

A serra de fita

Prof. Hernando Alfonso Lara Palma

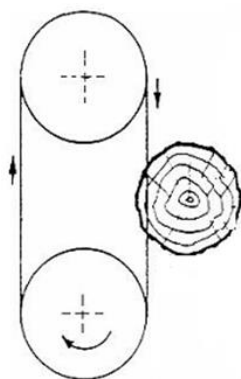
Aula 08

**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA FLORESTAL
PROCESSAMENTO MECÂNICO DA MADEIRA**

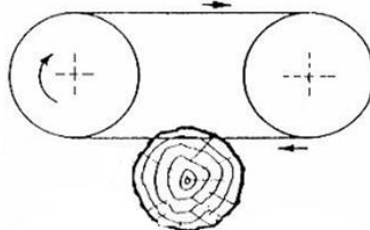
BOTUCATU / SP
2020

1. CLASSIFICAÇÃO DAS MÁQUINAS DE SERRA FITA

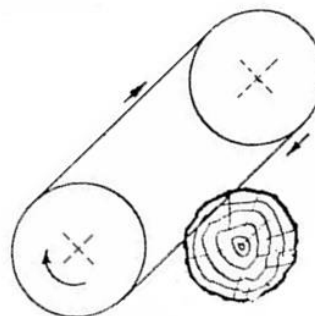
a) Posição dos volantes



Vertical



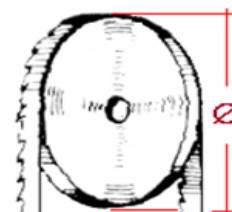
Horizontal



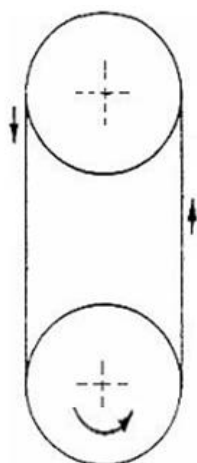
Inclinada

b) Diâmetro dos volantes

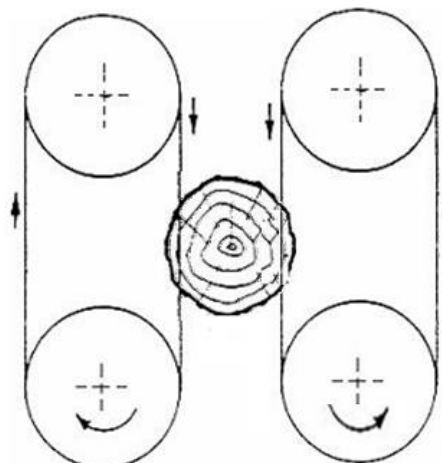
- Máquinas leves (\varnothing volantes $< 1,10$ m)
- Máquinas médias (\varnothing volantes $1,10$ m a $1,50$ m)
- Máquinas pesadas (\varnothing volantes $> 1,50$ m)



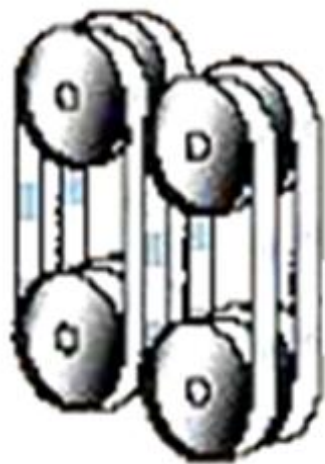
c) Quantidade de cortes por passagens



Simples



Dupla ou geminada

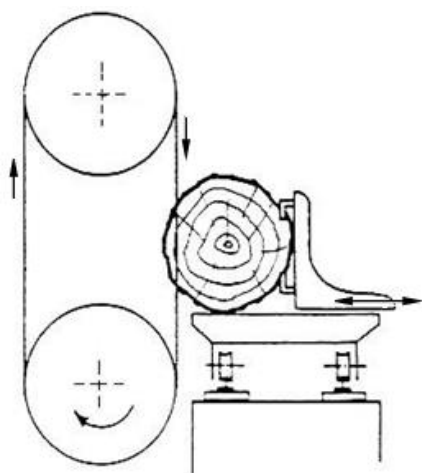


Quádrupla

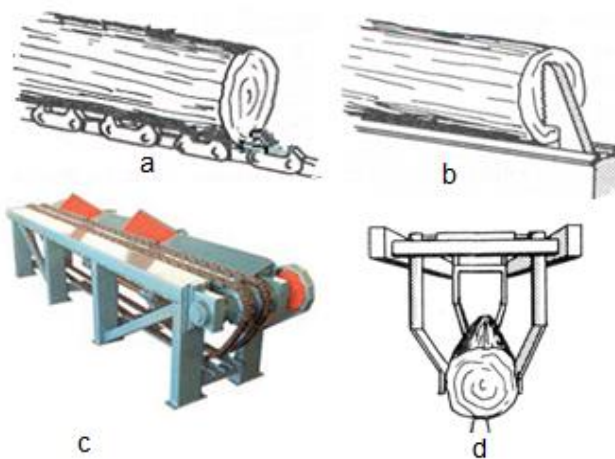


Tandem

d) Tipo de avanço da madeira

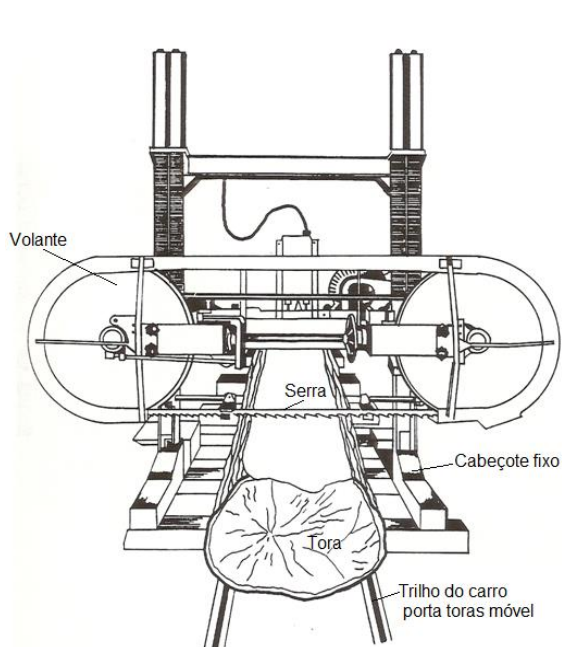


Carro porta-toras

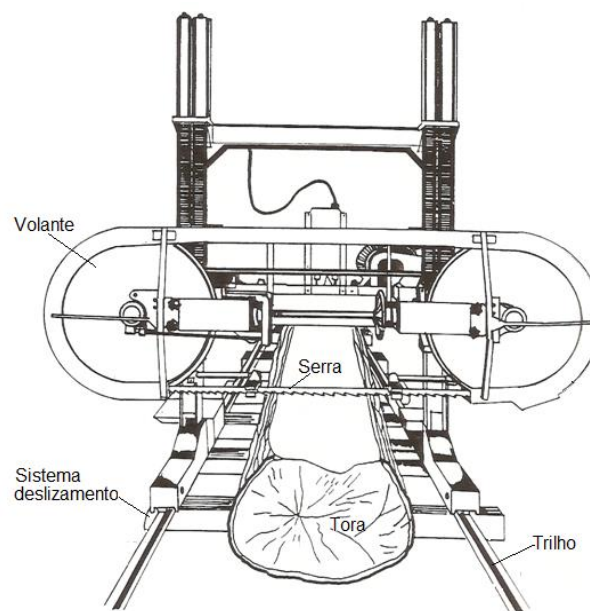


Sem carro: a) correntes; b) trilho;
c) calha; d) trilho suspenso

e) Deslocamento relativo da lâmina e a madeira



Serra fita horizontal com cabeçote fixo



Serra fita horizontal com cabeçote móvel

f) Número de bordas dentadas da lâmina de serra



Monocortes



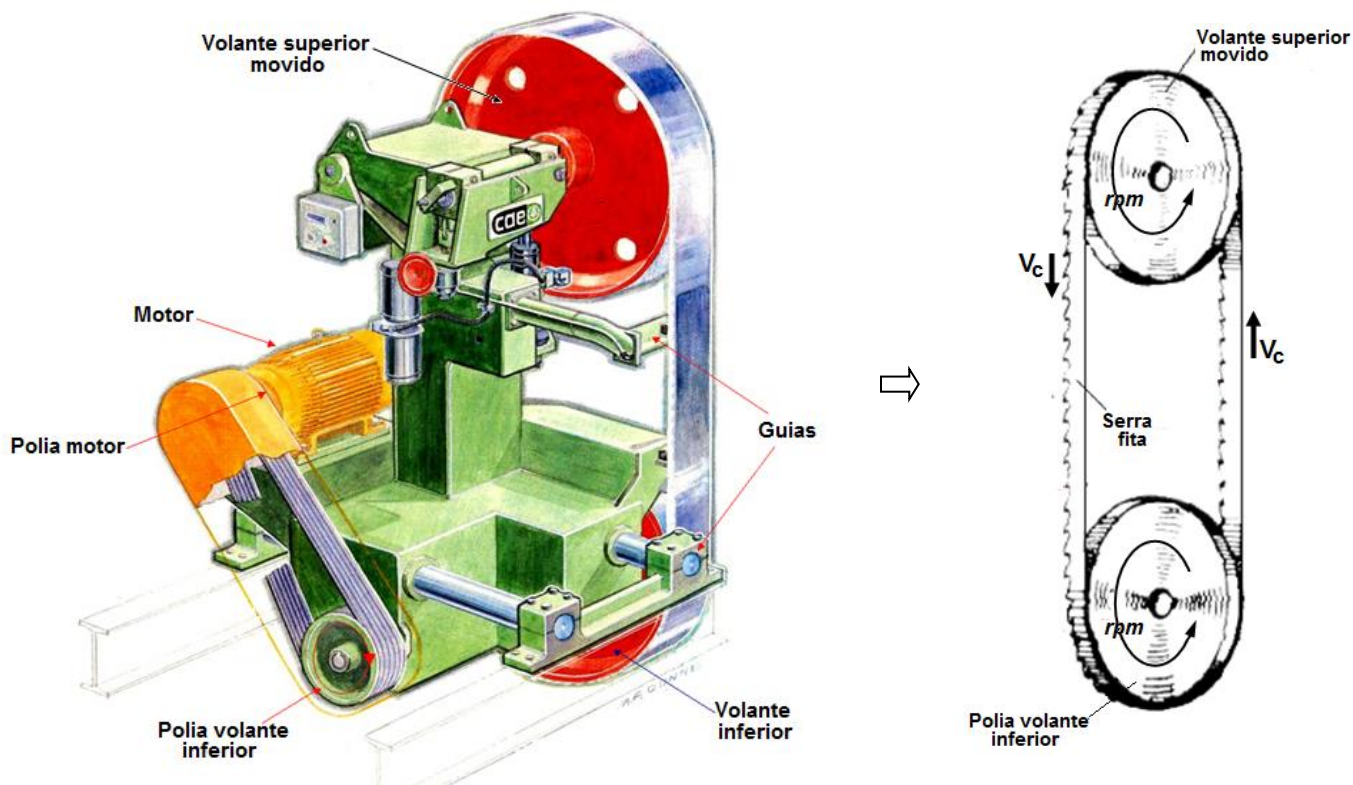
Bicortes

g) Largura da serra (B)

- Serra de fita estreita → $B < 75 \text{ mm}$
- Serra de fita larga → $B > 75 \text{ mm até } 400 \text{ mm}$



2. CARACTERÍSTICAS E PARÂMETROS BÁSICOS DA SERRA DE FITA



Os diâmetros dos volantes são iguais. O volante superior movimenta-se verticalmente (afastamento e aproximação) do volante inferior fixo, para tensionamento (esticamento) da lâmina.

a) Forma dos volantes

Nas lâminas de serra largas (>100 mm), normalmente utilizam-se volantes abaulados (convexos), para estabilizar a posição da lâmina nos volantes durante o processo de corte (Figura 1). As lâminas estreitas utilizam geralmente volantes planos (perfil a).

As máquinas de lâminas estreitas utilizam volantes planos. Para as serras bicorte o abaulado é simétrico (perfil b) e para as serras monocorte o abaulado é assimétrico (perfil c e d).

Os volantes devem ser retificados aproximadamente a cada cinco mil horas de funcionamento. O desgaste deve-se ao atrito entre a superfície dos volantes e a lâmina, sujeiras ou resina aderida. Se mudar o perfil do abaulamento a lâmina fica submetida a tensões desnecessárias, podendo ser danificada.

A Figura 1 esquematiza as formas dos volantes, onde “w” corresponde à largura dos volantes

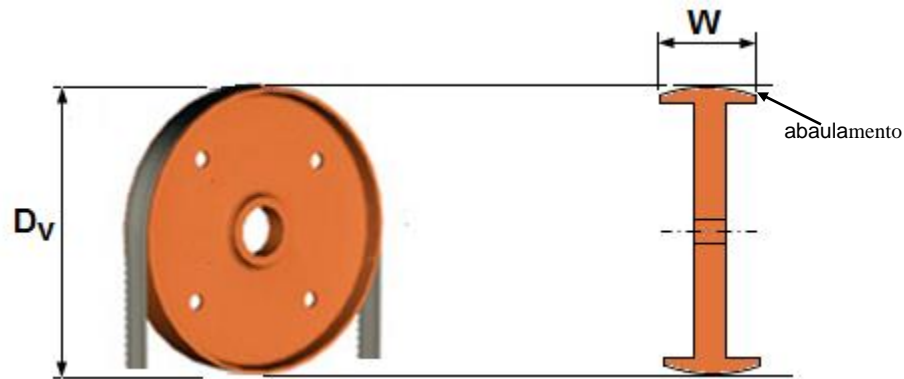


Figura 1 – Perfil dos volantes.

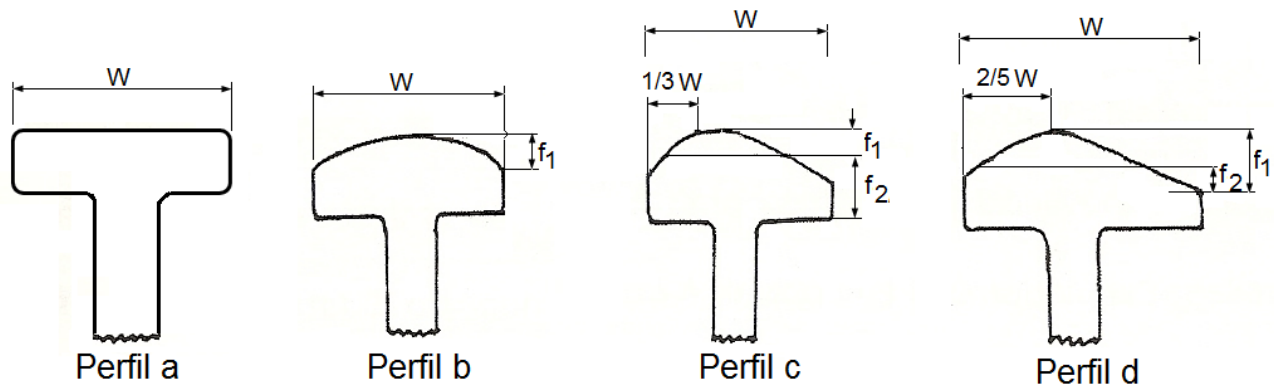


Figura 2 – Perfil dos volantes (adaptado de Sales, 1990)

Tabela 1 – Valores de f_1 e f_2 para os volantes de perfil “b” e “c” (Sales, 1990)

Largura do volante-w	Perfil "c"	Perfil "c"	Perfil "b"
mm	f_1 em mm	f_2 em mm	f_1 em mm
90 - 110	0,10 - 0,11	0,12 - 0,18	0,10 - 0,20
110 - 130	0,11 - 0,12	0,15 - 0,20	0,15 - 0,25
130 - 160	0,12 - 0,13	0,18 - 0,23	0,17 - 0,27
160 - 210	0,13 - 0,14	0,20 - 0,26	0,25 - 0,35
210 - 270	0,14 - 0,15	0,25 - 0,31	0,30 - 0,40
270 - 330	0,15 - 0,16	0,28 - 0,35	0,35 - 0,45

Os valores de f_1 e f_2 variam em função da largura dos volantes e a largura dos volantes varia com o diâmetro (geralmente $D_v/7$ e $D_v/12$).

b) Espessura da serra de fita (a)

Os esforços solicitantes em uma lâmina de serra de fita são divididos em um estudo estático e dinâmico.

Do ponto de vista estático, uma lâmina instalada sobre os volantes de uma máquina de serra e sujeita à tensão de esticamento sofre dois tipos de solicitações mecânicas.

A porção da lâmina que envolve os volantes sofre uma flexão de raio igual ao raio dos volantes, caracterizada por um alongamento da face convexa e por um encurtamento da face côncava (Figura 3). A tensão de flexão máxima ocorre nas extremidades e é calculada pela expressão (1).

$$\sigma_F = \frac{E \times a}{D_V} \quad (1)$$

Onde:

E - módulo de elasticidade do aço 2,1 a 2,6 milhões kg/cm²

σ_F - tensão de flexão máxima (N/mm²) - $\sigma_F \leq 200$ N/mm²

a - espessura da lâmina (mm)

D_V - diâmetro dos volantes (mm)

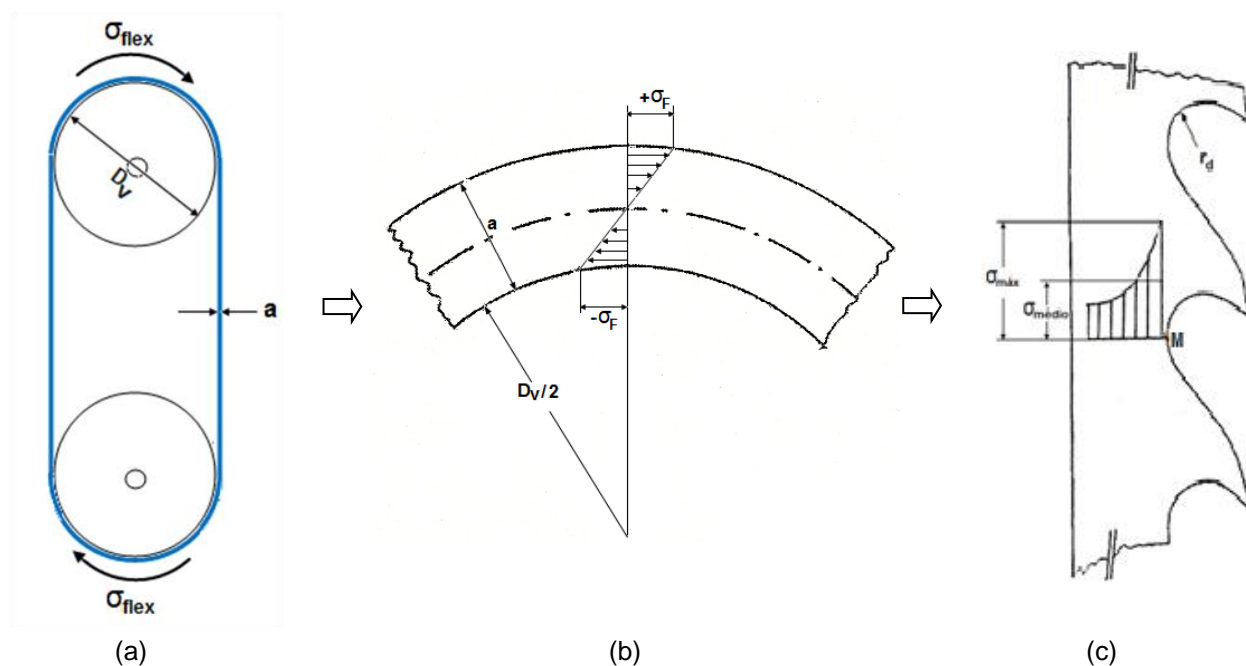


Figura 3 – Tensão de flexão nos volantes: a) flexão da lâmina; b) tensão de flexão; c) tensão máxima e média (Sales, 1990).

No trabalho de corte a lâmina se flexiona sobre os volantes da máquina e uma força de tensão (F) devido ao esticamento é exercida sobre os mesmos. Como resultado surge uma força estabilizadora ($F/2$) sobre a lâmina a qual segura um corte com precisão. A tensão de esticamento induz uma tensão de tração (σ_t) na seção transversal da lâmina (Figura 4). A tensão de tração normal (σ_t) nas lâminas de serra fita recomendada no processo de desdobro varia de 1000 a 2500 kg/cm². A eleição do valor correto deve seguir sempre a recomendação do fabricante. A tensão de tração pode ser calculada pela equação (2).

$$\sigma_t = \frac{F}{2 \times a \times B'} \quad (2)$$

Onde:

- σ_t - tensão de tração (N/mm²)
- F - esforço (força) de tração aplicado ao vão livre (N)
- a - espessura da lâmina (mm)
- B - largura da lâmina (mm)
- B' - ($B - h_d$)
- h_d - altura do dente (mm)

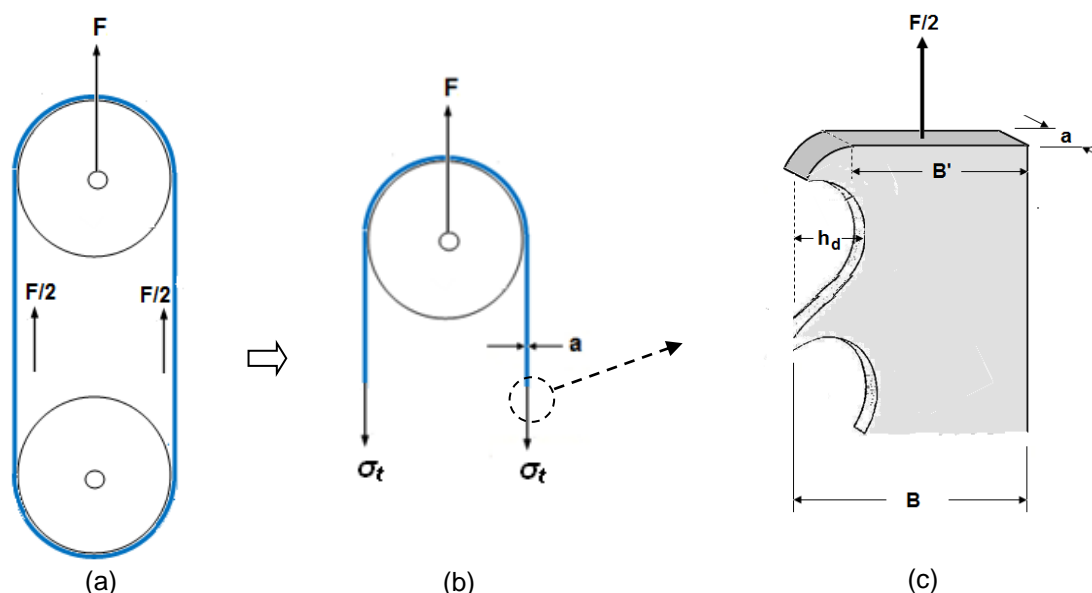


Figura 4 – Tensão de tração na lâmina: a) força de tração na serra; b) tensão de tração na serra; c) área submetida a tração na lâmina.

A região dos dentes atua como um fator de não uniformidade da distribuição de tensão de tração, na largura da lâmina. Sua presença forma uma zona de concentração de tensão no fundo da garganta do dente, sendo maior nas proximidades do ponto M (Figura 3c). A tensão máxima condiciona a durabilidade da lâmina, ela pode ser alta o suficiente para danificá-la, como por exemplo, uma fissura que levará à ruptura da serra.

Do ponto de vista dinâmico a lâmina de serra de fita sob rotação dos volantes é exposta a dois tipos de solicitações mecânicas: uma tensão permanente (σ_P), correspondendo à tensão de esticamento; e uma tensão variável, devido ao curvamento da lâmina sobre a face dos volantes, sendo ($-\sigma_c$) a tensão de compressão, sobre a face de contato com o volante e ($+\sigma_c$) a tensão de tração sobre a face oposta.

A espessura da lâmina de serra vem determinada pelo diâmetro dos volantes. Como regra empírica, a espessura não deve exceder 1/1000 do diâmetro do volante.

Segundo Uddeholm (1993), esta relação tem provado dar bons resultados na prática e também desde o ponto de vista teórico, pois as tensões de flexão estão neste caso limitadas a 2000 kg/cm². Segundo Daloss (1990), a equação (1) pode ser utilizada para estimar a espessura da lâmina de serra de fita, considerando valores de módulo de elasticidade do aço de 2,1 a 2,2 milhões de kg/cm². Assim:

$$a = (0,001 \text{ a } 0,0012) \times D_v \quad (\text{m})$$

Onde:

0,001 para D_v até 1,10 m

0,0012 para $D_v > 1,10$ m

De uma forma geral, no desdobro de toras utilizam-se espessuras de lâminas entre 0,8 a 3,5 mm. Lâminas com espessura fora destes limites implicam na formação de fissuras no fundo da garganta em pouco tempo de uso.

Quando menor for a espessura da lâmina, menor será a perda de serragem, porem implica ao mesmo tempo em menor precisão do corte, devido à instabilidade lateral da lâmina (vibração) e durabilidade menor da serra.

c) Largura da serra de fita (B)

A largura da lâmina de serra vem determinada pela máquina de desdobro na qual deve ser instalada. A largura máxima da lâmina é igual à largura do volante (B) mais a altura do dente (h_d) mais 3 a 5 mm (Figura 5).

Os dentes da serra não podem girar sobre os volantes, pois perdem o gume e leva a cortes inclinados. O fundo da garganta deve ficar de 3 a 5 mm enfrente da borda do volante. Durante o corte esta região esta submetida à maior concentração de tensões (Figura 3c), situação que leva a uma maior tendência de formação de fissuras no fundo da garganta.

O dorso da lâmina nunca deve sobre sair do volante. Lâminas de serras largas ocasionam maior estabilidade durante o corte, permitem maiores velocidades de avanço (v_a) e requerem maiores trabalhos de manutenção (tensionado, afiação, etc). Serras muito estreita produzem riscos de saída da lâmina dos volantes devido à grande força de impacto da madeira e também existe a possibilidade de ruptura da lâmina devido à formação de grande quantidade de fissuras no fundo da garganta.

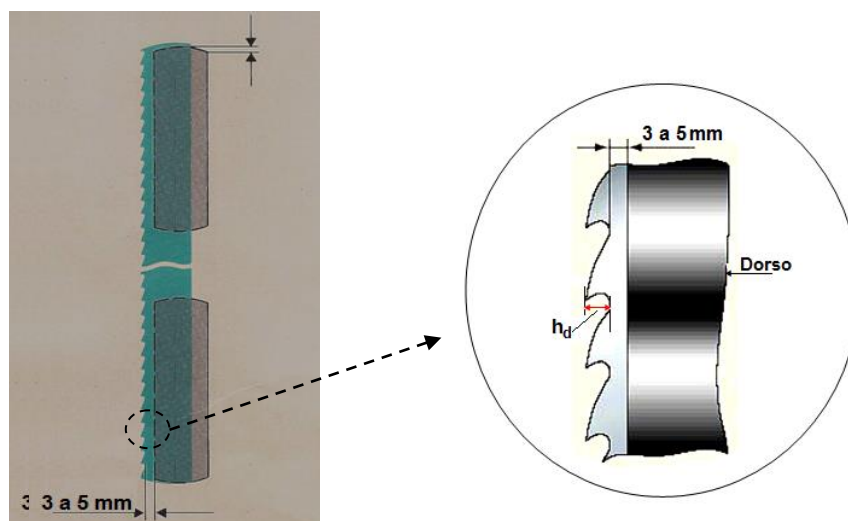


Figura 5 – Largura da lâmina de serra de fita.

De uma forma geral uma lâmina de serra para desdobro pode ser utilizada até que sua largura atinja aproximadamente 1/3 da largura inicial, isto com uma adequada manutenção. A relação (3) permite determinar a largura de uma lâmina de serra de fita.

$$B \leq W + h_d + 5\text{mm} \quad (3)$$

Onde:

B - largura da serra

W - largura do volante

h_d - altura do dente

Serras de fita estreitas $\rightarrow B < 75 \text{ mm}$

Serras de fita largas $\rightarrow B > 75 \text{ mm}$ até 400 mm

As máquinas de desdobro estão desenhadas em função das dimensões das lâminas de serra (comprimento, largura e espessura). Isto indica que para uma determinada máquina a eleição das dimensões da lâmina de serra é limitada.

d) Guias das serras

A finalidade das guias é manter a lâmina de serra reta e rígida durante o corte (na região do corte). Durante o processo de corte se originam forças laterais na lâmina (perpendiculares à lâmina) que tendem a empurrar a lâmina para fora do plano de corte (Figura 6). A grande força aplicada (F_a) no impacto da madeira com a lâmina é em grande parte por este problema. Esta situação origina desvio da serra da direção de corte e vibrações, situação que gera diferenças nas dimensionais das peças serradas.

A fim de estabilizar a lâmina, as guias devem ser colocadas próximas à tora durante o corte. Neste sentido tem uma grande importância a altura de corte livre da serra (h_{cs}) mantendo sempre esta região reta.

Normalmente se fixa uma guia inferior fixa e uma guia superior móvel que se ajusta em função do tamanho da tora ou altura de corte. Também existem guias de pressão que deslocam a lâmina uns 10 mm fora da posição reta para produzir maior rigidez na região do corte (Figura 6c). O material utilizado nas guias de pressão deve ser de baixa fricção para eliminar o calor gerado no contato.

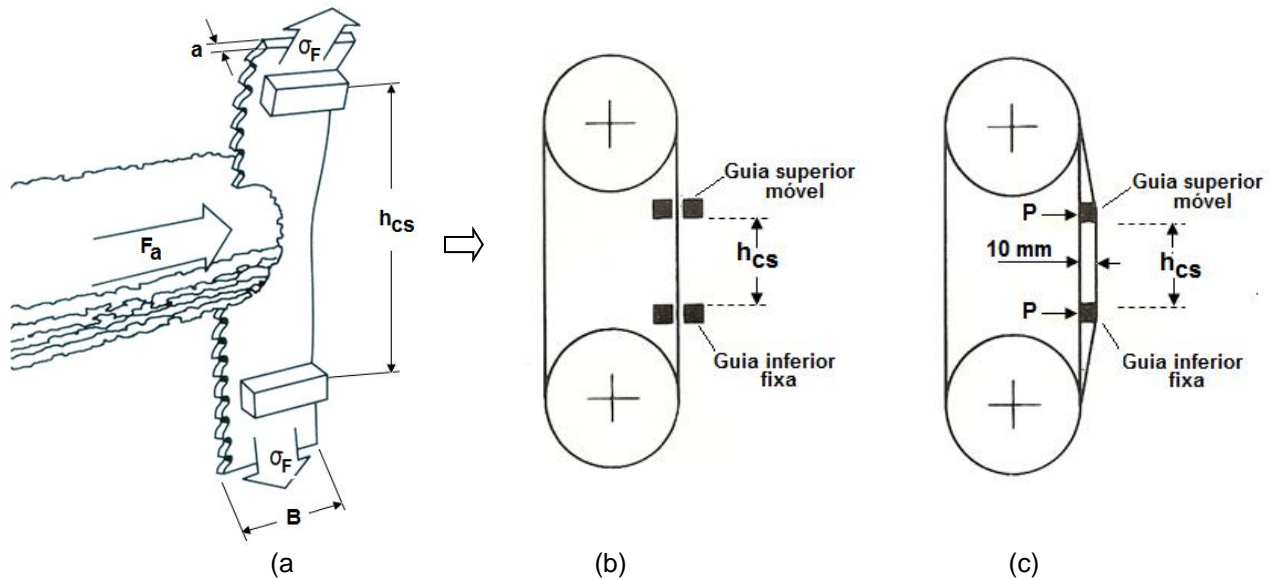


Figura 6 – Guias da serra: a) impacto madeira e serra; b) guias normais; c) guias de pressão.

e) Comprimento da serra (L)

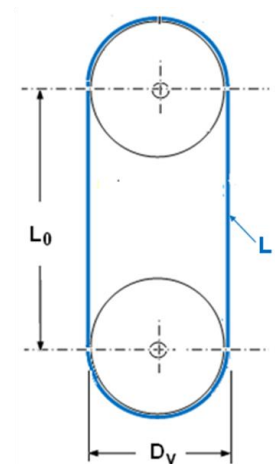
O comprimento da serra se determina de acordo com a seguinte relação:

$$L = \pi \times D_v + 2 \times L_0$$

Considerar um comprimento adicional para a união de 4 a 6 mm (S_L)

Recomendação:

$$L = (6,5 \text{ a } 7,0) \times D_v$$



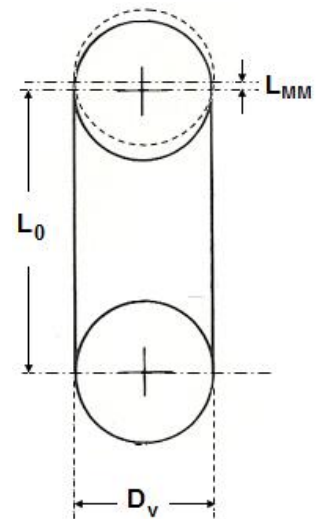
f) Distância entre os volantes (L_0)

A distância entre os centros dos eixos dos volantes superior e inferior define a altura de trabalho da máquina e o diâmetro maior da tora que é possível desdobrar. Esta relação é calculada pela seguinte expressão:

$$L_0 = 0,5 \times L - 1,57 \times D_v$$

L_{MM} = distância máxima e mínima entre os eixos dos volantes devido ao esticamento da serra

Volantes pequenos e L_0 grande → corte lento e sinuoso → perda de material. Volantes grandes e L_0 próximos → corte rápido e reto → economia de material.



g) Altura de trabalho ou de corte da máquina (h_{cs})

Representa a distância entre a guia superior móvel e a inferior fixa (Figura 7).

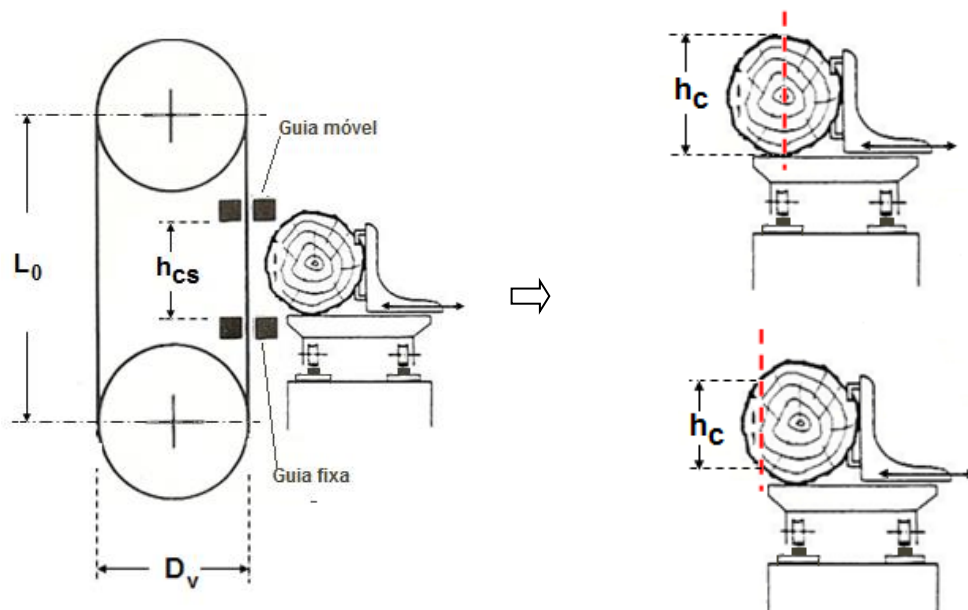


Figura 7 – Altura de trabalho da máquina de desdobro.

A guia superior da máquina tem uma altura máxima já definida pelo fabricante da serra. Esta altura pode ser calculada pela relação aproximada (4). Este valor vai definir a altura corte máximo (h_c) que pode realizar a serra.

$$h_{cs} \approx L_0 - 0,75 \times D_v \quad (4)$$

Exemplo: Calcular a altura de trabalho da serra se $L_0 = 2,4m$ e $D_v = 1,5m$.

$$h_{cs} \approx 2,4m - 0,75 \times 1,5m = 1,28m$$

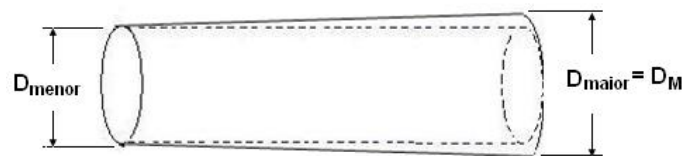
h) Diâmetro máximo da tora a desdobrar (D_M)

O diâmetro máximo é função da distância entre as guias e considerando-se que as toras não são cortadas normalmente pelo centro. Recomenda-se calcular-la pela seguinte expressão:

$$D_M = 1,0 \times h_{cs}$$

Onde:

D_M - diâmetro maior da tora



i) Largura de corte da serra (b)

Quando é efetuado o corte com larguras muito estreitas, a serra é pressionada pelo material e por isso aquece exageradamente. Para evitar este incidente, é preciso que a serra efetue o corte livre de atrito, ou seja, a largura de corte (b) deve ser nitidamente maior do que a espessura da serra (a).

O corte livre pode ser executado através de vários processos, sendo o recalco e o travamento os mais comuns. O travamento por torção é o método mais simples e consiste em dobrar em forma alternada e uniforme a ponta do dente a direita e a esquerda sucessivamente (Figura 8). Este processo é mais comum em serras de fitas estreitas e serras circulares (simples) utilizadas em processos de corte secundários.

O processo de recalco consiste em expandir a ponta do dente para os lados e a frente por meio de um aparelho específico “recalcador” (Figura 8).

Atualmente as serras de fita utilizadas nas serrarias são recalco e sua largura de corte se relaciona com a densidade da madeira.

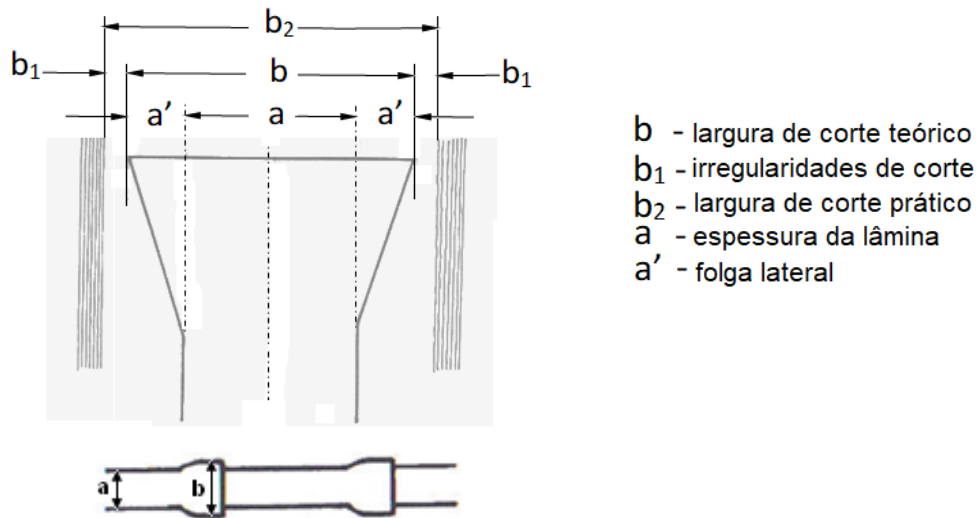


Figura 8 – Dente recalcado.

Valores de “b”

1. Fonte: Instituto Forestal, 1989

- madeiras muito moles $\rightarrow b = (2,1 \text{ a } 2,5) \times a$
- madeiras de densidade média $\rightarrow b = (1,8 \text{ a } 2,1) \times a$
- madeiras de densidade alta $\rightarrow b = (1,6 \text{ a } 1,9) \times a$

2. Fabricante de serras UDDEHOLM, 1993

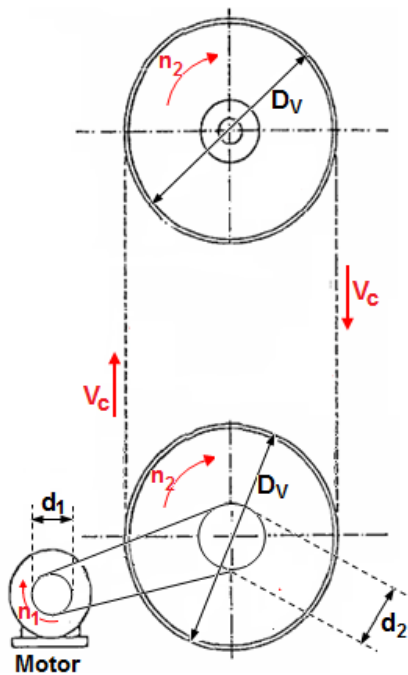
Tipo de madeira	a' - folga lateral (mm)	Densidade (g/cm^3)
Madeiras duras	0,30 - 0,35	$> 0,70$
Madeiras semiduras	0,40 - 0,45	0,45 - 0,70
Madeiras moles	0,50 a 0,60	$< 0,45$

3. Fonte: Vignote, P.S. e Jimenéz, P.F.J. (1996)

Tipo de madeira	a' - folga lateral (mm)
Madeira verde e mole	0,40 - 0,60
Madeira seca e dura	0,30 - 0,40

j) Velocidade de corte da serra (V_c)

A velocidade de corte vem determinada pelo diâmetro e a velocidade de rotação dos volantes, portanto é um movimento constante definido pelas características de fabricação da máquina. A velocidade corte normal é de aproximadamente 30 m/s podendo atingir no máximo até 60m/s. Velocidades maiores proporcionam cortes mais finos e velocidade de avanço (V_a) da madeira mais rápido, mas encurtará a duração da lâmina (há um limite no número de vezes que a lâmina pode suportar o dobrado por flexão nos volantes). A velocidade de rotação dos volantes é um movimento circular uniforme e sua velocidade linear periférica pode ser calculada pela relação (5) e a rotação dos volantes pode ser calcula pela relação (6).



$$V_c = \frac{\pi \times D_v \times n}{60} \quad (\text{m/s}) \quad (5)$$

V_c - velocidade de corte da serra, em m/s
 n - rotações dos volantes, em rpm

$$n_1 \times d_1 = n_2 \times d_2 \quad (6)$$

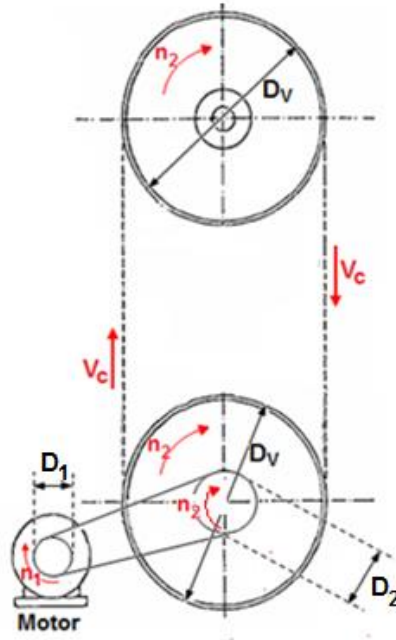
n_1 - rpm da polia do motor
 n_2 - rpm da polia do volante inferior da serra
 d_1 - diâmetro da polia do motor
 d_2 - diâmetro da polia do volante inferior da serra
 $n = n_2$

Valores de “ V_c ”

Tipo de madeira	VC (m/s)	Densidade (g/cm ³)
Madeiras muito duras ou abrasivas	20 - 30	> 0,72
Madeiras duras	30 - 35	0,60 - 0,72
Madeiras semiduras	35 - 40	0,45 - 0,60
Madeira moles	40 - 45	0,40 - 0,45
Madeiras muito moles	50 - 55	0,30 - 0,40

Exemplo de cálculo

Calcular a velocidade de corte da serra de fita e as rotações do volante superior, se: $n_1 = 1100\text{rpm}$; $D_1 = 35\text{cm}$; $D_2 = 38\text{cm}$; $D_v = 1,10\text{m}$.



Solução:

$$n_1 \times D_1 = n_2 \times D_2$$

$$1100\text{rpm} \times 35\text{cm} = n_2 \times 38\text{cm}$$

$$n_2 = \frac{1100\text{rpm} \times 35\text{cm}}{38\text{cm}} = \mathbf{1013\text{rpm}}$$

$$n_2 = n_{\text{volante inferior}} = n_{\text{volante superior}} = 1013 \text{ rpm}$$

$$V_c = \frac{\pi \times D_v \times n}{60} = \frac{\pi \times 1,1\text{m} \times 1013\text{rpm}}{60} = \mathbf{58,34 \text{ m/s}}$$

k) Velocidade de rotação dos volantes (n)

A velocidade de rotação dos volantes é um movimento circular uniforme e pode ser calculada da equação (5).

$$n = \frac{V_c}{\pi \times D_v}$$

V_c - velocidade de corte da serra, em m/min

n - rotações dos volantes, em rpm

D_v - diâmetro do volante, em m

Valores recomendados de “n”

Tipo de madeira	$D_v = 1500$ mm	$D_v = 1100$ mm
	rpm	rpm
Madeiras duras	510	640
Madeiras médias	400	540
Madeiras moles	280	380

l) Velocidade de avanço da madeira (V_a)

Em uma serra de fita a velocidade de avanço varia entre limites muito amplos. Em cada caso particular esta velocidade é determinada por: tipo de madeira, altura de corte (h_c), tolerâncias exigidas do produto serrado e acabamento superficial desejado. Altas velocidades de avanço implicam em maior produtividade, mais expõem os dentes da serra a maiores esforços, o que obriga a utilização de dentes mais robustos e maiores gargantas para carrear a serragem produzida.

a)
$$V_a = \frac{C_{t\text{ora}}}{t}$$

$C_{t\text{ora}}$ = comprimento tora, m

t = tempo de processamento do corte, min
(cronometrado)

b)
$$\frac{t'}{V_a} = \frac{P}{V_c} \rightarrow V_a = \frac{t' \times V_c}{P}$$

Valores recomendados de “ V_a ”

	V_a (m/min)
Madeiras duras	10 - 35
Madeiras moles	10 - 90
Serra de fita comum	10 - 60
Serra de fita automática	25 - 90

I) Cálculo de características da serra de fita

a) Calcular a espessura da serra (a), a largura da serra (B), o comprimento da serra (L) se $l_0 = 2,12\text{m}$, a altura de corte da máquina (h_{cs}) e diâmetro máximo da tora que pode ser desdobrada (D_m), a largura de corte (b), velocidade de corte da serra e as rotações do volante superior e inferior, se: $n_1 = 1000\text{rpm}$; $D_1 = 30\text{ cm}$; $D_2 = 36\text{ cm}$; $D_v = 1,10\text{m}$; largura do volante (W) = 12 cm; altura do dente (h_d) = 25mm, dimensões da tora ($\varnothing_{\text{menor}} = 30\text{cm}$; $\varnothing_{\text{maior}} = 36\text{cm}$; madeira de *Pinus* de densidade média).

Solução:

- Espessura da serra (a)

$$a = 0,001 \times D_v \text{ (para } D_v \text{ até } 1,10\text{m)} \rightarrow a = 0,001 \times 1,1\text{m} = 0,0011\text{m} = \mathbf{1,1\text{mm}}$$

- Largura da serra (B)

$$B \leq W + h_d + 5\text{mm} = 120\text{mm} + 25\text{mm} + 5\text{mm} = 150\text{mm} = \mathbf{15\text{cm}}$$

- Comprimento da serra (L)

$$L = \pi \times D_v + 2 \times l_0 = \pi \times 1,1\text{m} + 2 \times 2,12\text{m} = \mathbf{7,7\text{m}}$$

- Altura de corte da máquina (h_{cs})

$$h_{cs} \approx L_0 - (0,75 \times D_v) = 2,12\text{m} - (0,75 \times 1,1\text{m}) = \mathbf{1,3\text{m}}$$

- Diâmetro máximo da tora (D_m)

$$D_M = 1,0 \times h_{cs} = 1,0 \times 1,3\text{m} = \mathbf{1,3\text{m}}$$

- Largura do dente da serra (b)

Valores de “b” (IF 1989)	
Madeiras moles de densidade média	$b = (1,8 - 2,1) \times a$

$$b = 2,1 \times 1,1\text{mm} = \mathbf{2,31\text{mm}}$$

- Velocidade de corte e rotações

$$n_1 \times D_1 = n_2 \times D_2$$

$$1000 \text{ rpm} \times 30 \text{ cm} = n_2 \times 36 \text{ cm}$$

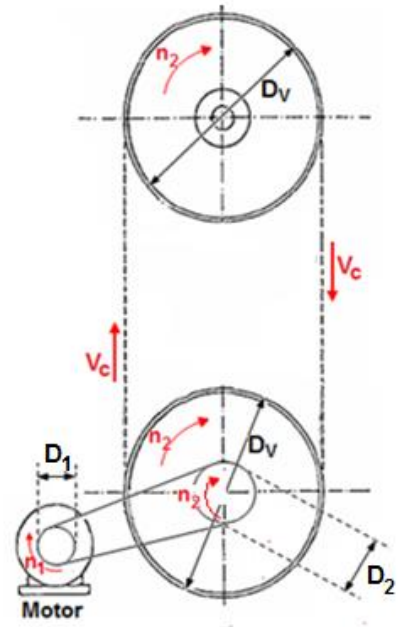
$$n_2 = (36 \text{ cm} \times 1000 \text{ rpm}) / 30 \text{ cm} = \mathbf{833 \text{ rpm}}$$

$$V_c = \frac{\pi \times D_v \times n}{60}$$

$$V_c = \frac{\pi \times 1,1 \text{ m} \times 833 \text{ rpm}}{60} = \mathbf{48 \text{ m/s}}$$

$$n_{\text{volante superior}} = \mathbf{833 \text{ rpm}}$$

$$n_{\text{volante inferior}} = \mathbf{833 \text{ rpm}}$$



4. BIBLIOGRAFIA

KOCH, P. *Wood Machining Processes*. New York, Ronald Press Company. 1964. 530p

LUNSTRUM, S.J. Balanced saw performance. *Forest Service*, n.12, p.17, 1986.

LUNSTRUM, S.J. *Circular sawmill and their efficient operation*. USDA Forest Service, 1993. 86p.

SALES, C. *La Scie à ruban*. Centre Technique Forestier Tropical – CTFT. 1990.

TSOUMIS, G. *Science and Technology of Wood: Structure, Properties, Utilization*. Chapman & Hall.1991.

TUSET, R; DURAN, F. *Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización*. Montevideo Ed. Agropecuaria Hemisfério Sur. 1980. 688p.

USDA Forest Service . *Wood Handbook: Wood as an Engineering Material*. Madison. Forest Products Laboratory. 2001. 463 p.

UDDEHOLM. *How to increase profit in bandsawing*. Munkfors:Uddeholm Strip, 1993. 48p.

VIGNOTE PEÑA, S.; JIMÉNEZ, F.J. *Tecnología de la Madeira*. Madrid Mundi-Prensa, 1996. 602 p.

WILLISTON, Ed. M. *Lumber Manufacturing*. Miller Freeman Publication, Inc. 1988. 512 p.

WILLISTON, Ed. M. *Saws – Design, Selection, Operation, Maintenance*. Miller Freeman Publication, Inc. 2ª ed, 1990. 450 p.

VITAL, B. R. Planejamento e operação de serrarias. Editora UFV, 2008, 211p.