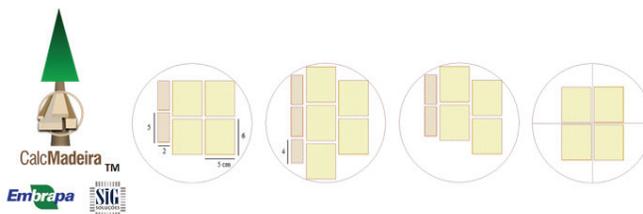


Primeira Validação do CalcMadeira, Software para Estimativa de Peças de Madeira Roliça e Serrada



Calculador de Madeira

Função: Cálculo desdobre longitudinal
 Projeto: 6 - Teste

Arvores: 3
 Volume total(m³): 1,0833
 Rendimento: 31,45
 Peças Serradas: Ripão Ripa Tabua

Código peça	Nome peça	Numero tora	Volume tora	Numero peça	Volume peça
2	Ripão	9	0,7329	26	0,2157
5	Ripa	0	0,0000	3	0,0097
7	Tabua	0	0,0000	1	0,0031
		9	0,7329	30	0,2285

Código peça	Nome peça	espes_serra	j	n	v	memora	V ₁	d1_casc2	d1_casc	di	arr	falta	l_sobra	ex_sobra		
2	Ripão	5,50	6,50	2	0,0196	1	0,1263	21,72	23,82	20,20	1	0	1,28	3,20		
2	Ripão	5,50	6,50	3	0,0279	1	0,1263	21,72	23,82	20,20	1	0	0,43	3,20		
5	Ripa	2,50	5,50	2	0,0052	1	0,0000	21,72	23,82	20,20	1	0	5,45	0,70		
5	Ripa	2,50	4,50	1	0,0025	1	0,0000	21,72	23,82	20,20	1	0	0,95	0,70		
2	Ripão	5,50	6,50	1	0,0093	2	0,1039	19,59	21,72	19,22	1	0	6,38	1,88		
						1	0,0078	2	0,1039	19,59	21,72	19,22	1	0	0,88	1,88
						2	0,0196	2	0,1039	19,59	21,72	19,22	1	0	5,12	1,88
						1	0,0031	2	0,0000	19,59	21,72	19,22	1	0	3,93	0,38
						1	0,0093	3	0,0834	17,43	19,59	16,21	1	0	4,96	0,46
						2	0,0196	3	0,0834	17,43	19,59	16,21	1	0	3,20	0,46
						1	0,0093	1	0,0877	17,96	19,99	16,71	2	0	5,31	0,81
						2	0,0196	1	0,0877	17,96	19,99	16,71	2	0	3,69	0,81
						1	0,0078	2	0,0698	15,91	17,96	14,79	2	0	4,96	4,96
						1	0,0062	2	0,0000	15,91	17,96	14,79	2	0	4,96	0,46
						1	0,0078	3	0,0538	13,81	15,91	12,84	2	0	3,58	3,58
						1	0,0047	3	0,0000	13,81	15,91	12,84	2	0	3,58	0,88
						1	0,0093	1	0,0843	17,72	19,50	16,48	3	0	6,15	0,68



Validação	1º		2º		3º	
	Quad Serr.	Circun. Calc.	Quad Serr.	Circun. Calc.	Longitudinal Serr.	Longitudinal Calc.
Tabua	27	27				
Viga	3	4				
Caibro	2	2				
Ripão			106	104		
Ripa			32	15	93	91
Rend. %	41	41	36	33	31	30

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

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
194**

**Primeira Validação do CalcMadeira,
Software para Estimativa de Peças
de Madeira Roliça e Serrada**

Thomaz Correa e Castro da Costa
Monica Matoso Campanha
Luiz Fernando Maciel França
Walfrido Machado Albernaz
Emanuel da Silva Pinto Junior

*Embrapa Milho e Sorgo
Sete Lagoas, MG
2019*

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
*Antonio Claudio da Silva Barros, Cynthia
Maria Borges Damasceno, Maria Lúcia
Ferreira Simeone, Roberto dos Santos
Trindade e Rosângela Lacerda de Castro*

Revisão de texto
Antonio Claudio da Silva Barros

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

Tratamento das ilustrações
Tânia Mara Assunção Barbosa

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Tânia Mara Assunção Barbosa

Foto da capa
Thomaz Correa e Castro da Costa

1ª edição
Publicação digitalizada (2019)

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

Costa, Thomaz Correa e Castro da.

Primeira validação do CalcMadeira, software para estimativa de peças de madeira roliça e serrada / Thomaz Correa e Castro da Costa, Mônica Matoso Campanha, Luiz Fernando Maciel França. -- Sete Lagoas : Embrapa Milho e Sorgo, 2019.

24 p. : il. -- (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1679-0154; 194).

1. Eucalipto. 2. Extração da madeira. 3. Produto florestal. 4. Software. I. Campanha, Mônica Matoso. II. França, Luiz Fernando Maciel. III. Título. IV. Série.

CDD 634.9 (21. ed.)

Sumário

Resumo	04
Abstract	05
Introdução.....	06
Material e Métodos	08
Resultados e Discussão	12
Conclusões.....	21
Agradecimentos.....	21
Referências	22

Primeira Validação do CalcMadeira, Software para Estimativa de Peças de Madeira Roliça e Serrada

Thomaz Correa e Castro da Costa¹

Monica Matoso Campanha²

Luiz Fernando Maciel França³

Walfrido Machado Albernaz⁴

Emanuel da Silva Pinto Junior⁵

Resumo – Na cadeia produtiva de madeira serrada, uma das demandas é a necessidade de quantificar produtos madeireiros que serão extraídos de árvores. Uma situação usual é a venda da madeira em pé. O produtor, por não saber quantas peças poderão ser beneficiadas de suas árvores, favorece o comprador com uma relação comercial desbalanceada. Com o intuito de auxiliar em negociações desta natureza, informando peças ao invés de metros cúbicos ou estéreo, foram testados resultados de um software com este propósito, o Calc**Madeira**. Os métodos de desdobro experimentados foram o do Quadrado Circunscrito (Bloco), e o Longitudinal (ou tangencial). Foram realizados ensaios com árvores de *Corymbia citriodora*, provenientes de sementes e de Urograndis Clone GG100 com 9 anos, que foram cubadas e desdobradas. Obtiveram-se erros totais na diferença entre peças calculadas e peças serradas em torno de 2% nos três testes.

Termos para indexação: multiprodutos, toras, eucalipto

¹ Eng.-Florestal, DSc. em Ciência Florestal, Embrapa Milho e Sorgo.

² Eng.-Agrôn., DSc. em Fitotecnia, Embrapa Milho e Sorgo.

³ Graduado em Sistemas para Internet, SIG Soluções em Informática Ltda.

⁴ Eng. Agrônomo, Extensionista, Emater - MG

⁵ Eng. Agrônomo, Extensionista, Emater - MG

First Validation of CalcMadeira, Software for Estimation of Round and Sawn Wood

Abstract – In the chain of production of sawn wood, one of the demands is the need to quantify wood products that will be extracted from trees. A common situation is the sale of standing timber. The farmer, because he does not know how many sawn timber can benefit from his trees, favors the buyer with an unbalanced commercial relation. In order to assist in negotiations of this nature, informing sawn timber instead of cubic meters or stereo, we have tested results of software for this purpose, the CalcMadeira. The methods tested for saw wood were the Circumscript Square (Block), and the Longitudinal (or tangential). Tests were performed with *Corymbia citriodora* trees from seeds and from Urograndis Clone GG100, at 9 years old, which were cubed and sawn. Total errors were obtained in the difference between calculated sawn timber and sawed parts around 2% in the three tests.

Index terms: multiproducts, timber, software.

Introdução

O mercado de madeira serrada apresentou tendência de queda em mais de 10 milhões de m³ em um período de 2007 a 2016 (Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente, 2016). A crescente oferta de florestas plantadas, principalmente de eucalipto, que já ocupa quase 8 milhões de hectares no Brasil (IBGE, 2016), é preferencialmente destinada para energia e celulose. Mas considerando o aumento da escassez de madeira serrada de florestas nativas, serrarias vêm experimentando o uso do eucalipto em substituição a espécies nativas, e lidando com fatores como a espécie, o manejo, a idade e os processos de desdobro, secagem e armazenamento, que são determinantes na qualidade final das peças de madeira serrada (Moraes Neto, 2017; Cunha et al., 2015; Juízo et al., 2014; Rocha; Tomaselli, 2002).

A oferta de florestas plantadas, com padronização das suas dimensões, favorece a construção de regras de negócio para solucionar problemas dos manejadores e processadores de madeira. Desta forma, com as informações geradas, a comercialização pode ser mais equilibrada. Esta avaliação advém de um mercado que valora a madeira em volume (metros cúbicos ou estéreos). O vendedor, pela dificuldade em estimar produtos madeireiros, ao vender a madeira em pé não sabe quantas peças poderão ser beneficiadas de suas árvores. Esta situação favorece uma relação comercial desvantajosa pois, sem saber a quantidade de peças de madeira que seu povoamento poderia render, dá ao comprador uma vantagem de aferir um lucro muito maior após o beneficiamento da madeira (Costa et al., 2016).

Ferramentas computacionais para estimar multiprodutos de árvores não são recentes. Em sua maioria, buscam a otimização entre madeira para energia, serraria e celulose, baseada em volume (Leite, 1994; Soares et al., 2003; Chichorro et al., 2003; Oliveira, 2011; Oliveira et al. 2011; Binoti, 2012), ou modelam e/ou simulam crescimento, produção florestal e desdobro de madeira, como o DynaTree, SigmaE (Leite, 1994), SisEucalipto (Oliveira, 2011), e RPF (Binoti, 2012). Com menor frequência existem experiências que simulam processos em serraria (Heinrich, 2010).

Mas soluções computacionais para o desdobro da madeira, que simulam sua conversão em peças serradas demandadas pela construção civil e

indústria moveleira, não estão disponíveis gratuitamente, com exceção do programa SigmaE, que inclui o modelo SawModel, para otimização do desdobro da madeira (Nunes, 2013). Dentre as aplicações comerciais estão o MaxTora, da empresa OpTimber, e o CutLog da empresa Tekl Studio (Tekl Studio, 2018). Em sua maioria, o fundamento da solução é por pesquisa operacional, técnica aplicada para otimização das dimensões de peças selecionadas em uma seção do tronco.

O CalcMadeira foi desenvolvido para simular métodos de desdobro convencionais. Suas rotinas utilizam relações trigonométricas, uma lógica diferente das técnicas de otimização. O usuário escolhe e prioriza as peças com as dimensões desejadas (comprimento, amplitudes de largura e espessura para madeira serrada), e seleciona, dentre quatro métodos de desdobro (Figura 1), aquele que será utilizado na serraria. Seu primeiro desenvolvimento foi em Visual Basic for Applications (VBA), registrado na sua 1ª versão, o CalcMadeira Eucalipto (Processo INPI nº: BR 51 2018 001002-4), que tem as seguintes rotinas: 1 - Calcula Peças Roliças, 2 - Calcula Peças Madeira Serrada (quadrado circunscrito), 3 - Calcula Peças Madeira Serrada (1/xD Costaneiras), 4 - Método Longitudinal com Costaneira Base, 5 - Calcula Peças Madeira Serrada (Radial).

Esta versão foi aprimorada para atender a prioridade de peças e dimensões definidas pelo usuário, simular o desdobro para outras espécies de reflorestamento, como *Khaya ivorensis*, *Toona ciliata*, *Corymbia citriodora*, *Pinus sp.*, e para calcular o desdobro de toras isoladas, sem exigência de uma função de afilamento, o que resultou em mais quatro rotinas, para desdobro de toras.

Nas rotinas de desdobro por árvore, o sistema tem internamente funções de afilamento (Kozak et al., 1969), de volumetria (Silva et al., 2009), que também podem ser geradas pelo usuário.

Neste trabalho, objetivou-se validar os métodos do Quadrado Circunscrito e Longitudinal (tangencial), aplicados em árvores de *Corymbia citriodora* e árvores do clone GG100, comparando a exatidão entre quantidade de peças de madeira calculada pelo software CalcMadeira, e a obtida pela serraria.

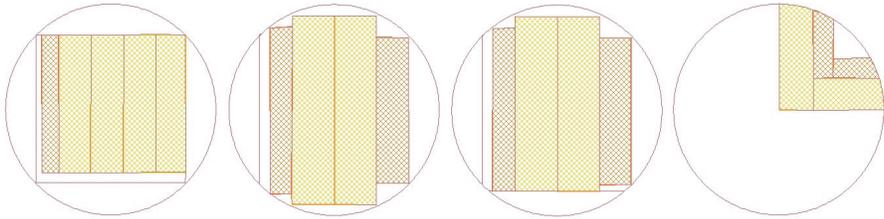


Figura 1. Métodos de desdobro implementados: Quadrado Circunscrito, Longitudinal, Longitudinal com costaneira base e Radial. Adaptado de Rocha e Tomaselli (2002) e Juízo et al. (2014).

Material e Métodos

Foram realizados três testes de desdobro: dois com desdobro por árvore e um com desdobro por tora (Tabela 1). Para os testes foram utilizadas 6 árvores de *Corymbia citriodora* de um povoamento com aproximadamente 50 anos na fazenda da Embrapa em Sete Lagoas-MG (1º e 3º ensaios), e 12 árvores do clone GG100 em sistema ILPF, em Maravilhas-MG (para o 2º ensaio). Para o clone foram cubadas 9 árvores para a equação de afilamento, sobrando três árvores para o desdobro. Os maquinários utilizados no desdobro foram serra de fita horizontal, serra de fita vertical, e serra circular de bancada, da marcenaria da Embrapa e de uma serraria em Matozinhos-MG.

Tabela 1. Diâmetro a 1,30 m do solo (dap, cm), altura total (Ht, m) e comercial (Hc, m) e espessura da casca (esp.casc., %) das árvores e parâmetros das peças selecionadas para execução dos ensaios de desdobro.

Ensaio	1º	2º	3º
Material	<i>Corymbia citriodora</i>	GG100	<i>Corymbia citriodora</i>
dap/Ht/Hc/esp.casc (%)	1ª arv. 24/ 25,2/ 10,7/ 8,7 2ª arv. 21 / 22/ 11,3/ 4,8 3ª arv. 19,5/ 24,4/ 11,4/ 8,5	26,8/ 29,6/ 29,6/ 4,2 23,6/ 29,5/ 29,5/ 5,2 23,5/ 30,8/ 30,8/ 4,8	24,1/ 18,9/ 11,1/ 8,6 18,8/ 19,3/ 10,0/4,3 20,1/ 19,4/ 9,5/ 8,9
Altura do toco (cm)	30	15	30
Forma	Eq. Taper/árvore	Eq. Taper/9 arvores	Med. nas toras
Quantidade	5 toras da 1ª árvore 5 toras da 2ª árvore 6 toras da 3ª árvore	6 toras da 1ª árvore 6 toras da 2ª árvore 7 toras da 3ª árvore	3 toras da 1ª árvore 3 toras da 2ª árvore 3 toras da 3ª árvore
Comprimento da tora (m)	2	3,1	3,1
Peças desdobradas	Pranchão (16 – 100 cm) x (7 – 7 cm) Prancha (16 – 100 cm) x (4 – 7 cm) Tábua (10- 100 cm) x (1 – 4 cm) Viga (8 – 16 cm) x (4 – 8 cm) Pontaletes (7 – 8 cm) x (7 – 8 cm) Caibro (5 – 8 cm) x (4 – 8 cm) Ripão (5 – 7 cm) x (2 -2 cm) Ripa (2 – 5 cm) x (1 – 2 cm) Sarrafo(2 – 10 cm) x (2 – 4 cm)	Ripão (3 x 5 cm) Ripa (2 x 4 cm) Tábua (10 x 3 cm)	Ripa (2 x 4 cm)
Prioridade de desdobro	Por tamanho	Escolha do usuário	Escolha do usuário
Método de desdobro	Quadrado circunscrito	Quadrado circunscrito	Longitudinal

Utilizou-se o modelo $(\frac{d_i}{d_{ap}})^2 = b_0 + b_1(\frac{h_i}{h_t}) + b_2(\frac{h_i}{h_t})^2$ (Kozak et al., 1969), sendo d_i = diâmetro em qualquer seção do tronco, d_{ap} = diâmetro a 1,3 m do solo, h_i = altura correspondente a d_i , e h_t = altura total da árvore, para ajustar as equações de afilamento por árvore no 1º ensaio, e com 9 árvores no 2º ensaio.

Os dados necessários para executar as rotinas de desdobro são dimensões das peças: comprimento, largura e espessura; e dimensões na árvore: d_{ap} , altura total e comercial, e espessura da casca medida em cada seção da tora, sendo considerada a média por árvore. Nos módulos por tora, os parâmetros são diâmetro menor, diâmetro maior e comprimento da tora. A perda de madeira, estabelecida pela espessura de serra, foi de 0,5 cm, parâmetro informado ao software conforme o tipo de serra.

No 1º ensaio adotou-se a regra da prioridade de peças de maior dimensão em largura e espessura para peças de menores dimensões, informadas na NBR 14807. As peças a serem desdobradas, definidas pelo software, foram desenhadas na seção menor de cada tora, antes do desdobro (Figura 2). Na seção foram medidos os diâmetros com casca ($d_{i_casc_t}$) e a largura da peça (L_t), enquadrada na seção sem casca.

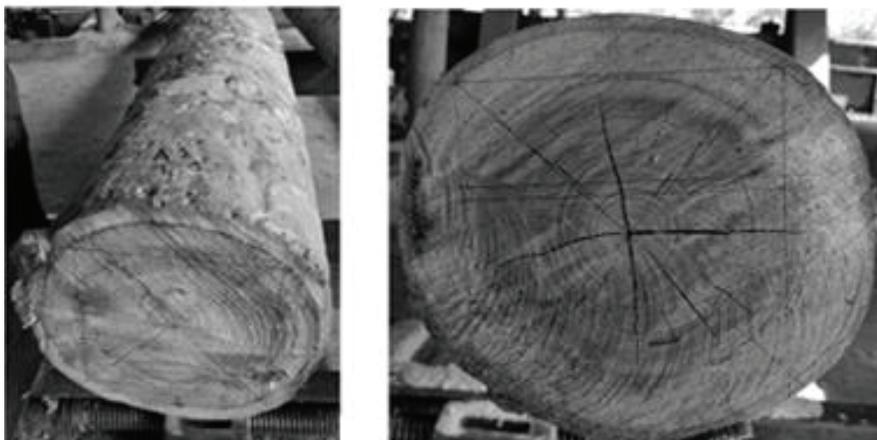


Figura 2. Seção menor da tora com desenho das peças calculadas para o desdobro.

As peças serradas foram mensuradas na largura (L_d) e espessura (es_d), nas extremidades e no meio da peça, somente no 1º ensaio (Figura 3).



Figura 3. Peças desdobradas no 1º ensaio.

O 2º e o 3º ensaio seguiram o procedimento operacional, sem o desenho de peças nas toras, e sem informar a quantidade de peças ao operador. A serraria informou as peças do seu interesse, com suas dimensões, e estabeleceu a prioridade entre elas. A largura e a espessura das peças nestes ensaios não foram medidas em função da uniformidade na produção, obtendo-se somente a quantidade de peças por tora. Em todos os ensaios foram anotadas imperfeições, como tortuosidade, e rachaduras durante o processo.

Foi avaliada a exatidão (Ex) entre as dimensões calculadas pelo software e reais das toras para o diâmetro com casca (di_casc), para o volume (vr) e para a largura das peças medida na tora (L_t), pela fórmula: .

$$Ex\% = \left(\frac{\text{Calculado} - \text{Medido na tora}}{\text{Medido na tora}} \right) \times 100 .$$

A exatidão para as dimensões das peças desdobradas foi obtida em relação às medidas calculadas pelo software:

$Ex\% = \left(\frac{\text{Medido na peça desdobrada} - \text{Calculado}}{\text{Calculado}} \right) \times 100$, para espessura (es_d), largura (L_d) e volume (v) das peças serradas no 1º ensaio.

No 3º ensaio, como as medidas das toras foram fornecidas ao software, somente a diferença entre a quantidade de peças calculada (nc) e a quantidade de peças desdobradas (nd) foi avaliada.

Resultados e Discussão

As equações de Taper aplicadas no 1º ensaio foram:

$$di_casc = (1.04317139 \ 756795 \ -1.15251507 \ 113576 \ x \frac{hi}{ht} + 0.74560887 \ 3884745 \ x \left(\frac{hi}{ht}\right)^2) \times dap$$

com $R^2=98,5\%$, para a árvore 1;

$$di_casc = (1.10041792 \ 322808 \ -1.46182396 \ 963 \ x \frac{hi}{ht} + 0.77535958 \ 077 \ x \left(\frac{hi}{ht}\right)^2) \times dap$$

com $R^2=98,6\%$, para a árvore 2 e;

$$di_casc = (1.04934898 \ 366772 \ -1.01123933 \ 349793 \ x \frac{hi}{ht} - 0.23179782 \ 5742175 \ x \left(\frac{hi}{ht}\right)^2) \times dap$$

com $R^2=99,3\%$, para a árvore 3.

E a equação de Taper aplicada no 2º ensaio foi:

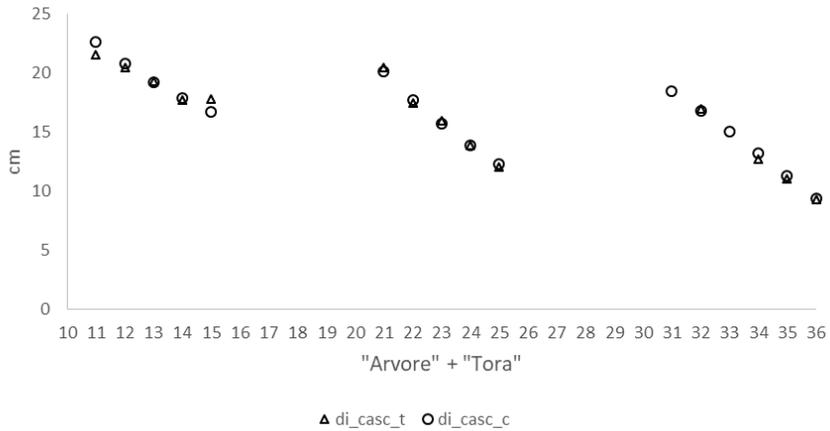
$$di_casc = \sqrt{1.03698591 \ 927493 \ -1.45223087 \ 205717 \ x \frac{hi}{ht} + 0.42822094 \ 7928028 \ x \left(\frac{hi}{ht}\right)^2} \times dap$$

com $R^2=99\%$, para as três árvores.

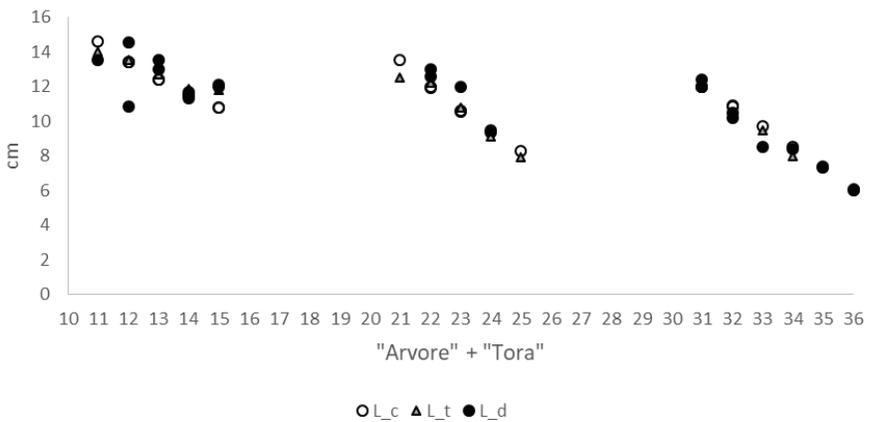
Na Figura 4.1 são comparados o diâmetro com casca calculado e o diâmetro com casca medido na tora, com maior dispersão na primeira e última toras da árvore 1. Na Figura 4.4, visualizam-se os volumes calculado e medido da tora (v_r), com maiores dispersões para a árvore 1 e para a 1ª tora da árvore 2.

No desdobro, a Figura 4.2 mostra a largura programada da peça (L_c) e as larguras medidas na tora (L_t) e nas peças desdobradas (L_d). As maiores dispersões ocorreram na L_d .

As comparações entre espessura programada (es_c) e espessura obtida nas peças desdobradas (es_d), e entre volumes calculados (v_c) e obtidos nas peças desdobradas (v_d) estão representadas nas Figuras 4.3 e 4.4. As maiores divergências ocorreram na espessura, pois um fator não controlado na operação de desdobro causou esta variação, por causa da oscilação da tora no trilho do engenho durante seu curso. Um maquinário menos rústico aumentaria a exatidão entre as espessuras programada e executada.

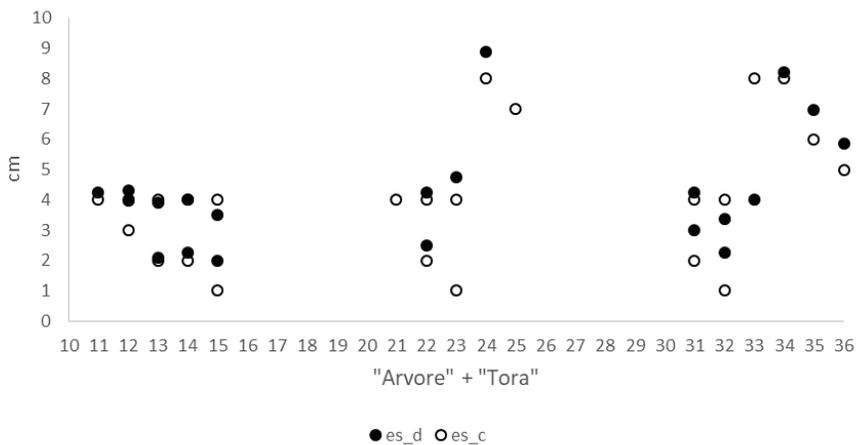


(1)

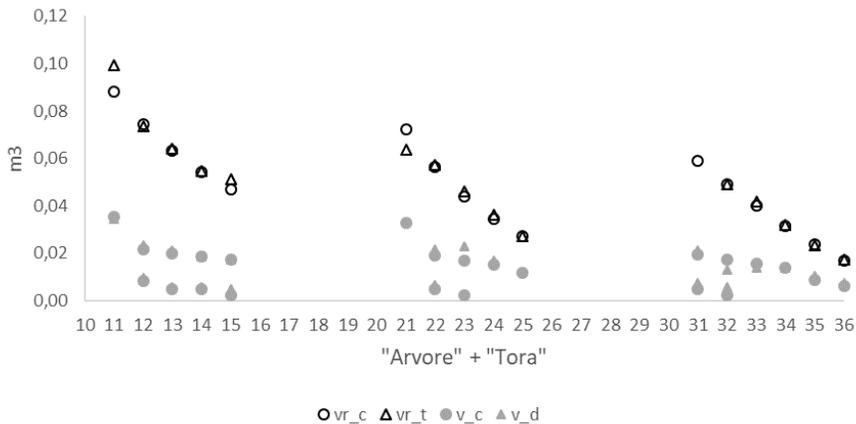


(2)

Figura 4. Valores medidos e calculados de diferentes propriedades das toras e peças do 1º ensaio. (1) Dispersão do diâmetro medido na tora (di_casc_t), diâmetro calculado (di_casc_c); (2) Largura programada da peça (L_c), largura da peça medida na tora (L_t), largura da peça serrada (L_d); (3) espessura da peça serrada (es_d), espessura programada da peça (es_c); (4) volume calculado da tora (vr_c), volume obtido da tora (vr_t), volume calculado da peça, volume obtido da peça (v_d).



(3)



(4)

Figura 4 cont. Valores medidos e calculados de diferentes propriedades das toras e peças do 1º ensaio. (1) Dispersão do diâmetro medido na tora (di_casc_t), diâmetro calculado (di_casc_c); (2) Largura programada da peça (L_c), largura da peça medida na tora (L_t), largura da peça serrada (L_d); (3) espessura da peça serrada (es_d), espessura programada da peça (es_c); (4) volume calculado da tora (vr_c), volume obtido da tora (vr_t), volume calculado da peça, volume obtido da peça (v_d).

Na Tabela 2 está contida a exatidão entre as variáveis apresentadas na Figura 4. O menor viés ocorre entre os resultados calculados e medidos na tora, sem interferência do desdobro. Para as variáveis diâmetro com casca (di_casc) e largura da peça medida na tora (L_t) não ocorreu exatidão acima de 10%, e para volume da tora (vr) não ocorreu exatidão acima de 15%. Já resultados do desdobro comparados aos programados das peças são os menos exatos. Nenhum valor de exatidão de largura da peça desdobrada (L_d) ficou acima de 20%, mas espessura e vr obtiveram 7 e 6 valores, respectivamente, acima de 20% de exatidão.

Na comparação entre quantidade de peças desdobradas e calculadas (nd-nc) (Tabela 2), ocorreram pequenas divergências. Na árvore 2, tora 3, o comprimento residual ficou menor do que a espessura de 1 cm para desdobro da última tábuca calculada, e não houve aproveitamento de peças da tora 5 devido à sua tortuosidade. Na árvore 3 o software selecionou "Viga", mas foi possível retirar duas tábuas, que são superiores na ordem de prioridade de peças. Para as demais toras, a demanda quanto ao tipo de peças foi exatamente atendida nas dimensões programadas.

O software calculou 27 tábuas, 4 vigas e 2 caibros, com volume de 0,2891 m³ e volume total de toras de 0,7072 m³ (rendimento de 40,9%). No desdobro foram obtidas 27 tábuas, 3 vigas e 2 caibros, com volume total de 0,2991 m³ e volume total de toras de 0,7362 m³ (rendimento de 40,6%)

Tabela 2. Número de peças calculadas (nc) e desdobradas (nd), exatidão % entre diâmetro calculado e medido na tora (di_casc), largura programada da peça e medida na tora (L_t), volume calculado e volume medido na tora (vr); espessura da peça desdobrada e programada (es), largura da peça serrada e programada (L_d), volume da peça serrada e calculado (v); e diferença entre quantidade de peças desdobradas e calculadas (nd-nc), no 1º ensaio.

01 "Árvore"	Peça	nc	nd	Exatidão %						nd-nc
				di_casc	L_t	vr	es	L_d	v	
11	Tábua	3	3	4.9	4.5	-11.2	6.0	-7.4	-2.2	0
12	Tábua	2	2	1.6	-0.7	0.9	-0.5	8.0	7.6	0
12	Tábua	1	1				43.3	-19.2	15.8	0
13	Tábua	2	2	-0.6	-2.2	-1.9	-2.3	9.1	6.6	0
13	Tábua	1	1				4.0	4.9	9.1	0
14	Tábua	2	2	0.9	-2.7	-0.9	0.0	1.1	1.1	0
14	Tábua	1	1				12.5	-1.7	19.2	0
15	Tábua	2	2	-6.2	-8.5	-8.5	-12.5	12.4	-1.5	0
15	Tábua	1	1				100.0	11.2	122.3	0
1/21	Tábua	3	-	-1.9	8.3	13.3				
22	Tábua	2	2	1.5	-2.0	-1.2	6.3	5.4	12.0	0
22	Tábua	1	1				25.0	8.3	35.4	0
23	Tábua	2	2	-1.7	-2.2	-5.0	18.8	13.7	35.0	0
2/23	Tábua	1	0							-1
24	Viga	1	1	0.2	2.6	-4.8	11.3	1.7	13.2	0
3/25	Viga	1	0	2.3	4.4	-0.7				-1
31	Tábua	2	2				6.3	3.6	10.0	0
31	Tábua	1	1				50.0	0.0	50.0	0
32	Tábua	2	2	-1.2	3.5	0.3	-15.6	-3.7	-25.6	0
32	Tábua	1	1				125.0	-6.4	164.9	0
4/33	Viga	1	2		2.4	-4.5	-50.0	-12.3	-12.3	1
34	Viga	1	1	3.5	6.7	-2.2	2.6	-1.9	1.1	0
35	Caibro	1	1	2.3	-1.2	1.8	16.4	0.8	17.9	0
36	Caibro	1	1	1.1	-1.6	-3.8	17.5	-0.8	19.4	0
Total		33	32							-1

⁰¹ O número à esquerda indica o número da árvore e o número à direita o número da tora. ^{1/}Tora não desdobrada em razão de o comprimento ter sido menor do que o limite mínimo para o engenho (2 metros). ^{2/}Não foi possível desdobrar a última peça: tábua calculada. ^{3/}Tortuosidade da tora impediu o desdobro. ^{4/}O cálculo indicou um viga, mas, no desdobro, foram obtidas duas tábuas.

Os resultados do 2º ensaio, pelo método do quadrado circunscrito, são apresentados na Figura 5 e na Tabela 3. A perda de exatidão para o volume de tora (vr) é devida ao ajuste de uma equação de forma que não é específica da árvore. Ocorreram 14 resultados com viés acima de 10% em 19 dados. Os valores de exatidão para o diâmetro com casca (di_casc), embora com poucos resultados acima de 10%, apresentaram imprecisão maior comparada ao 1º ensaio.

Na comparação entre a quantidade de ripões serrados e calculados, o maior viés ocorreu na árvore 1, tora 2, com 6 peças serradas a mais. Não se encontrou justificativa para essa diferença. As diferenças de 5 e 3 peças nas toras 1 e 4 da árvore 3 foram causadas pelos defeitos nas toras (rachaduras e tortuosidade). A soma de ripões com ripas nessas toras chegam aos valores exatos de 8 e 6 peças, respectivamente. Houve perda de identificação da árvore e da tora em 11 ripas, de forma que existe a probabilidade de uma ou mais dessas peças terem sido originadas de qualquer tora.

No total foram calculados 104 ripões e 15 ripas, com volume de 0,5208 m³ e rendimento de 30,6%. Tanto o programa como a serraria não obtiveram tábuas, por causa da regra de prioridade. Ao enquadrar 1º ripões, e secundariamente ripas com 2 cm, a próxima peça só será tábua se a espessura residual enquadrar entre 1 e 2 cm, com um diâmetro que enquadre a largura suficiente para tábua (>10,5 cm). Os dados observados no desdobro foram 106 ripões e 32 ripas, com volume de 0,5723 m³ e rendimento de 37,2%.



Figura 5. Peças desdobradas no 2º ensaio, à esquerda, e ripões e ripas após passagem das peças desdobradas na serra circular, à direita.

Tabela 3. Número de peças calculadas (nc) e desdobradas (nd), exatidão % do diâmetro com casca (di_casc), exatidão percentual do volume da tora (vr), erro de peças calculadas (nd-nc) no 2^a ensaio.

	0/“Arvore”	“Tora”	Peça	nc	nd	Exatidão %		nd-nc
						di_casc	vr	
	11		Ripão	12	13	7,2	-0,9	1
	11		Ripa	3	1			-2
	12		Ripão	8	14	9,6	17,3	6
	13		Ripão	8	9	7,9	18,3	1
	14		Ripão	6	4	9,8	18,4	-2
	15		Ripão	6	6	12,0	22,9	0
	16		Ripão	2	3	10,9	24,3	1
	16		Ripa	2	1			-1
	21		Ripão	8	9	3	-2,2	1
	21		Ripa	0	3			3
	22		Ripão	6	8	8,3	11,2	2
	22		Ripa	3	2			-1
	23		Ripão	6	4	5,3	14,1	-2
	23		Ripa	0	1			1
	24		Ripão	6	3	6,3	11,8	-3
	25		Ripão	2	3	7,4	14,0	1
	25		Ripa	2	0			-2
	26		Ripão	2	2	13,2	21,0	0
	26		Ripa	0	1			1
	31		Ripão	8	3	6,0	-0,8	-5
	¹ 31		Ripa	0	5			5
	32		Ripão	6	8	7,9	14,3	2
	32		Ripa	3	2			-1
	33		Ripão	6	7	4,4	12,8	1
	33		Ripa	0	1			1
	34		Ripão	6	3	6,1	10,7	-3
	¹ 34		Ripa	0	3			3
	35		Ripão	2	3	5,2	11,7	1

Tabela 3 cont. Número de peças calculadas (nc) e desdobradas (nd), exatidão % do diâmetro com casca (di_casc), exatidão percentual do volume da tora (vr), erro de peças calculadas (nd-nc) no 2º ensaio.

0/"Árvore" "Tora"	Peça	nc	nd	Exatidão %		nd-nc
				di_casc	vr	
35	Ripa	2	1			-1
36	Ripão	2	4	2,7	8,2	2
37	Ripão	2	0		9,8	-2
	² Ripa		11			11
Total		119	138			19

⁰/ O número à esquerda indica o número da árvore e o número à direita o número da tora.

¹/ peças rachadas, tronco tortuoso (aproveitamento com ripas).

²/ sem identificação da tora e da árvore.

As peças brutas e finais (ripas) obtidas pelo método do desdobro longitudinal no 3º ensaio podem ser visualizadas na Figura 6 e na Tabela 4, onde é mostrado o resultado por tora. A maior diferença ocorreu na tora 2 da árvore 4, com 6 peças calculadas a menos em relação ao desdobro. No total foram calculados pelo Calc**Madeira** 91 ripas, com volume de 0,2257 m³ e rendimento de 30,1%. Os resultados obtidos no desdobro foram de 93 ripas, rendimento de 30,4%. A diferença entre peças desdobradas e calculadas por tora variou de -6 a 3.



Figura 6. Peças desdobradas no terceiro ensaio, à esquerda, e ripas após passagem na serra circular, à direita.

Tabela 4. Número de peças calculadas (nc) e serradas por tora (nd), e diferença entre peças desdobradas e calculadas (nd-nc) no 3º ensaio.

0/“Arvore” “Tora”	Peça	nc	nd	nd-nc
41		20	17	3
42		13	19	-6
43		10	7	3
51		10	12	-2
52	Ripa	9	9	0
53		3	1	2
61		13	15	-2
62		9	9	0
63		4	4	0
9		91	93	

^{0/} O número à esquerda indica o número da árvore e o número à direita o número da tora.

No 1º teste, o CalcMadeira errou na seleção da peça 3 vezes em 33 (9% de erro). Na comparação com largura das peças serradas, a margem de erro ficou abaixo de 20%. As margens de erro aumentaram na comparação da espessura das peças, tendo como causa as imprecisões no procedimento de desdobro.

No 2º teste, pelo fato de o método do desdobro não ter sido exatamente o quadrado circunscrito, a habilidade do operador aumentou o rendimento com produção de ripas na área das costaneiras. Contribuíram ainda peças rachadas no desdobro.

Esses fatores aumentaram o rendimento de ripas, tornando menos exato o número calculado, com 53% de erro. Por outro lado, toras sem defeito elevariam a produção de ripões, tornando menos exata a quantidade calculada, que foi de apenas duas peças (106-104), ou 2% de erro. Este mesmo erro percentual total de 2% repetiu-se no 3º teste, operando-se diretamente o desdobro longitudinal em toras, sem funções de afilamento.

Embora algumas operações de desdobro praticadas em serrarias sejam empíricas, como a utilizada em Anjos e Fonte (2017), não seguindo exatamente o padrão de desdobro modelado pelo software, e ocorram alterações naturais

que afetam a forma modelada, o software obteve, com a ausência de viés nestes ensaios, razoável exatidão na produção de peças desdobradas por toras nos três testes.

O cálculo com operações trigonométricas é exato para obter número e volume de peças em um sólido com conicidade. Os erros obtidos são referentes ao distanciamento entre o sólido modelado e o real fuste da árvore, os defeitos da madeira no processo (rachaduras, lascas, madeira oca, etc), a exatidão do parâmetro de consumo de madeira pelas serras, e a variação entre o modelo de desdobro teórico e o praticado na serraria.

Desta forma, o ensaio com maior aproximação ao modelo teórico foi o 1º, por causa das equações de forma estimadas por árvore, e a execução rigorosa do modelo de desdobro, com marcação das peças calculadas nas toras.

Conclusões

A função de desdobro pelo método do Quadrado Circunscrito (Bloco) pode ser usada para estimativas de desdobro. Já para procedimentos de desdobro empíricos, que se aproximam do bloco, espera-se uma subestimação em peças menores, pelo maior aproveitamento das costaneiras. A rotina de desdobro pelo método Longitudinal apresentou pequeno erro para quantidade de peças de um único tipo.

Consideram-se, portanto, promissores os resultados gerados pelo Calc**Madeira**, como informação prévia de desdobros pelos métodos do bloco e longitudinal, gerando erros totais em torno de 2, 3 e 14% nos três testes. Testes com maior variação do diâmetro, em outras espécies, e com maior número de árvores poderão aumentar a segurança do uso desta aplicação.

Agradecimentos

Ao projeto “SisCerrado - Produtividade madeireira no SIs e em sistemas de referência de modelos físicos de longa duração”; a Miguel Gontijo, pelos meios fornecidos a este projeto de desenvolvimento; Reginaldo Azevedo Pereira, pelo apoio nos testes de validação; Sara de Almeida Rios, pela

construção do processo do INPI; Leonardo Pereira da Rocha, João Garcia e Sidney Parentoni, pela solução do contrato com a SIG Informática Ltda; a Myriam Maia Nobre, pelo processo de registro da marca; Natalia Santos Fois, Enilda Alves Coelho e Fábio Hitoshi Ide, pelo apoio nos processos do NTI; Diego de Oliveira Carvalho, pela elaboração do Plano de Negócios; Felipe Henrique Figueiredo e Rafael de Deus Ribeiro, da SIG Informática, pelo suporte na conversão dos algoritmos para a linguagem Python; Renato Vinícius de Oliveira Castro, Renato da Silva Vieira, Marina Donária Chaves Arantes, da UFSJ, pelas parcerias vinculadas ao desenvolvimento desta ferramenta; e a José Heitor Vasconcellos, Vanderley Porfírio da Silva e Edilson Batista de Oliveira, pela parceria e por darem visibilidade a esta ferramenta.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Estudo setorial**. Curitiba, 2016.

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.

BINOTI, D. H. B. **Sistemas computacionais aplicados ao manejo florestal**. 2012. 113 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012.

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.

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).

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, abr./jun. 2015.

HEINRICH, D. **Simulação da produção da madeira serrada**. 2010. 157 p. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

IBGE. **Produção da extração vegetal e da silvicultura**: tabelas completas: grandes regiões e Unidades da Federação. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pevs/2015/default_xls.shtm>. Acesso em: 16 jun. 2016.

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, n. 4, p. 543-550, 2014.

KOZAK, A.; MUNRO, D. D.; SMITH, J. G. H. Taper functions and their applications in forest inventory. **Forest Chronicle**, v. 45, n. 4, p. 278-283, 1969.

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

MORAES NETO, S. P. de. **Madeira de eucalipto para serraria**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2017. 56 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 340).

NUNES, G. V. P. **Algoritmos para geração de padrões de corte paralelo e radial no processo de toras de madeira**. 2013. 77 p. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) - 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).

ROCHA, M. P.; TOMASELLI, I. Efeito do modelo de desdobro na qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii*. **Cerne**, v. 8, n. 2, p. 70-83, 2002.

SILVA, M. L. M.; BINOTI, D. H. B.; GLERIANI, J. M.; LEITE, H. G. Ajuste do modelo de Schumacher e Hall e aplicação de redes neurais artificiais para estimar volume de árvores de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 33, n. 6, p. 1133-1139, 2009.

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.

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

Embrapa

Milho e Sorgo



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL