

“

# CalcMadeira – Cálculo de peças de madeira roliça e serrada

▮ Thomaz Correa e Castro da **Costa**  
EMBRAPA

▮ Monica Matoso **Campanha**  
EMBRAPA

▮ Luiz Fernando **França**

▮ Miguel Marques **Gontijo Neto**  
EMBRAPA

▮ Renato Vinícius de Oliveira **Castro**  
UFSJ

▮ Thiago Herique Prates dos **Santos**

▮ Renato da Silva **Vieira**

# RESUMO

O comércio de madeira não processada estabelece o preço em volume (metros cúbicos ou estéreo) e o produtor, ao vender suas árvores, pela dificuldade em estimar produtos madeireiros, não sabe quantas peças podem ser beneficiadas, no caso de madeira roliça ou serrada. Para obter esta informação foi desenvolvido um software web para calcular peças de madeira roliça e serrada que um conjunto de árvores ou toras individuais pode fornecer. O usuário pode informar as dimensões em largura e espessura, por intervalo ou fixas. Os cálculos são realizados por meio de funções dendrométricas e relações trigonométricas. Para madeira serrada foram implementados 6 modelos de padrão de corte, com a opção de cálculo de receita das peças. Os potenciais usuários são produtores rurais e empresas que plantam florestas, e empresas de desdobro da madeira (serrarias).

---

**Palavras-chave:** Florestas Plantadas, Mensuração Florestal, Serrarias, Multiprodutos Florestais.

## INTRODUÇÃO

O mercado de madeira roliça de florestas plantadas está em crescimento. Mourões tratados, esticadores, postes, madeira para escoramento na construção civil, em estruturas de entretenimento, em telhados, são demandas crescentes. Em contraposição a produção e o consumo de madeira serrada de florestas nativas vem apresentando tendência de queda em mais de 10 milhões de m<sup>3</sup> em um período de nove anos (ABIMCI, 2016).

Embora a crescente oferta de florestas plantadas, principalmente de eucalipto que já ocupa mais de 7 milhões de hectares no Brasil (IBGE, 2016), seja preferencialmente destinada para energia e celulose, pode ser uma alternativa para recuperar o mercado de madeira serrada (sólida). Mas alguns desafios precisam ser vencidos, pois fatores como a espécie, o manejo, a idade e os processos de desdobro, secagem e armazenamento, são determinantes na qualidade final das peças de madeira serrada (MORAES NETO, 2017, CUNHA et al. 2015, JUÍZO et al. 2014, ROCHA e TOMASELLI, 2002).

Neste cenário, agricultores que adotaram o Sistema de Integração Lavoura–Pecuária-Floresta (ILPF), estimulados pelo incentivo do Estado, e outros produtores que investiram em pequenos povoamentos florestais na sua propriedade visando a obtenção de renda com a venda da madeira, tem a oportunidade de ofertar madeira com maior valor agregado, uma vez que a madeira para serraria pode apresentar maior retorno financeiro (OLIVEIRA et al., 2011).

O mercado valora a madeira em volume (metros cúbicos ou estéreo), e o produtor que vende a floresta em pé, não sabe quantas peças poderão ser beneficiadas de suas árvores. Esta situação favorece uma relação comercial desvantajosa para o produtor que, 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).

Aplicações para estimar multiprodutos de árvores não são recentes, em sua maioria buscando a otimização entre madeira para energia, serraria e celulose, baseada em volume. Um exemplo está em Soares et al. (2003), que indicaram comprimentos ótimos de toras para reduzir a quantidade de madeira não aproveitada na árvore. Já Chichorro et al. (2003) trabalharam a quantificação de toras para madeira serrada, compartimentando a árvore por meio de dois parâmetros: diâmetro mínimo e comprimento da tora.

Dentre as ferramentas computacionais no Brasil que agregam outras funcionalidades, está o SisEucalipto, desenvolvido pela Embrapa, que executa a modelagem e simulação para manejo florestal, incluindo desbastes, multiprodutos e projeções futuras (OLIVEIRA, 2011). Para isso, o programa requer poucos parâmetros e assume modelos de distribuições de diâmetro e altura (OLIVEIRA et al., 2011).

Outro programa é o SigmaE, desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa, que inclui o modelo SawModel, para projeções e otimização do desdobro da madeira (BINOTI,

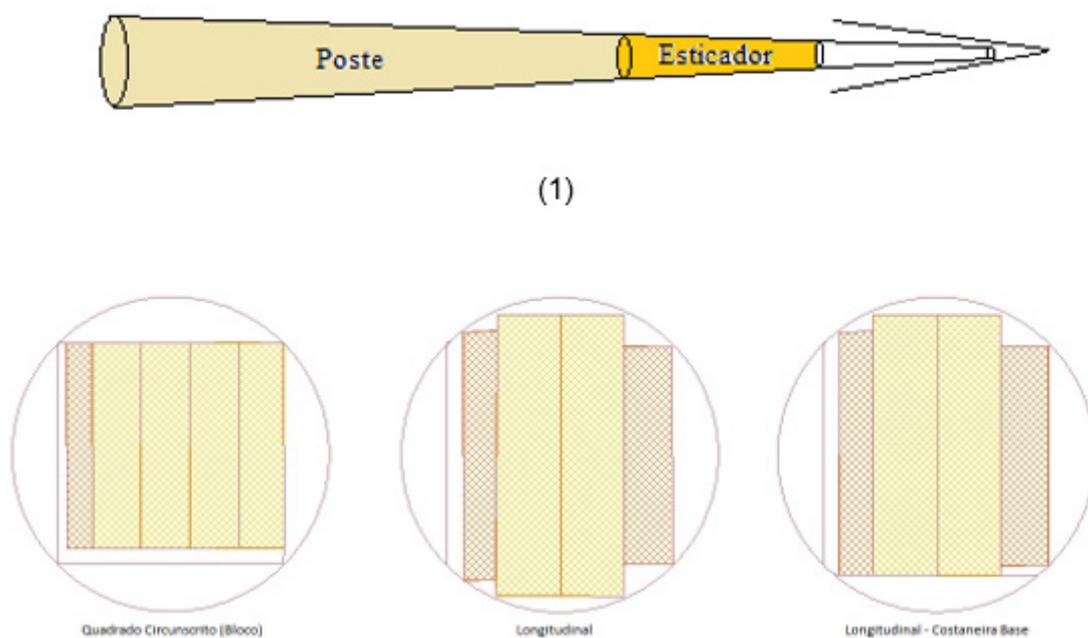
2012; NUNES, 2013; LEITE, 1994). Dentre as aplicações comerciais que propõe o desdobramento de toras individuais, estão o MaxTora, da empresa OpTimber, e o CutLog da empresa Tekl STUDIO (TEKL STUDIO, 2018). Na maioria dos programas, o fundamento da solução é por pesquisa operacional, técnica aplicada para otimização das dimensões de peças selecionadas em uma seção do tronco.

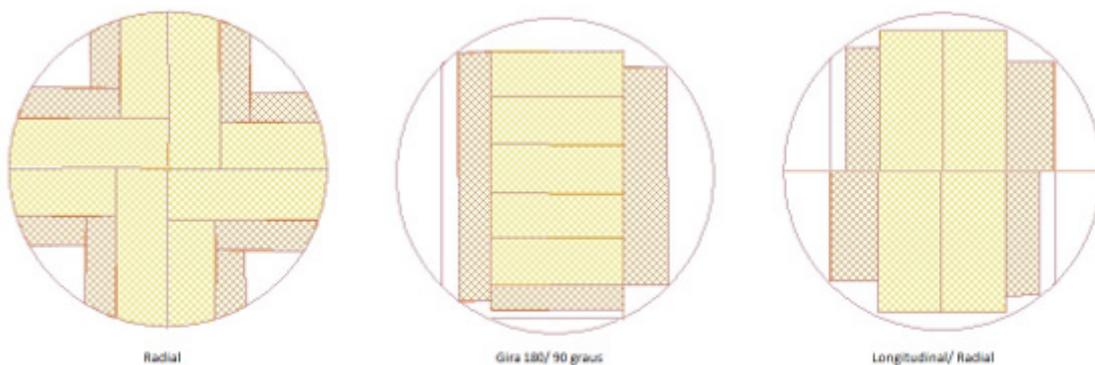
Existem nichos diferentes para cada aplicação, que vai do planejamento até a quantificação mais exata de multiprodutos, da complexidade até a praticidade do acesso à informação, e o custo benefício para obtê-la. O software apresentado tem o objetivo de suprir uma lacuna na quantificação de multiprodutos da madeira.

## SOFTWARE

O CalcMadeira foi desenvolvido para simular métodos de desdobro convencionais e empíricos em uma amostra de árvores, ou em toras individuais (Costa et al. 2020). 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 6 modelos de padrão de corte, aquele que será utilizado na serraria. Seu primeiro desenvolvimento foi em Visual Basic for Applications (VBA), registrado na 1ª versão, o CalcMadeira Eucalipto (Processo INPI nº: BR 51 2018 001002-4). E atualmente estão implementados os seguintes algoritmos (Figura 1):

**Figura 1.** Segmentação de madeira roliça (1) e Modelos de padrão de corte implementados: Quadrado Circunscrito, Longitudinal, Longitudinal com costaneira base, Radial, Gira Tora 180° /90° e Longitudinal/Radial.





Esta versão permite a prioridade de peças e dimensões definidas pelo usuário, calcula o desdobro independente da espécie de reflorestamento, desde que o usuário informe dados de cubagem e, executa o desdobro de toras isoladas, sem exigência de uma função de afilamento.

O sistema calcula internamente a função de Taper pelo modelo de Kozak (Kozak et al. 1969) e a função de volume pelo modelo de Schumacher and Hall (SILVA et al. 2009), quando o usuário fornece os dados do próprio local, ou permite que o usuário entre com coeficientes para as equações de forma e volume. Na opção de ajuste da equação de forma é gerado o fator de forma por árvore, médio e seu desvio padrão. É possível também calcular a altura comercial a partir de um diâmetro mínimo para serrar. Os parâmetros exigidos são: altura do toco, percentual de casca, espessura da serra.

A sequência de passos para gerar os resultados de quantificação de peças de madeira roliça e serrada são apresentados a seguir: (1) O usuário realiza um inventário florestal do povoamento, e fornece a planilha com os dados básicos da amostra, que correspondem as medidas de DAP em cm e altura total e comercial em metros; (2) Escolhe um dos modelos de padrão de corte para cálculo de peças. No caso do 1º algoritmo, para peças roliças, os parâmetros são: diâmetro menor, diâmetro maior da seção da tora, comprimento da peça. No caso dos algoritmos para peças serradas, os parâmetros são: comprimento, amplitudes da largura e espessura da peça.

Ao executar cada modelo, é gerado um formulário sintético em que os campos preenchidos são, para peças roliças: número de peças (na amostra e por hectare), volume por tipo de peça, volume do resíduo; para as peças serradas: número de toras, volume de toras, número de peças, volume de peças, volume total, resíduo da madeira serrada, resíduo de pontas das árvores, resíduo total. O resíduo (madeira não transformada nas peças selecionadas) pode ser destinado para lenha, cavaco etc. Para o cálculo de receita o usuário precisa entrar com preços das peças. Os resultados são informados para a amostra e por hectare.

## Um exemplo (sem desenho amostral)

Os dados de uma amostra de 24 árvores de 9 anos com DAP, altura total e altura comercial até 18 cm de diâmetro (Tabela 1), de um renque de 15 x 2 metros, representando 333 árvores/ha em sistema iLPF foram utilizados para o cálculo de madeira roliça e serrada.

**Tabela 1.** Dados amostrados por árvore.

Linha	Arvore	DAP (cm)	H (m)	Hc (m)
1	1	25,1	31	13,31
1	2	14,9	28	-
1	3	9,0	12	-
1	4	19,0	27	3,75
1	5	18,7	30	3,30
1	6	21,6	30	8,88
1	7	18,5	27,5	-
1	8	16,1	27	-
1	9	15,5	26	-
1	10	16,0	27,5	-
1	11	18,0	29,5	-
1	12	17,4	27	-
1	13	17,8	28,5	-
1	14	15,7	26	-
1	15	17,2	26,5	-
1	16	15,9	27	-
1	17	15,1	22,5	-
1	18	16,4	25,5	-
1	19	20,8	30	7,69
1	20	19,9	29,6	6,06
1	21	21,8	29,5	9,01
1	22	22,8	29,5	10,26
1	23	18,0	20	-
1	24	21,8	16,5	5,04

## Cálculo de madeira roliça

A especificação das dimensões de peças de madeira roliça, assim como o resultado da quantidade, volume e receita bruta de peças retiradas da amostra e por ha estão apresentados na Tabela 2.

Com 333 árvores aos 9 anos de idade atingindo 111 m<sup>3</sup>/ha, foi possível extrair 2.484 peças de madeira roliça, com boa distribuição entre os produtos selecionados, considerando este resultado como potencial, sem perdas de peças defeituosas. A receita foi de R\$ 20.549, alcançando R\$ 195/m<sup>3</sup>.

**Tabela 2.** Cálculo de peças de madeira roliça de eucalipto e sua receita bruta, dimensionadas pelo diâmetro em cm (d) e pelo comprimento em metros (L).

Peças	d (cm)		L (m)	R\$/peça	n		v(m <sup>3</sup> )		R\$/ha
					Amostra		ha		
Cercas	6	8	2,2	5	34	0,35	472	5	2359
Escoramento para fruticultura	8	10	2,2	6	43	0,69	597	10	3580
Esticador para fruticultura/instalação de telas	10	12	3,2	7	26	0,93	361	13	2525
Esticador intermediário	12	14	3,2	8	26	1,28	361	18	2886
Esticador para cerca	14	16	3,2	10	22	1,43	305	20	3053
Esticador para cerca/ curral intermediário	16	18	3,2	12	14	1,14	194	16	2331
Esticador para cerca, curral canto, cancela	18	20	3,2	15	13	1,42	180	20	2706
Postes	20	30	7	80	1	0,33	14	5	1110
<b>Total</b>					<b>179</b>	<b>7,57</b>	<b>2484</b>	<b>105</b>	<b>20549</b>

### Cálculo de madeira serrada

Para o cálculo de madeira serrada são necessárias as Tabelas 3 e 4. A Tabela 3 fornece as dimensões e a ordem de prioridade para seleção de peças, e a Tabela 4 fornece as dimensões de referência e seu valor monetário para a receita.

**Tabela 3.** Dimensões e prioridade de peças

Peça	Espessura (mm)		Largura (mm)		Prior.
	mínima	máxima	mínima	máxima	
Pranchao	70	70	160	1000	1
Prancha	40	70	160	1000	2
Tabua	10	40	100	1000	3
Viga	40	80	80	160	4
Pontalete	70	80	70	80	5
Caibro	40	80	50	80	6
Ripao	20	20	50	70	7
Ripa	10	20	20	50	8
Sarrafo	20	40	20	100	9

**Tabela 4.** Valores de mercado das peças por dimensões de referência (arbitrários).

Peça	Espessura (mm)	Largura (mm)	Preço (R\$)
Pranchao	70	160	18
Prancha	40	160	15
Tabua	30	100	12
Viga	40	80	10
Pontalete	70	70	9
Caibro	40	50	8
Ripao	20	50	3
Ripa	10	20	2
Sarrafo	20	20	1

Para o padrão de corte do Quadrado Circunscrito, foram calculadas 819 peças (ripões, ripas e tábuas) por ha (Tabela 5). O rendimento ficou em 37% do volume de toras, ou 9,12 m<sup>3</sup> de material serrado, gerando um resíduo total de 101,81 m<sup>3</sup>. A receita de peças serradas ficou em R\$ 11.722/ha, ou R\$ 1285/m<sup>3</sup> serrado.

**Tabela 5.** Estimativa de peças de madeira serrada de eucalipto pelo método do Quadrado Circunscrito, dimensionadas por seções de 3,1 metros de comprimento, o rendimento e a receita bruta, para a amostra e por ha.

Peças	n toras	vr (m <sup>3</sup> )	n (peças)	v (peças)	Vt (m <sup>3</sup> )	vr-v (m <sup>3</sup> )	vt-vr (m <sup>3</sup> )	resid(m <sup>3</sup> ) =vt-v	Rend. (%)	R\$
<b>Amostra</b>										
Sarrafo	0	0,0	0	0,000	-	-	-	-	-	-
Ripão	0	0,0	16	0,066	-	-	-	-	-	64
Caibro	0	0,0	0	0,000	-	-	-	-	-	-
Pontalete	0	0,0	0	0,000	-	-	-	-	-	-
Ripa	0	0,0	6	0,009	-	-	-	-	-	30
Viga	0	0,0	0	0,000	-	-	-	-	-	-
Tabua	16	1,8	37	0,582	-	-	-	-	-	751
Prancha	0	0,0	0	0,000	-	-	-	-	-	-
Pranchao	0	0,0	0	0,000	-	-	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>16</b>	<b>1,8</b>	<b>59</b>	<b>0,657</b>	<b>7,99</b>	<b>1,11</b>	<b>6,22</b>	<b>7,34</b>	<b>0,37</b>	<b>845</b>
<b>ha</b>										
Sarrafo	0	0,0	0	0,00	-	-	-	-	-	0
Ripão	0	0,0	222	0,91	-	-	-	-	-	882
Caibro	0	0,0	0	0,00	-	-	-	-	-	0
Pontalete	0	0,0	0	0,00	-	-	-	-	-	0
Ripa	0	0,0	83	0,13	-	-	-	-	-	416
Viga	0	0,0	0	0,00	-	-	-	-	-	0
Tabua	222	24,6	513	8,08	-	-	-	-	-	10423
Prancha	0	0,0	0	0,00	-	-	-	-	-	0
Pranchao	0	0,0	0	0,00	-	-	-	-	-	0
<b>Total</b>	<b>222</b>	<b>24,6</b>	<b>819</b>	<b>9,12</b>	<b>110,93</b>	<b>15,45</b>	<b>86,37</b>	<b>101,81</b>	<b>0,37</b>	<b>11722</b>

Para o padrão de corte Longitudinal (tangencial), usando um ângulo médio de 30° para costaneiras laterais, os resultados são mostrados na Tabela 6, com o aproveitamento potencial de 486 peças (pontaletes, vigas e tábuas), O rendimento aumentou para 44% do volume de toras, ou 10,69 m<sup>3</sup> de material serrado, com um resíduo de 100,24 m<sup>3</sup>. A receita foi de R\$ 11.005, ou R\$ 1029/m<sup>3</sup> serrado. Embora o rendimento tenha aumentado, a atribuição de preço ao tipo de peças resultou em valor menor do que o desdobro pelo quadrado circunscrito.

**Tabela 6.** Estimativa de peças de madeira serrada de eucalipto pelo método Longitudinal, dimensionadas por seções de 3,1 metros de comprimento, o rendimento e a receita bruta, para a amostra e por ha.

Peças	n toras	vr (m <sup>3</sup> )	n (peças)	v (peças)	Vt (m <sup>3</sup> )	vr-v (m <sup>3</sup> )	vt-vr (m <sup>3</sup> )	resid(m <sup>3</sup> ) =vt-v	Rend. (%)	R\$
<b>Amostra</b>										
Sarrafo	0	0,0	0	0,000	-	-	-	-	-	-
Ripão	0	0,0	0	0,000	-	-	-	-	-	-
Caibro	0	0,0	2	0,025	-	-	-	-	-	32
Pontalete	2	0,2	2	0,037	-	-	-	-	-	22
Ripa	0	0,0	0	0,000	-	-	-	-	-	-
Viga	13	1,4	26	0,620	-	-	-	-	-	625
Tabua	1	0,2	5	0,088	-	-	-	-	-	114
Prancha	0	0,0	0	0,000	-	-	-	-	-	-
Pranchao	0	0,0	0	0,000	-	-	-	-	-	-
Total	16	1,8	35	0,770	7,99	1,00	6,22	7,22	0,44	793
<b>ha</b>										
Sarrafo	0	0,0	0	0,00	-	-	-	-	-	0
Ripão	0	0,0	0	0,00	-	-	-	-	-	0
Caibro	0	0,0	28	0,34	-	-	-	-	-	444
Pontalete	28	2,4	28	0,52	-	-	-	-	-	306
Ripa	0	0,0	0	0,00	-	-	-	-	-	0
Viga	180	19,9	361	8,60	-	-	-	-	-	8673
Tabua	14	2,3	69	1,23	-	-	-	-	-	1582
Prancha	0	0,0	0	0,00	-	-	-	-	-	0
Pranchao	0	0,0	0	0,00	-	-	-	-	-	0
Total	222	24,6	486	10,69	110,93	13,87	86,37	100,24	0,44	11005

No padrão de corte Longitudinal/Radial os resultados na Tabela 7 mostram um aproveitamento potencial de 3.802 peças (ripões, caibros e ripas). O rendimento foi de 42% do volume de toras, com volume serrado de 10,42 m<sup>3</sup>, e resíduo total de 100,51 m<sup>3</sup>. Já a receita foi de R\$ 31.654 (R\$ 3037/m<sup>3</sup>), impulsionada por 3.719 ripas.

Estes resultados mostram a influência do volume e preço de referência na receita. O valor referência da ripa de 10 mm x 20 mm x 3,1 m é R\$ 2, mas parte das ripas selecionadas são de dimensões maiores, que ponderadas pelo volume, atingiram preços até de R\$ 10, no caso de ripas de 20 mm x 50 mm x 3,1 m.

**Tabela 7.** Estimativa de peças de madeira serrada de eucalipto pelo método Longitudinal/Radial, dimensionadas por seções de 3,1 metros de comprimento, rendimento e receita bruta, para a amostra e por ha.

Peças	n toras	vr (m <sup>3</sup> )	n (peças)	v (peças)	Vt (m <sup>3</sup> )	vr-v (m <sup>3</sup> )	vt-vr (m <sup>3</sup> )	resid(m <sup>3</sup> ) =vt-v	Rend. (%)	R\$
<b>Amostra</b>										
Sarrafo	0	0,0	0	0,000	-	-	-	-	-	0
Ripão	0	0,0	2	0,007	-	-	-	-	-	7
Caibro	1	0,2	4	0,064	-	-	-	-	-	83
Pontalete	0	0,0	0	0,000	-	-	-	-	-	0
Ripa	15	1,6	268	0,679	-	-	-	-	-	2191
Viga	0	0,0	0	0,000	-	-	-	-	-	0
Tabua	0	0,0	0	0,000	-	-	-	-	-	0
Prancha	0	0,0	0	0,000	-	-	-	-	-	0
Pranchao	0	0,0	0	0,000	-	-	-	-	-	0
Total	16	1,8	274	0,751	7,99	1,02	6,22	7,24	0,42	2281
<b>ha</b>										
Sarrafo	0	0,0	0	0,00	-	-	-	-	-	0
Ripão	0	0,0	28	0,10	-	-	-	-	-	100
Caibro	14	2,3	56	0,89	-	-	-	-	-	1154
Pontalete	0	0,0	0	0,00	-	-	-	-	-	0
Ripa	208	22,3	3719	9,42	-	-	-	-	-	30400
Viga	0	0,0	0	0,00	-	-	-	-	-	0
Tabua	0	0,0	0	0,00	-	-	-	-	-	0
Prancha	0	0,0	0	0,00	-	-	-	-	-	0
Pranchao	0	0,0	0	0,00	-	-	-	-	-	0
Total	222	24,6	3802	10,42	110,93	14,14	86,37	100,51	0,42	31654

Para o padrão de corte Radial, foram calculadas de 2.331 peças (sarrafos, caibros, ripas, vigas e tábuas) (Tabela 8). Seu rendimento em volume de peças ficou na faixa de 51% do volume serrado, pois esse modelo de desdobro aumenta o aproveitamento para madeira de pequenas dimensões e obtém peças com menor tensão de crescimento, embora não seja preferível nas serrarias por exigir muitas operações com a tora. O resíduo total foi de 98,49 m<sup>3</sup>, e o volume serrado de 12,44 m<sup>3</sup>. A receita de peças serradas ficou em R\$ 17.005/ha, ou R\$ 1367/m<sup>3</sup> serrado.

**Tabela 8.** Estimativa de peças de madeira serrada de eucalipto pelo método Radial, dimensionadas por seções de 3,1 metros de comprimento, o rendimento e a receita bruta, para a amostra e por ha.

Peças	n toras	vr (m³)	n (peças)	v (peças)	Vt (m³)	vr-v (m³)	vt-vr (m³)	resid(m³) =vt-v	Rend. (%)	R\$
<b>Amostra</b>										
Sarrafo	0	0,0	56	0,053	-	-	-	-	-	43
Ripão	0	0,0	0	0,000	-	-	-	-	-	0
Caibro	10	1,0	44	0,466	-	-	-	-	-	602
Pontalete	0	0,0	0	0,000	-	-	-	-	-	0
Ripa	0	0,0	44	0,084	-	-	-	-	-	272
Viga	5	0,6	20	0,243	-	-	-	-	-	245
Tabua	1	0,2	4	0,050	-	-	-	-	-	64
Prancha	0	0,0	0	0,000	-	-	-	-	-	0
Pranchao	0	0,0	0	0,000	-	-	-	-	-	0
Total	16	1,8	168	0,897	-	-	-	-	-	1226
<b>ha</b>										
Sarrafo	0	0,0	777	0,74	-	-	-	-	-	597
Ripão	0	0,0	0	0,00	-	-	-	-	-	0
Caibro	139	13,7	611	6,47	-	-	-	-	-	8347
Pontalete	0	0,0	0	0,00	-	-	-	-	-	0
Ripa	0	0,0	611	1,17	-	-	-	-	-	3774
Viga	69	8,6	278	3,37	-	-	-	-	-	3399
Tabua	14	2,3	56	0,69	-	-	-	-	-	888
Prancha	0	0,0	0	0,00	-	-	-	-	-	0
Pranchao	0	0,0	0	0,00	-	-	-	-	-	0
Total	222	24,6	2331	12,44	110,93	12,12	86,37	98,49	0,51	17005

## VALIDAÇÃO

Uma etapa fundamental na proposição de metodologias é a confiabilidade nos resultados. Neste capítulo será apresentada a validação da rotina do Quadrado Circunscrito. O critério de validação foi a exatidão entre dimensões e quantidade de peças de madeira serrada, obtidas na serraria, e calculadas pelos programas CalcMadeira, SawModel e CutLog.

Para o teste foram utilizadas 12 árvores do clone GG100 em sistema ILPF, em Maravilhas-MG. Foram cubadas 9 árvores para a equação de afilamento (Eq. 1), sobrando 3 árvores para o desdobro. Os maquinários utilizados foram uma serra fita, e serra circular de bancada de uma serraria em Matozinhos – MG, com espessura da serra de 5 mm (consumo na serragem).

$$di_{casc} = \sqrt{1.036986 - 1.452231 \times \frac{hi}{ht} + 0.428221 \times \left(\frac{hi}{ht}\right)^2} \times dap \quad (1), \text{ com } R^2=99\%.$$

Na serraria, foram informadas as peças de interesse, com dimensões, e a prioridade entre elas. A Tabela 9 mostra as dimensões das árvores utilizadas, a quantidade de toras fornecidas e as peças para o desdobro. A altura do toco foi de 15 cm.

**Tabela 9.** diâmetro na altura do peito (Dap), altura total (Ht), espessura de casca (es\_casc), toras extraídas; prioridade de seleção de peças (Prior.), com sua largura (L), espessura (es) e comprimento (C).

Arvore	Dap (cm)	Ht (m)	es_casc (%)	Toras
1	26,8	29,6	4,2	6
2	23,6	29,5	5,2	6
3	23,5	30,8	4,8	7
Peças	Prior.	L (cm)	es (cm)	C (m)
Tabua	3	12	3	3,1
Ripao	1	5	3	3,1
Ripa	2	4	2	3,1

Visando experimentar o atendimento da serraria, seguiu-se o procedimento usual, sem informar a quantidade de peças calculadas. O modelo do Quadrado Circunscrito não foi totalmente atendido, 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. Na Figura 2.1, 2.2 e 2.3 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.

Figura 2. Operações na serraria (1), peças desdobradas (2), serragem final de ripões e ripas na serra circular (3).



(1)



(2)



(3)

Das toras fornecidas à serraria, com o desdobro e cálculos pelos respectivos programas, foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 10. No desdobro, mesmo informando as tabuas como a 3ª prioridade de peça, não foi possível extraí-las, pois o fracionamento de ripões e ripas de larguras menores impossibilitam sobras com larguras suficientes para tábuas, o que foi capturado pelos cálculos, com exceção dos gerados pelo SawModel. Pois esta aplicação prioriza a otimização por dimensões ou valor das peças, e nesta comparação foi utilizada a prioridade por dimensões.

**Tabela 10** – Quantidade de peças, volume e rendimento de toras obtidas em serraria e calculadas pelos respectivos programas.

	Ripões	Ripas	Tabuas	Volume (m³)	Rendimento (%)
Serraria	106	32	-	0,5538	36
CalcMadeira	104	15	-	0,5040	33
SawModel	60	88	20	0,6972	45
CutLog	110	40	-	0,5910	38

O módulo de otimização do CutLog “Pattern Cut Optimizing Function”, que considera uma região prioritária de desdobro (*Middle boards*) e outra secundária (*side boards*), usando o limite de 110 mm para largura da peça, apresentou cálculos bem próximos do resultado de desdobro, divergindo em 3 ripas (7% de erro), e em 4 ripões (4% de erro).

Na Tabela 11 são apresentados resultados dos dados medidos na tora (*vr\_t*, *di\_casc\_t*) e obtidos no desdobro (*nd*), os calculados pelo CalcMadeira (*vr\_c*, *di\_casc\_c*, *nc1*), e a quantidade de peças geradas pelo SawModel (*nc2*), o CutLog (*nc3*).

**Tabela 11.** Volume da tora observado (*vr\_t*), diâmetro com casca medido na tora (*di\_casc\_t*), Volume da tora calculado (*vr\_c*), diâmetro com casca calculado (*di\_casc\_c*), diâmetro sem casca calculado (*di\_c*), exatidão percentual do volume da tora (*Ex%vr*), exatidão % do diâmetro com casca (*Ex%di\_casc*), número (*nd*) de peças serradas, número de peças calculadas (*nc*) e erro de peças calculadas (*nd-nc*) pelas aplicações (1) CalcMadeira, (2) SawModel, (3) CutLog.

Arv	Tora	Peça	<i>vr_t</i>	<i>di_casc_t</i>	<i>vr_c</i>	<i>di_casc_c</i>	<i>Ex%vr</i>	<i>Ex%di_casc</i>	<i>nd</i>	<i>nc1</i>	<i>nc2</i>	<i>nc3</i>	<i>nd-nc (1)</i>	<i>nd-nc(2)</i>	<i>nd-nc(3)</i>
1	1	Ripão	0,1635	23,6	0,162	25,2	-0,9	7,2	13	12	9	10	1	4	3
1	1	Ripa							1	3	7	6	-2	-6	-5
1	1	Tabua							0	0	2	0	0	-2	0
1	2	Ripão	0,1182	21,2	0,1386	23,3	17,3	9,6	14	8	7	8	6	7	6
1	2	Ripa							0	0	5	4	0	-5	-4
1	2	Tabua							0	0	2	0	0	-2	0
1	3	Ripão	0,0987	19,7	0,1168	21,3	18,3	7,9	9	8	4	8	1	5	1
1	3	Ripa							0	0	6	4	0	-6	-4
1	3	Tabua							0	0	2	0	0	-2	0
1	4	Ripão	0,0814	17,5	0,0964	19,2	18,4	9,8	4	6	3	6	-2	1	-2
1	4	Ripa							0	0	3	0	0	-3	0
1	4	Tabua							0	0	2	0	0	-2	0

1	5	Ripão	0,0631	15,2	0,0775	17,1	22,9	12	6	6	2	6	0	4	0
1	5	Ripa							0	0	6	0	0	-6	0
1	5	Tabua							0	0	1	0	0	-1	0
1	6	Ripão	0,0483	13,4	0,0601	14,9	24,3	10,9	3	2	4	4	1	-1	-1
1	6	Ripa							1	2	2	0	-1	-1	1
1	6	Tabua							0	0	0	0	0	0	0
2	1	Ripão	0,1284	21,6	0,1256	22,2	-2,2	3	9	8	8	10	1	1	-1
2	1	Ripa							3	0	1	4	3	2	-1
2	1	Tabua							0	0	1	0	0	-1	0
2	2	Ripão	0,0966	18,9	0,1074	20,5	11,2	8,3	8	6	3	8	2	5	0
2	2	Ripa							2	3	3	2	-1	-1	0
2	2	Tabua							0	0	2	0	0	-2	0
2	3	Ripão	0,0792	17,8	0,0904	18,7	14,1	5,3	4	6	0	6	-2	4	-2
2	3	Ripa							1	0	10	0	1	-9	1
2	3	Tabua							0	0	1	0	0	-1	0
2	4	Ripão	0,0667	15,9	0,0746	16,9	11,8	6,3	3	6	2	6	-3	1	-3
2	4	Ripa							0	0	3	0	0	-3	0
2	4	Tabua							0	0	1	0	0	-1	0
2	5	Ripão	0,0525	14	0,0599	15	14	7,4	3	2	3	2	1	0	1
2	5	Ripa							0	2	3	4	-2	-3	-4
2	5	Tabua							0	0	0	0	0	0	0
2	6	Ripão	0,0383	11,5	0,0463	13	21	13,2	2	2	2	2	0	0	0
2	6	Ripa							1	0	2	2	1	-1	-1
3	1	Ripão	0,126	20,9	0,1249	22,2	-0,8	6	3	8	6	8	-5	-3	-5
*3	1	Ripa							5	0	6	4	5	-1	1
3	1	Tabua							0	0	1	0	0	-1	0
3	2	Ripão	0,0942	19	0,1076	20,5	14,3	7,9	8	6	3	8	2	5	0
3	2	Ripa							2	3	4	2	-1	-2	0
3	2	Tabua							0	0	2	0	0	-2	0
3	3	Ripão	0,081	18	0,0914	18,8	12,8	4,4	7	6	0	6	1	7	1
3	3	Ripa							1	0	6	0	1	-5	1
3	3	Tabua							0	0	2	0	0	-2	0
3	4	Ripão	0,0688	16,1	0,0762	17,1	10,7	6,1	3	6	2	6	-3	1	-3
*3	4	Ripa							3	0	4	0	3	-1	3
3	4	Tabua							0	0	1	0	0	-1	0
3	5	Ripão	0,0556	14,6	0,0621	15,3	11,7	5,2	3	2	2	4	1	1	-1
3	5	Ripa							1	2	5	0	-1	-4	1
3	5	Tabua							0	0	0	0	0	0	0
3	6	Ripão	0,0453	13,1	0,049	13,5	8,2	2,7	4	2	0	2	2	4	2
3	6	Ripa							0	0	6	4	0	-6	-4
3	6	Tabua							0	0	0	0	0	0	0
3	7	Ripão	0,0337		0,037	11,6	9,8		0	2	0	0	-2	0	0

\*peças rachadas (aproveitamento com ripas); 11 ripas perderam a identificação da tora no processo de desdobro na serra de bancada.

Os resultados de volume da tora indicam a perda de exatidão ( $Ex\%vr$ ) quando não se usa uma equação de Taper da árvore, comprovada por 14 resultados com viés acima de 10%. Verificou-se também tendenciosidade na estimativa da forma, com predominância de resultados de exatidão positivos. Os valores de  $Ex\%di\_casc$ , embora com poucos resultados acima de 10%, apresentaram imprecisão significativamente maior quando são utilizadas equações de afilamento por árvore (Costa et al. 2019).

Referente aos resultados, na comparação entre a quantidade de ripões serrados e calculados, o maior viés ocorreu na árvore 1 tora 2, com 6 e 7 peças serradas a mais, não encontrando-se justificativa para esta diferença. As diferenças de 5 e 3 peças nas toras 1 e 4 da árvore 3 obtidas na comparação com resultados do CalcMadeira foram provavelmente 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, embora existam 11 ripas não identificadas no desdobro, de forma que existe a probabilidade de uma ou mais dessas peças terem sido originadas de qualquer tora.

Como o desdobro praticado na serraria não é exatamente o quadrado circunscrito, mas um método empírico que se aproxima do bloco, a habilidade do operador pode ter aumentado o rendimento com a produção de ripas nas sobras, que são peças de 2ª prioridade, o que era esperado.

Contribuíram ainda uma peça rachada na 1ª etapa do desdobro, na tora 1 da árvore 3, e a tortuosidade da tora 4 da mesma árvore, convertendo o aproveitamento de ripões para ripas. 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.

No caso do SawModel, que usa otimização, para aproveitar o máximo do volume da madeira, a ordem de prioridade foi da peça maior para a menor. Desta forma, a tábua em 3ª opção pode ser contemplada, o que não foi possível no CalcMadeira com o estabelecimento da preferência como ordem de prioridade, porque o desdobramento em larguras menores de ripões e ripas impossibilitam sobras com larguras maiores. O mesmo acontece na prática, a não ser que fossem separadas algumas peças brutas para tábuas antes de serrar ripões.

Se considerarmos que uma tábua inclui dois ripões, que somam 10,5 centímetros de largura (0,5 cm de perda pela serra), com sobra de 1,5 cm em relação a largura da tábua, as 20 tábuas podem ser convertidas em aproximadamente 40 ripões, alterando o resultado do SawModel para 100 ripões e 88 ripas. Verifica-se um rendimento em ripas muito superior

ao calculado pelo método do bloco. Por outro lado, o uso máximo das bordas da tora não é recomendado por concentrar as maiores tensões de crescimento e madeira jovem, com maior propensão ao empenamento das peças.

No caso do CutLog, somente no módulo “Pattern Cut”, que é um módulo desenvolvido para atender um padrão de desdobro da região onde o software foi desenvolvido, com dimensões aproximadas as disponibilizadas na sua versão Demo, foi possível conseguir estimativas muito próximas dos dados reais de desdobro de ripões e ripas.

Mas, embora existam métodos padronizados de desdobro, reproduzidos por softwares via otimização ou outras formas de cálculo, é fato que muitas operações de desdobro, na prática, não seguem exatamente estes padrões. Entretanto, os softwares testados estimaram com razoável exatidão a produção de peças desdobradas de um destes procedimentos empíricos, similar ao utilizado em Anjos e Fonte (2017).

Os fatores que geraram maiores viés correspondem as imperfeições detectadas, como a tortuosidade de algumas toras, ou na etapa de desdobro, com o aparecimento de rachaduras, verificadas nas toras 1 e 4 da árvore 3. Verificou-se também que as estimativas do CalcMadeira, SawModel (considerando a conversão de tábuas para ripões) e o CutLog, limitando a largura em 110 mm (nc3), não foram discrepantes nas quantidades de peças de 1ª prioridade, mesmo variando a forma de cálculo entre as aplicações.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A proposição deste software para o cálculo de peças de madeira roliça e serrada é agregar valor à madeira de florestas, auxiliando na sua valoração na fase da comercialização. Desta forma, produtores rurais podem aumentar suas oportunidades de negociação, ofertando produtos e não somente metros cúbicos. Ao mesmo tempo as indústrias podem planejar a compra da madeira bruta conforme sua expectativa de demanda em serrarias, na construção civil ou moveleira.

## **AGRADECIMENTOS**

Desenvolvido em sua 1ª versão na atividade do projeto “SisCerrado - Produtividade madeireira no SIs e em sistemas de referência de modelos físicos de longa duração”, e atingiu maturidade para lançamento no desenvolvimento da 2ª versão, com a solução 20.18.03.015.00.06 - Software para quantificar multiprodutos do componente florestal em sistemas ILPF e em monocultivo, para estimativa de receita com a árvore em pé, como alternativa a valoração em estéreo e metro cúbico, no projeto “Estratégia ILPF para inovação agropecuária na região do Cerrado Mineiro e áreas limítrofes”.

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 e Myriam Maia Nobre pela construção dos processos do INPI, ao Felipe Henrique Figueiredo e Rafael de Deus Ribeiro da SIG Soluções Ltda pelo suporte na conversão dos algoritmos para a linguagem Python.

## ■ REFERÊNCIAS

1. ABIMCI- Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente. **Estudo setorial**. 2016
2. 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>.
3. BINOTI, D. H. B. **Sistemas computacionais aplicados ao manejo florestal**. 2012. 113 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
4. 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](http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622003000600006).
5. 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, 2019. 24 p. : il. -- (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1679-0154; 194).
6. COSTA, T.C.C.; CAMPANHA, M. M.; FRANÇA, L. F. M. CalcMadeira: Sistema para estimativa de peças de madeira roliça e serrada. In: OLIVEIRA, E. B.; PINTO JÚNIOR, J. E. (Eds.). O eucalipto e a Embrapa: 40 anos de pesquisa e desenvolvimento. Brasília, DF: Embrapa, 2020. Cap. 24. No prelo.
7. 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).
8. 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. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1092101>.
9. 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.
10. 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>.

11. 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>.
12. 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.
13. MORAES NETO, S. P. de. **Madeira de eucalipto para serraria**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2017. 56 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 340).
14. 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.
15. 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).
16. 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>.
17. 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
18. 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>.
19. 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>.
20. TEKL STUDIO. **CultLog software**. Detva, 2018. Disponível em: <https://www.cutlog.com/index.php/downloads>. Acesso em: 21 ago. 2018.