



**24**

**CalcMadeira: Sistema para  
estimativa de  
peças de madeira roliça e  
serrada**

Thomaz Correa e Castro da Costa  
Monica Matoso Campanha  
Luiz Fernando Maciel França

## Introdução

O mercado de madeira roliça de florestas plantadas (mourões, esticadores, postes, madeira para escoramento na construção civil, em estruturas de entretenimento, em telhados) está em crescimento, enquanto a produção e o consumo de madeira serrada apresentou tendência de queda em mais de 10 milhões de m<sup>3</sup>, no período de 2007 a 2016 (ABIMCI, 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 a crescente escassez de madeira serrada de florestas nativas, serrarias vêm experimentando o uso do eucalipto em substituição às 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 (Rocha; Tomaselli, 2002; Juízo et al., 2014; Cunha et al., 2015; Moraes Neto, 2017).

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, as informações geradas, podem auxiliar a comercialização. Esta avaliação advém de um mercado que valora a madeira em volume (metros cúbicos ou estéreo). O vendedor, pela dificuldade de 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).

O uso de ferramentas computacionais para estimar multiprodutos de árvores não é recente e, 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), 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.

## CalcMadeira

Esta aplicação foi desenvolvida 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, 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 (Longitudinal 1/xD Costaneiras), 4) Calcula Peças Madeira Serrada (Longitudinal com Costaneira Base), 5) Calcula Peças Madeira Serrada (Radial).

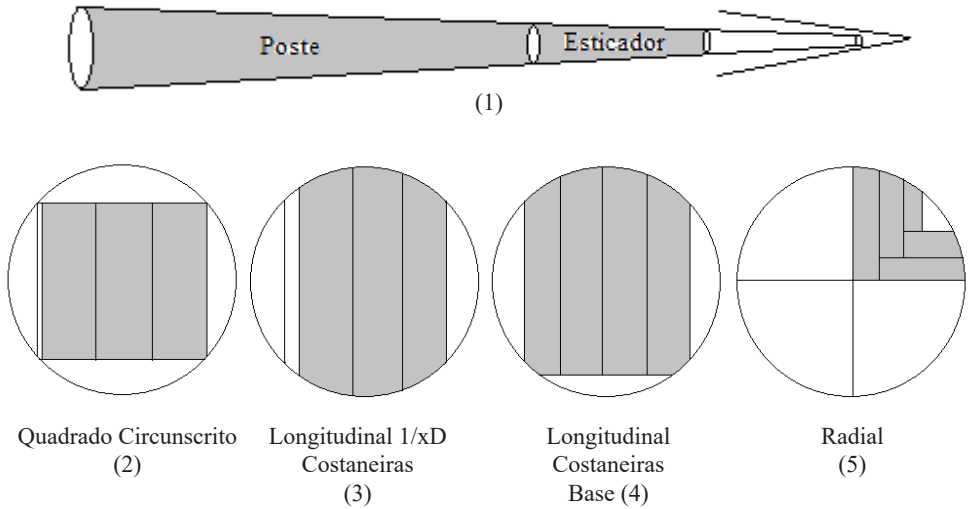
Esta versão foi aprimorada para atender a prioridade de peças e dimensões definidas pelo usuário, simular o desdobro para outras espécies de reflorestamento, como *Khaya ivorensis*, *Toona ciliata*, *Corymbia citriodora*, *Pinus* sp. e para calcular o desdobro de toras isoladas, sem exigência de uma 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. A sequência de passos para gerar os resultados de quantificação de peças de madeira roliça e serrada são apresentados a seguir:

- O usuário realiza um inventário florestal do povoamento, e cria um arquivo texto com os dados básicos da amostra, que correspondem à identificação da parcela ou do renque, do número da árvore, do DAP em cm e alturas total e comercial, em metros.
- Em outro arquivo texto, o usuário tem os dados das peças, podendo alterar as dimensões de largura, espessura e nome das peças, ou preencher com outras peças e novas dimensões no mesmo.
- A última etapa é escolher um, dentre os métodos de desdobro (Figura 1), para o cálculo das peças.

No caso da rotina de peças roliças (1), para o arquivo txt de peças, os parâmetros são: diâmetro menor, diâmetro maior da seção da tora, comprimento da peça.

No caso das rotinas de desdobro (2, 3, 4 e 5), os parâmetros no arquivo de peças são: amplitudes da largura e espessura da peça. O comprimento, espessura de corte pela serra, altura do toco e percentual de casca são preenchidos pelo usuário em campos da planilha. Nos módulos por tora, os parâmetros são: diâmetro menor, diâmetro maior, comprimento da tora.



**Figura 1.** Segmentação de madeira roliça (1) e métodos de desdobro implementados: Quadrado Circunscrito (2), Longitudinal (3), Longitudinal com costaneira base (4) e Radial (5).

Adaptado de Rocha e Tomaselli (2002) e Juízo et al. (2014).

Ao executar cada rotina, são calculados:

- Para a rotina 1 – número de peças (na amostra e por hectare), volume por tipo de peça. Na Tabela 1 (1a, 1b) é apresentado um exemplo dos resultados gerados.
- Para as rotinas 2, 3, 4, 5 – número (nr) e volume de toras por tipo de peça (vr), número (n) e volume (v) de peças por tipo, volume total da amostra (vt), resíduo da madeira serrada (vr-v), resíduo das pontas das árvores (vt-vr), resíduo total (vt-v).

Com estes resultados, o usuário pode utilizar os dados gerados e preços de mercado para avaliar a sua receita. Na Tabela 1 (5a, 5b) é dado um exemplo de desdobro pelo método radial, a partir de toras de eucalipto, com uso da rotina 5 (Figura 1). Os resultados são mostrados em (5a) e detalhadamente em (5b) no relatório.

O software contém também um módulo de projeção de distribuição de diâmetros pela função Weibull (Figura 2), para estimativa de desdobro futuro, a partir de dados de monitoramento de crescimento do povoamento. A continuidade de seu desenvolvimento para uma versão comercial foi contratada com a SIG Informática Ltda e, no prazo aproximado de 1 ano, estará disponível em versão “Demo” e para comercialização, de forma que o usuário poderá testar e experimentar sua aplicabilidade.

**Tabela 1.** Madeira Roliça, relatório síntese (1a), relatório por peça roliça (1b); Madeira Serrada, relatório síntese (5a) e relatório por peça serrada (5b).

CodPeca	di (cm)	hi (m)	Utilização	n	v (m³)	vt_amostrado	res(m³) = vt-v
1	6	8	2,2 Cercas	0	0,00		
2	8	10	2,2 Escoramento para fruticultura	0	0,00		
3	10	12	3,2 Esticador para fruticultura/instalação de telas	0	0,00		
4	12	14	3,2 Esticador intermediário	0	0,00		
5	14	16	3,2 Esticador para cerca	7	0,39		
6	16	18	3,2 Esticador para cerca/ curral intermediário	4	0,31		
7	18	20	3,2 Esticador para cerca, curral canto, cancela	1	0,08		
8	20	30	7,0 Postes	4	1,31		
9	30	6,0	Madeira serrada	0	0,00		
				16	2,09	1,62	-0,47
Árvores amostradas				3			

CodPeca	di (cm)	hi (m)	Utilização	n	v (m³)	vt_amostrado	res(m³) = vt-v
1			Cercas	0	0		
2			Escoramento para fruticultura	0	0		
3			Esticador para fruticultura/instalação de telas	0	0		
4			Esticador intermediário	0	0		
5			Esticador para cerca	777	43		
6			Esticador para cerca/ curral intermediário	444	35		
7			Esticador para cerca, curral canto, cancela	111	9		
8			Postes	444	145		
9			Madeira serrada	0	0		
				1776	232	179	-53
Arv. no Povoamento				333			

(1a)

CodPeca	Peça	AcumPeca	vr	di_casc2	di_casc	di	Tora	Arv
8	Postes	1	0,445	23,5	33,5	24,6	1	1
8	Postes	2	0,260	20,1	23,4	20,7	2	1
7	EsticadorCanto	1	0,083	19,2	17,2	18,1	3	1
6	EsticadorCercaIntermediário	1	0,074	18,7	15,6	17,5	4	1
6	EsticadorCercaIntermediário	2	0,071	18,7	14,9	17,3	5	1
8	Postes	3	0,306	19,2	28,0	20,5	1	2
6	EsticadorCercaIntermediário	3	0,083	17,6	18,6	16,8	2	2
5	EsticadorCerca	1	0,065	16,5	15,8	15,6	3	2
5	EsticadorCerca	2	0,055	15,8	13,8	14,8	4	2
5	EsticadorCerca	3	0,050	15,6	12,6	14,5	5	2
8	Postes	4	0,296	19,1	27,3	20,1	1	3
6	EsticadorCercaIntermediário	4	0,084	17,6	18,9	16,8	2	3
5	EsticadorCerca	4	0,067	16,5	16,2	15,6	3	3
5	EsticadorCerca	5	0,056	15,7	14,1	14,8	4	3
5	EsticadorCerca	6	0,049	15,3	12,8	14,3	5	3
5	EsticadorCerca	7	0,047	15,3	12,1	14,2	6	3

(1b)

Peças	n_toras	vr (m <sup>3</sup> )	n (peças)	v (peças)	vt_am.	vr-v (m <sup>3</sup> )	vt-vr (m <sup>3</sup> )	res(m <sup>3</sup> ) = vt-v	Rendimento
Sarrafo	0	0,00	0	0,00		0,00			
Ripão	9	1,20	40	0,35		0,85			
Caibro	0	0,00	0	0,00		0,00			
Pontalete	0	0,00	0	0,00		0,00			
Ripa	0	0,00	12	0,04		-0,04			
Viga	0	0,00	0	0,00		0,00			
Tábua	0	0,00	0	0,00		0,00			
Prancha	0	0,00	0	0,00		0,00			
Pranchão	0	0,00	0	0,00		0,00			
Amostra	9	1,20	52	0,38	1,61	0,81	0,41	1,23	0,32
Árvores	3								
Peças									
Sarrafo	0	0,00	0	0,00		0,00			
Ripão	999	133,24	4440	38,54		94,70			
Caibro	0	0,00	0	0,00		0,00			
Pontalete	0	0,00	0	0,00		0,00			
Ripa	0	0,00	1332	4,40		-4,40			
Viga	0	0,00	0	0,00		0,00			
Tábua	0	0,00	0	0,00		0,00			
Prancha	0	0,00	0	0,00		0,00			
Pranchão	0	0,00	0	0,00		0,00			
Povoamento	999	133,24	5772	42,94	179,38	90,30	46,14	136,43	
Árvores	333								

(5a)

Peça	es + es_serra	L ou es_reman	n	v	vr	di_case2	di_case	di	Tora	Arv	Fatia	l_sobra	es_sobra
Ripão	5.5	6.5	1	0.009	0.215	25.9	33.5	24.1	1	1	0	4.2	6.5
Ripão	4.5	5.5	1	0.006							1	0.2	7.5
Ripa	2.5	4.5	1	0.002							0	0.0	4.0
Ripão	5.5	6.5	1	0.009	0.168	23.9	28.5	22.3	2	1	0	3.2	5.6
Ripa	4.5	4.5	1	0.005							1	0.2	6.6
Ripão	5.5	6.5	1	0.009	0.132	22.2	24.4	20.6	3	1	0	2.2	4.8
Ripa	2.5	4.5	1	0.002							1	0.0	7.8
Ripão	5.5	6.5	1	0.009	0.149	21.4	28.0	19.9	1	2	0	1.8	4.5
Ripão	5.5	6.5	1	0.009	0.112	19.6	23.3	18.2	2	2	0	0.8	3.6
Ripão	5.5	5.5	1	0.008	0.086	18.0	19.5	16.8	3	2	0	0.8	2.9
Ripão	5.5	6.5	1	0.009	0.143	21.1	27.3	19.6	1	3	0	1.6	4.3
Ripão	5.5	6.5	1	0.009	0.111	19.4	23.2	18.1	2	3	0	0.7	3.5
Ripão	5.5	5.5	1	0.008	0.086	18.0	19.7	16.7	3	3	0	0.8	2.9
													8.4

(5b)

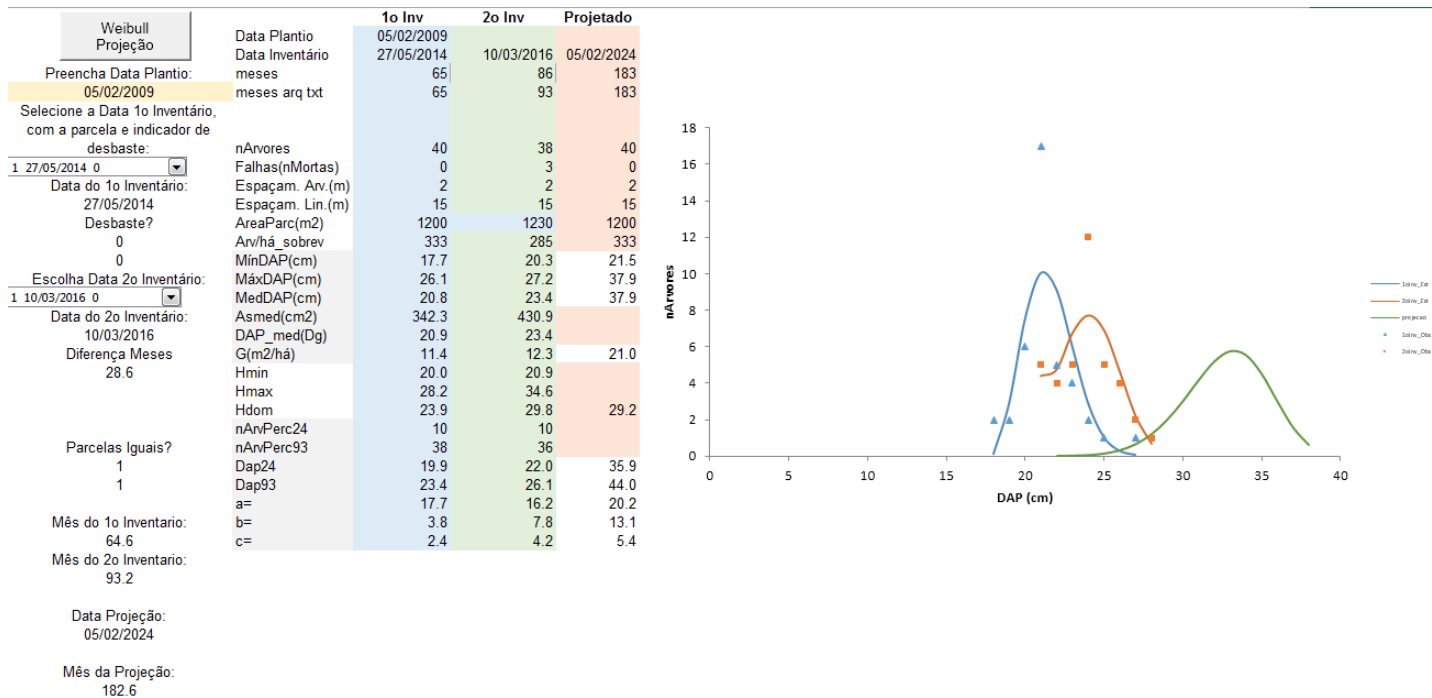


Figura 2. Página parcial do módulo de projecção.

## Validação

As rotinas do CalcMadeira foram submetidas às validações e correções de inconsistências, por meio de um software de desenho assistido por computador (CAD) e por modificações na base de dados.

No exemplo a seguir, é mostrada a validação da rotina do quadrado circunscrito em serrarias, referente às condições reais da árvore, como tortuosidades, rachaduras no momento do desdobro, demais defeitos, e prática de operações em serrarias.

Foram conduzidos três testes de validação:

- (1) Com três árvores de *Corymbia citriodora*, usando serra de fita horizontal e serra circular de bancada da marcenaria da Embrapa.
- (2) Com três árvores do clone GG100 "urograndis" em sistema ILPF, que foram desdobradas em uma serraria comercial, com serra de fita vertical e serra circular de bancada.
- (3) Com nove toras de *Corymbia citriodora*.

Nos testes 1 e 2, foram aplicadas a rotina do bloco (2), e no teste 3 a rotina longitudinal (3). A espessura de serra adotada foi de 0,5 cm e o desdobro foi realizado até a 6ª ou 7ª tora, alcançando 12 m de altura das árvores no 1º teste, entre 18 m e 21 m de altura no 2º, e aproximadamente 9 m de altura no 3º teste, de acordo com a viabilidade do seu aproveitamento em peças.

Nas toras do 1º teste foram mensurados o diâmetro com casca da menor seção, o diâmetro sem casca, os lados do quadrado circunscrito (bloco) (Figura 3A), e anotadas imperfeições, como tortuosidade, rachaduras etc. As peças serradas (Figuras 3C e D) foram mensuradas na largura e espessura, nas extremidades e no meio da peça. Nos demais testes foram somente obtidas as quantidades calculada e desdobrada de peças.

Com os dados calculados, e medidos nas toras e nas peças, foram obtidas as exatidões entre as reais dimensões das toras e das peças definidas pelo usuário com os resultados das peças serradas, e a diferença entre a quantidade de peças calculada pelo software e a quantidade desdobrada.



Fotos: Thomaz Correa e Castro da Costa



**Figura 3.** Demarcação de peças na tora para o desdobro (A), operação no engenho (B), peças desdobradas na marcenaria da Embrapa (C e D).

## 1º Teste da rotina do Quadrado Circunscrito (2)

Adotou-se a regra de prioridade de peças de maior para a menor dimensão em largura e espessura, informadas na NBR 14807 (ABNT, 2002) (Tabela 2). As peças, definidas pelo CalcMadeira, foram desenhadas na seção menor de cada tora, antes do desdobro (Figura 3A). As equações de Afilamento no modelo  $(di/Dap)^2 = b_0 + b_1 hi/Ht + b_2 (hi/Ht)^2$  (Kozak et al., 1969) foram ajustadas por árvore. As árvores foram cortadas a 30 cm de altura do toco. A espessura da casca foi medida em cada seção da tora, sendo considerada a média por árvore. Foi definido 2,0 m de comprimento das peças (toras), para facilitar o manuseio na serra de bancada.

**Tabela 2.** Diâmetro à altura do peito (Dap), altura total (Ht), altura comercial (Hc) e % espessura de casca (es\_casc); prioridade de seleção de peças (Prior.), com suas amplitudes de largura (L) e espessura (es).

Árvore	Dap (cm)	Ht/Hc <sup>(1)</sup> (m)	es_casc (%)
1	240,00	25,2/10,7	8,7
2	21,04	22,0/11,3	4,8
3	19,45	24,4/11,4	8,5
Peças	Prior.	L (cm)	es (cm)
Pranchão	1	16 - 100	7 - 7
Prancha	2	16 - 100	4 - 7
Tábua	3	10 - 100	1 - 4
Viga	4	08 - 16	4 - 8
Pontaletes	5	7 - 8	7 - 8
Caibro	6	05 - 8	4 - 8
Ripão	7	5 - 7	2 - 2
Ripa	8	02 - 5	1 - 2
Sarrafo	9	2 - 10	2 - 4

<sup>(1)</sup>Devido a bifurcações do tronco, galhos grossos ou demais defeitos.

Ao processar o CalcMadeira, o resultado gerado foi 27 tábuas, 4 vigas e 2 caibros, com volume de 0,2891 m<sup>3</sup> e rendimento de 41% em relação ao volume de toras estimado. O desdobro obteve 27 tábuas, 3 vigas e 2 caibros, com volume total de 0,2991 m<sup>3</sup>, e rendimento de 41% em relação ao volume das toras.

A Tabela 3 mostra a exatidão entre diâmetro com casca calculado e diâmetro com casca medido (di\_casc\_er), com maior dispersão na primeira e última toras da árvore 1, e a exatidão entre volumes calculado e medido da tora (vr\_er). As maiores dispersões se repetem para a árvore 1, e na 1ª tora da árvore 2. Ambos validam a qualidade de ajuste das funções de afilamento.

**Tabela 3.** Exatidão (%) entre diâmetro calculado e diâmetro medido ( $di\_casc\_er$ ), volume calculado e volume medido na tora ( $vr\_er$ ); entre espessura da peça serrada e programada ( $es\_er$ ), largura da peça serrada e programada ( $Ldc\_er$ ); e diferença entre quantidade de peças desdobradas e calculadas ( $nd-nc$ ).

ArvTora	Peça	nc	nd	Exatidão % =		Exatidão % =		
				$[(Calculado - Medido) / Medido] \times 100$		$[(Serrado - programado) / programado] \times 100$		
				$di\_casc\_er$	$vr\_er$	$es\_er$	$Ldc\_er$	$nd-nc$
11	Tábua	3	3	4,9	-11,2	6,0	-7,4	0
12	Tábua	2	2	1,6	0,9	-0,5	8,0	0
12	Tábua	1	1			43,3	-19,2	0
13	Tábua	2	2	-0,6	-1,9	-2,3	9,1	0
13	Tábua	1	1			4,0	4,9	0
14	Tábua	2	2	0,9	-0,9	0,0	1,1	0
14	Tábua	1	1			12,5	-1,7	0
15	Tábua	2	2	-6,2	-8,5	-12,5	12,4	0
15	Tábua	1	1			100,0	11,2	0
21 <sup>(1)</sup>	Tábua	3	-	-1,9	13,3			
22	Tábua	2	2	1,5	-1,2	6,3	5,4	0
22	Tábua	1	1			25,0	8,3	0
23	Tábua	2	2	-1,7	-5,0	18,8	13,7	0
23 <sup>(2)</sup>	Tábua	1	0					-1
24	Viga	1	1	0,2	-4,8	11,3	1,7	0
25 <sup>(3)</sup>	Viga	1	0	2,3	-0,7			-1
31	Tábua	2	2			6,3	3,6	0
31	Tábua	1	1			50,0	0,0	0
32	Tábua	2	2	-1,2	0,3	-15,6	-3,7	0
32	Tábua	1	1			125,0	-6,4	0
33 <sup>(4)</sup>	Viga	1	2		-4,5	-50,0	-12,3	1
34	Viga	1	1	3,5	-2,2	2,6	-1,9	0
35	Caibro	1	1	2,3	1,8	16,4	0,8	0
36	Caibro	1	1	1,1	-3,8	17,5	-0,8	0
Total		33	32					-1

<sup>(1)</sup>Tora não desdobrada devido ao comprimento ter sido menor do que o limite mínimo para o engenho (2 metros);

<sup>(2)</sup>Não foi possível desdobrar a última peça: tábua calculada; <sup>(3)</sup>Tortuosidade da tora impediu o desdobro; <sup>(4)</sup>Calculo indicou viga, mas o desdobro permitiu duas tábuas.

Para as peças desdobradas, a Tabela 3 mostra a exatidão entre a largura programada da peça e medida nas peças serradas (Ldc\_er). As maiores dispersões ocorreram na 1ª árvore. Como o cálculo é baseado na circunferência, qualquer forma do tronco que se afaste da esfericidade aumentará a diferença entre dimensões programadas e obtidas no desdobro.

O erro entre espessura programada e obtida nas peça serrada (es\_er) foi maior, pois um fator não controlado na operação de desdobro causou esta variação, devido à oscilação do carrinho do engenho no deslocamento da tora. Um maquinário de maior precisão aumentaria a exatidão entre as espessuras programada e executada. Nenhum valor de exatidão de Ldc\_er ficou acima de 20%, mas es\_er obteve 7 valores acima de 20% de exatidão.

Na comparação entre quantidade de peças desdobradas e calculadas (nd-nc) ocorreram pequenas divergências. Na tora 3 da árvore 2, a sobra do comprimento vertical sem casca ficou menor do que a espessura de 1 cm para desdobro da última tábua calculada, e a tora 5 impediu o aproveitamento de peças devido à sua tortuosidade. Na árvore 3 ocorreu outra falha de cálculo. O programa selecionou “Viga”, mas foi possível retirar duas tábuas, que são superiores na ordem de prioridade de peças. Para as demais toras a demanda de peças foi atendida nas dimensões programadas.

## **2º Teste da rotina do Quadrado Circunscrito (2) e 3º Teste (rotina longitudinal 1/xD) (3)**

A finalidade destes testes foi atender demandas de mercado. A serraria informou as peças do seu interesse, com suas dimensões, e a prioridade entre elas, conforme seu fluxo de venda.

No 2º teste o desdobro foi calculado pelo método do bloco, a partir de árvores, e no 3º o desdobro foi calculado pelo método longitudinal, a partir de toras. Na Tabela 4 são mostradas as dimensões das árvores e das toras utilizadas e das peças selecionadas para o desdobro, com a especificação dos testes.

Para o teste 2 foi utilizada a equação de afilamento de um conjunto de dez árvores de uma fileira adjacente às árvores selecionadas, adotando-se altura do toco de 15 cm. A espessura de casca foi medida em cada seção da tora, considerando a média de todas as árvores, e o comprimento das peças foi 3,1 m (margem de 10 cm), para comercialização.

**Tabela 4.** Diâmetro na altura do peito (Dap), altura total (Ht) e espessura de casca (es\_casc) das árvores; diâmetro menor com casca (di\_casc\_menor), diâmetro maior com casca (di\_casc), comprimento da tora; prioridade de seleção de peças (Prior.), com sua largura (L) e espessura (es), e o teste aplicado (Teste).

Árvore	Dap (cm)	Ht (m)	es_casc (%)	Teste
1	26,8	29,6	4,2	2
2	23,6	29,5	5,2	2
3	23,5	30,8	4,8	2
Tora	di_casc_menor (cm)	di_casc (cm)	Comprimento (m)	
1	21,9	20,4	3,1	3
2	18,6	17,3	3,1	3
3	16,2	15,1	3,1	3
4	16,7	15,5	3,1	3
5	15,2	14,1	3,1	3
6	13,0	12,1	3,1	3
7	17,8	16,6	3,1	3
8	15,5	14,4	3,1	3
9	14,1	13,1	3,1	3
Peças	Prior.	L (cm)	es (cm)	
Ripão	1	5	3	2
Ripa	2	4	2	2
Tábua	3	12	3	2
Ripa		4	2	3

Na operação da serraria, seguiu-se o procedimento usual, sem informar a quantidade de peças calculadas (nc) pelo CalcMadeira. No 2º teste, o método de desdobro adotado pela serraria foi empírico, com a retirada da 1ª costaneira, seguido do corte das peças na espessura definida, antes de chegar ao centro da tora. A tora era então girada, e nova costaneira retirada, com mesmo procedimento. Esta sequência foi repetida, seguindo a experiência do operador, para reduzir encanoamentos, rachaduras e obter maior aproveitamento das peças solicitadas. Nas Figuras 4A, B e C são mostradas a operação na serra circular, as peças brutas e finais (ripões e ripas) respectivamente.

A prioridade foi de serrar ripões de 5 cm x 3 cm e, nas sobras, ripas de 4 cm x 2 cm e, em 3ª prioridade, tábuas de 12 cm x 3 cm. A largura e a espessura das peças não foram medidas em função da uniformidade na produção, obtendo-se somente a quantidade de peças por tora.

Foram calculados pelo CalcMadeira 104 ripões e 15 ripas, com volume de 0,5040 m³ e rendimento de 33%. Não foram calculadas tábuas, pois o fracionamento de ripões e ripas de larguras menores impossibilitam o cálculo das sobras com larguras suficientes para tábuas. Os resultados obtidos no desdobro foram 106 ripões e 32 ripas, com volume de 0,5538 m³ e rendimento de 36%.

Fotos: Thomaz Correa e Castro da Costa



**Figura 4.** Operações na serraria (A), peças desdobradas (B), serragem final de ripões e ripas na serra circular (C).

Na Tabela 5 são apresentados os resultados detalhados do CalcMadeira, diâmetro sem casca ( $d_i$ ), quantidade de peças calculadas ( $n_c$ ) e quantidade de peças desdobradas ( $n_d$ ).

Os resultados de volume da tora indicam a perda de exatidão ( $vr_{er}$ ) quando não se usa uma equação de afilamento da árvore, pois, no 2º teste usou-se uma equação de afilamento representativa, obtida por um conjunto de árvores. Ocorreram 14

**Tabela 5.** Exatidão (%) entre diâmetro calculado e diâmetro medido (*di\_casc\_er*), volume calculado e volume medido na tora (*vr\_er*); diâmetro sem casca calculado (*di\_c*) em cm, número de peças calculadas (*nc*) e número de peças serradas (*nd*), erro de peças calculadas (*nd-nc*).

ArvTora	Peça	nc	nd	Ex %			
				<i>di_casc_er</i>	<i>vr_er</i>	<i>di_c</i>	<i>nd-nc</i>
11	Ripão	12	13	6,8	-0,9	24,1	1
11	Ripa	3	1				-2
12	Ripão	8	14	9,9	17,3	22,2	6
12	Ripa	0	0				0
13	Ripão	8	9	8,1	18,3	20,3	1
13	Ripa	0	0				0
14	Ripão	6	4	9,7	18,4	18,3	-2
14	Ripa	0	0				0
15	Ripão	6	6	12,5	22,8	16,3	0
15	Ripa	0	0				0
16	Ripão	2	3	11,2	24,4	14,2	1
16	Ripa	2	1				-1
21	Ripão	8	9	2,8	-2,2	21,2	1
21	Ripa	0	3				3
22	Ripão	6	8	8,5	11,2	19,5	2
22	Ripa	3	2				-1
23	Ripão	6	4	5,1	14,1	17,8	-2
23	Ripa	0	1				1
24	Ripão	6	3	6,3	11,8	16,1	-3
24	Ripa	0	0				0
25	Ripão	2	3	7,1	14,1	14,3	1
25	Ripa	2	0				-2
26	Ripão	2	2	13,0	20,9	12,4	0
26	Ripa	0	1				1
31	Ripão	8	3	6,2	-0,9	21,2	-5
31 <sup>(1)</sup>	Ripa	0	5				5
32	Ripão	6	8	7,9	14,2	19,6	2
32	Ripa	3	2				-1
33	Ripão	6	7	4,4	12,8	18,0	1
33	Ripa	0	1				1
34	Ripão	6	3	6,2	10,8	16,3	-3
34*	Ripa	0	3				3
35	Ripão	2	3	4,8	11,7	14,6	1
35	Ripa	2	1				-1
36	Ripão	2	4	3,1	8,2	12,9	2
36	Ripa	0	0				0
37	Ripão	2	0		9,8	11,0	-2
37	Ripa	0	0				0
<sup>(2)</sup>	Ripa		11				
Total		119	138				-19

<sup>(1)</sup>Peças rachadas (aproveitamento com ripas); <sup>(2)</sup>Sem identificação da tora e da árvore.

resultados com vies acima de 10% em 19 dados. Os valores de  $di\_casc\_er$ , embora com poucos resultados acima de 10%, apresentaram imprecisão significativamente maior comparada ao 1º teste.

No 3º teste, a Figura 5A mostra a operação na serra de fita, as Figuras 5B e C mostram as peças brutas e finais (ripas) respectivamente. A largura e a espessura das peças não foram medidas em função da uniformidade na produção, obtendo-se somente a quantidade de peças por tora.

Fotos: Thomaz Correa e Castro da Costa



**Figura 5.** Operação na serra de fita (A), peças desdobradas (B), serragem final de ripas na serra circular (C).



Na Tabela 6 é apresentado o resultado do 3º teste. A maior diferença foi de seis peças calculadas a menos em relação ao desdobro. Foram calculados pelo CalcMadeira 91 ripas, com volume de 0,2257 m<sup>3</sup> e rendimento de 30% (Tabela 6). Os resultados obtidos no desdobro foram 93 ripas, com exatidão total de 2%. A diferença entre peças desdobradas e calculadas por tora variou de -6 a 3.

**Tabela 6.** Numero de peças calculadas (nc) e serradas por tora (nd), diâmetro menor com casca calculado (di\_casc\_c), diâmetro sem casca calculado (di\_c), erro de peças calculadas (nd-nc).

Tora	Peça	nc	nd	di_casc_c	vr_c	di_c	nd-nc
41		20	17	21,9	0,146	20,4	3
42		13	19	18,6	0,100	17,3	-6
43		10	7	16,2	0,074	15,1	3
51		10	12	16,7	0,099	15,5	-2
52	Ripa	9	9	15,2	0,062	14,1	0
53		3	1	13,0	0,048	12,1	2
61		13	15	17,8	0,101	16,6	-2
62		9	9	15,5	0,067	14,4	0
63		4	4	14,1	0,053	13,1	0
9		91	93		0,751		-2

## Considerações sobre a aplicação do CalcMadeira para estimativa de peças serradas

No 1º teste, o CalcMadeira errou na seleção da peça três 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, com sete peças apresentando erros acima de 20%.

No 2º teste, com desdobro operacional, pelo fato do método do desdobro não ter sido o quadrado circunscrito, mas um método empírico que se aproxima do bloco, a habilidade do operador aumentou o rendimento com produção de ripas nas sobras. Contribuíram ainda peças rachadas na 1ª etapa do desdobro, e tortuosidade de toras. Esses fatores aumentaram o rendimento de ripas no desdobro, tornando menos exato o calculado para ripas, 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 muitas operações de desdobro 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 estimou com razoável precisão a produção de peças desdobradas nos três testes.

A rotina de desdobro pelo método do Quadrado Circunscrito (Bloco) pode ser usada para estimativas de desdobro em árvores de eucalipto. Para procedimentos de desdobro empíricos que se aproximam do bloco, embora com resultado apresentado menor que 2% de erro para a quantidade de peças de 1ª prioridade, espera-se uma subestimação em peças menores, pelo maior aproveitamento das costaneiras.

A rotina de desdobro pelo método longitudinal apresentou erro pequeno para quantidade de peças de um único tipo. Consideram-se, portanto, promissores os resultados gerados pelo CalcMadeira, como informação prévia de desdobros pelos métodos do bloco e longitudinal, gerando erros totais entre 2% e 14% nos três testes, embora sejam preliminares. 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”, ao Miguel Gontijo pelos meios fornecidos, ao Walfrido Machado Albernaz, Emanuel da Silva Pinto Júnior, da Emater, e ao Reginaldo Azevedo Pereira, pelo apoio nos testes de validação, à Sara de Almeida Rios pela construção do processo do Inpi, ao Leonardo Pereira da Rocha e João Garcia pela solução do contrato com a SIG Informática Ltda, à Myriam Maia Nobre pelo processo de registro da marca, à Natalia Santos Fois, Enilda Alves Coelho e ao Fábio Hitoshi Ide pelo apoio nos processos do NTI, ao Diego de Oliveira Carvalho pela elaboração do Plano de Negócios, ao Felipe Henrique Figueiredo e Rafael de Deus Ribeiro da SIG Informática pelo suporte na conversão dos algoritmos para a linguagem Python, ao Renato Vinícius de Oliveira Castro, Renato da Silva Vieira, Marina Donária Chaves Arantes da UFSJ, pelas parcerias vinculadas ao desenvolvimento desta ferramenta, e à José Heitor de Vasconcellos, Vanderley Porfírio da Silva e Edilson Batista de Oliveira, pela parceria e por darem visibilidade a esta ferramenta.

## Referências

- ABIMCI. Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente. **Estudo setorial**. Curitiba, 2016.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14807**: peças de madeira serrada: dimensões. Rio de Janeiro: ABNT, 2002. 10p.
- 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: <http://dx.doi.org/10.5965/223811711612017026>.
- BINOTI, D. H. B. **Sistemas computacionais aplicados ao manejo florestal**. 2012. 113 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- 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. 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. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 224). Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1063397>>.
- 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.
- HEINRICH, D. **Simulação da produção da madeira serrada**. 2010. 157 f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- 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](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. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.062213>.
- 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. DOI: <https://doi.org/10.5558/tfc45278-4>.
- 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.
- MORAES NETO, S. P. de. **Madeira de eucalipto para serraria**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2017. 56 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 340). Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1092101>>.

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

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). Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/898993>>.

OLIVEIRA, E. B. **Softwares para manejo e análise econômica de plantações florestais**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 70 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 216). Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/898050>>.

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. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622009000600015>.

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. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622003000600007>.

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