

# ***Fundamentos da usinagem da madeira***

*Prof. Hernando Alfonso Lara Palma*

## **Aula 07**

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

BOTUCATU / SP  
2020

## 1. O CORTE DA MADEIRA

### 1.1 Beneficiar a madeira

É trabalhar a madeira até reduzi-la a uma forma conveniente ou a uma bitola determinada. Isto se aplica à maioria das operações de corte: desdobro, aplainamento, entalhado, laminação, picagem, etc.

### 1.2 Operação de desdobro

É a transformação primária da tora e consiste em dar à madeira uma bitola (forma) determinada, por meio de serras manuais ou mecânicas, em um mínimo de tempo e com o menor consumo de potência (Figura 1).

No processo de desdobro e corte da madeira procuram-se os seguintes objetivos:

- Obter superfícies de qualidade e cortes com precisão
- Obter eficiência na operação
- Limitar o desgaste das ferramentas de corte
- Limitar o consumo de energia
- Limitar as perdas de matéria-prima

Exemplos de máquinas para trabalhar a madeira:

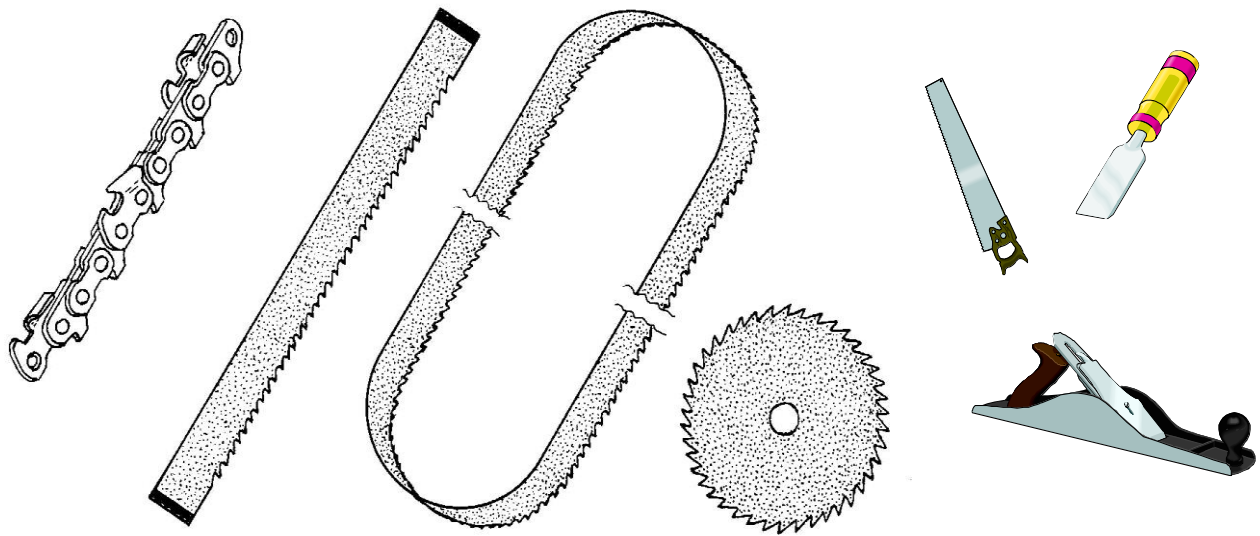
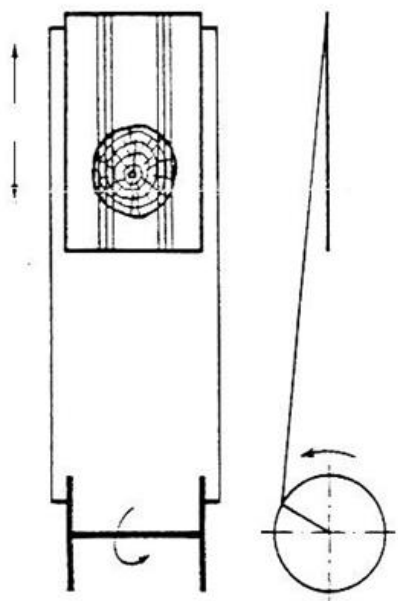
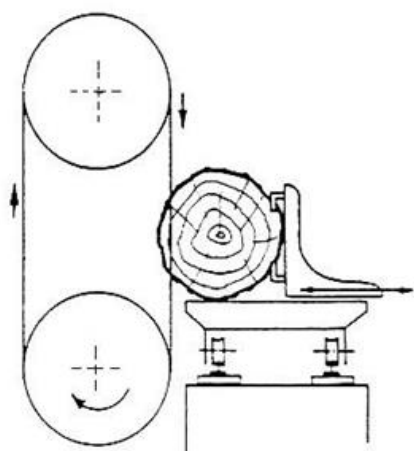
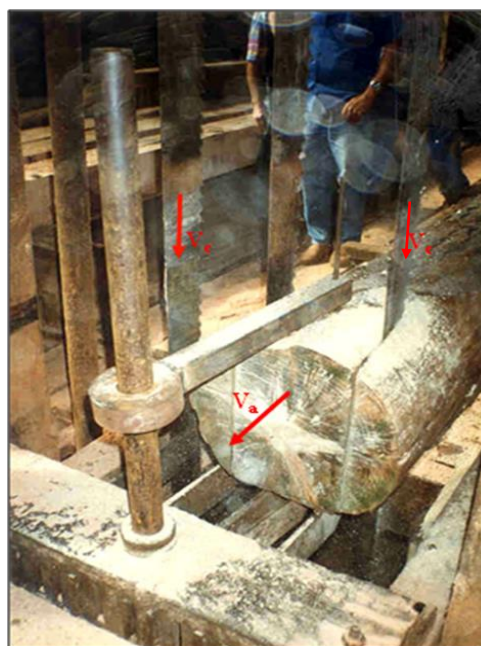


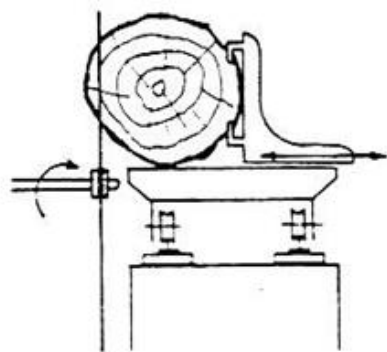
Figura 1 - Ferramentas de corte de madeira.



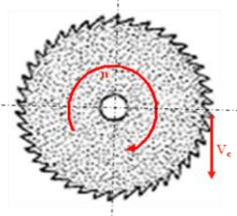
Serra alternativa (francesa)



Serra de fita simples



Serra circular



## 2. A MADEIRA E O CORTE

A madeira é um material fibroso, constituído por elementos com formas, dimensões, orientações, distribuições, funções e resistências diferentes; é um material anisotrópico, heterogêneo e variável dentro da árvore e entre espécies.

Portanto, o corte implica em vencer a resistência da madeira por meio de fios e faces de elementos cortantes (arestas de corte), que permitem arrancar material em forma de cavacos de dimensões e espessuras variáveis (serragem, maravalha, etc.). A formação destes cavacos depende da geometria da ferramenta, do teor de umidade da madeira e do movimento da ferramenta com relação à orientação das fibras (Figura 2).

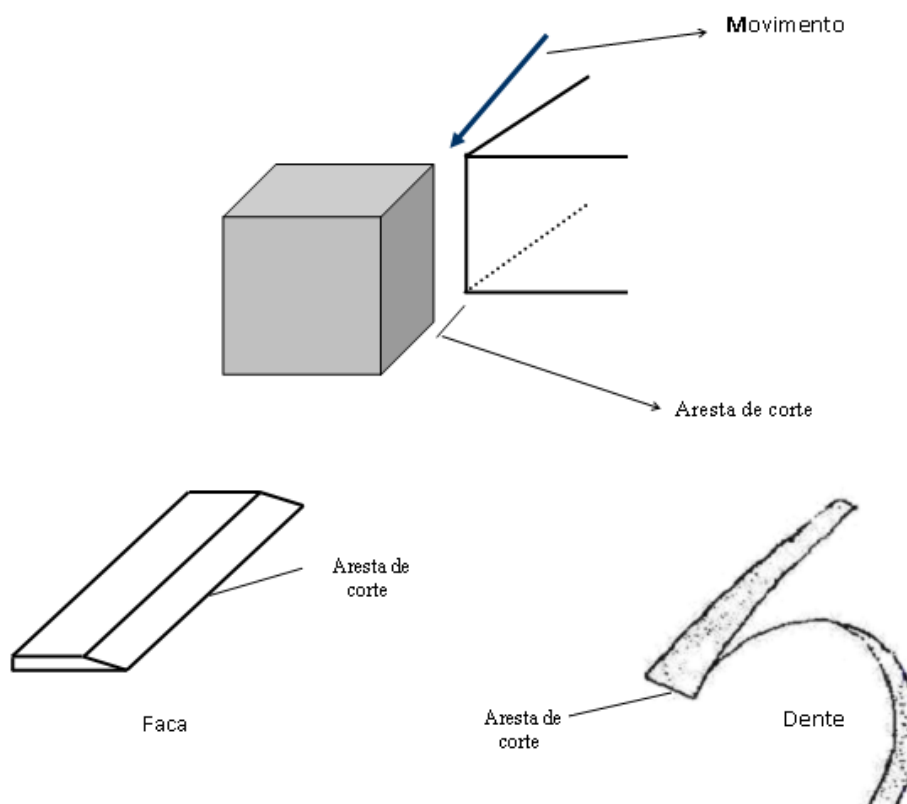


Figura 2 - Aresta de corte e movimento da ferramenta de corte.

## 2.1. Tipos de corte

Normalmente, trabalha-se a madeira se trabalha normalmente por corte ortogonal ou por corte periférico.

### 2.1.1 Corte periférico

Usinagem produzida por um corte rotativo. Os cavacos são formados pela intervenção intermitente das ferramentas nas peças de madeira. Estas ferramentas são instaladas sobre um suporte rotativo. A superfície final é formada pelas marcas da ferramenta geradas pela intervenção sucessiva de cada uma delas (Figura 3).

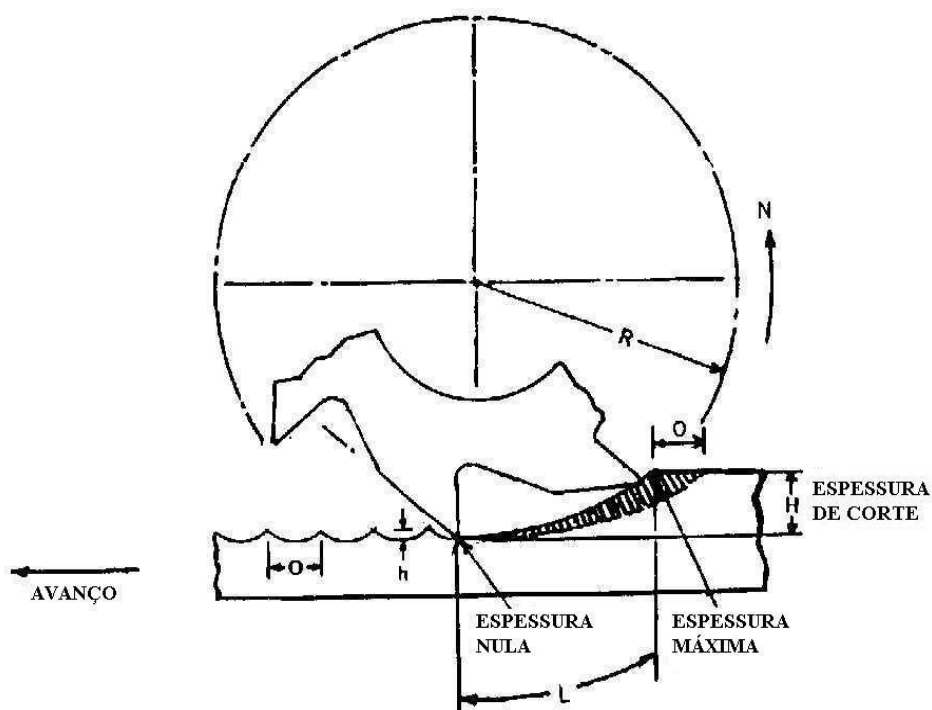


Figura 3 - Terminologia do corte periférico e trajetória gerada por um corte em aposição (Koch, 1985).

### 2.1.2 Corte ortogonal

Situação onde a aresta de corte (fio) da ferramenta é perpendicular à direção do movimento relativo da peça de madeira. A superfície obtida é um plano paralelo à superfície original de trabalho. Ex. serra de fita, serra circular, torno laminador, plaina de carpinteiro, etc.

As diferentes orientações de corte ortogonal podem definir-se de acordo a notação proposta por Mc Kenzie (1960), na qual a situação é expressa por dois valores angulares: o

primeiro expressa o ângulo entre o fio de corte e a fibra da madeira (direção longitudinal) e o segundo expressa o ângulo entre a direção de corte e a fibra da madeira (direção longitudinal).

De acordo com esta nomenclatura existem três orientações básicas, de acordo com a Figura 4.

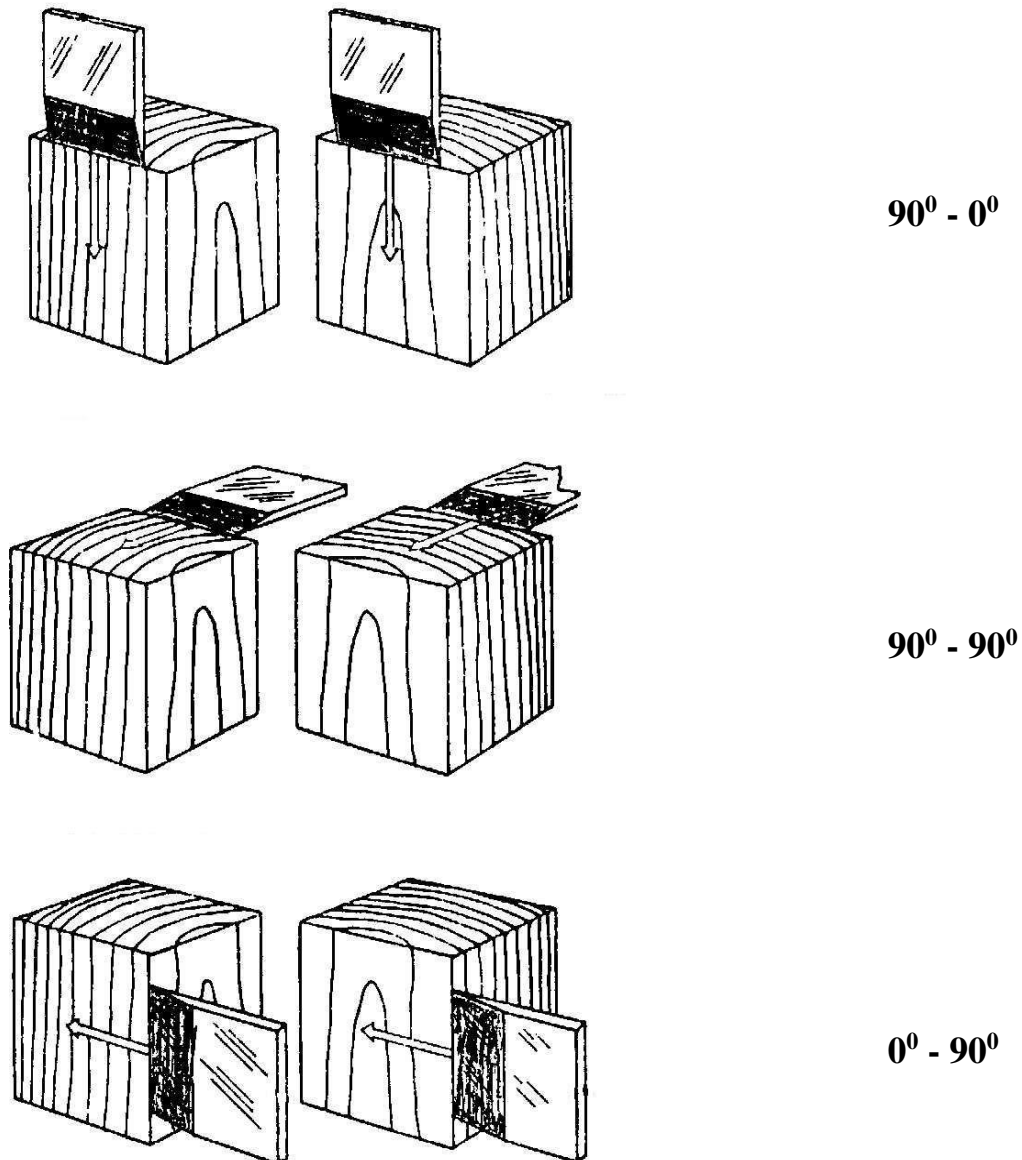


Figura 4 - Tipos de corte ortogonal (Hoadley, 1981).



### 3. O CORTE ORTOGONAL

#### 3.1 Corte ortogonal $90^\circ - 0^\circ$

Este corte ocorre durante o desgrosso tradicional da madeira e também durante a ação da plaina de carpinteiro - corte na direção paralela às fibras (Figuras 5 e 6).

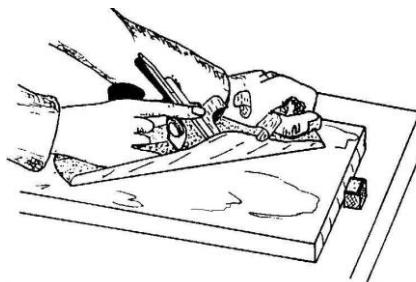


Figura 5 - Corte  $90^\circ - 0^\circ$  (plaina carpinteiro).

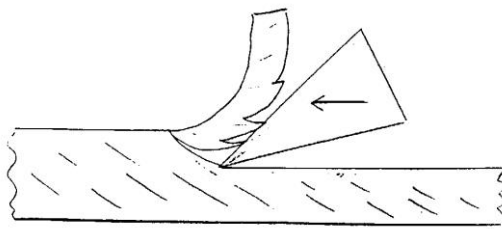


Figura 6 - Corte  $90^\circ - 0^\circ$  (sentido da grã).

#### 3.2 Corte ortogonal $0^\circ - 90^\circ$

Este corte ocorre durante o desenrolado tradicional da tora e durante o faqueamento da madeira e no corte transversal da madeira com serra circular destopadeira - corte na direção perpendicular às fibras (Figura 7). As forças de corte são geralmente menores que no corte  $90^\circ - 0^\circ$ .

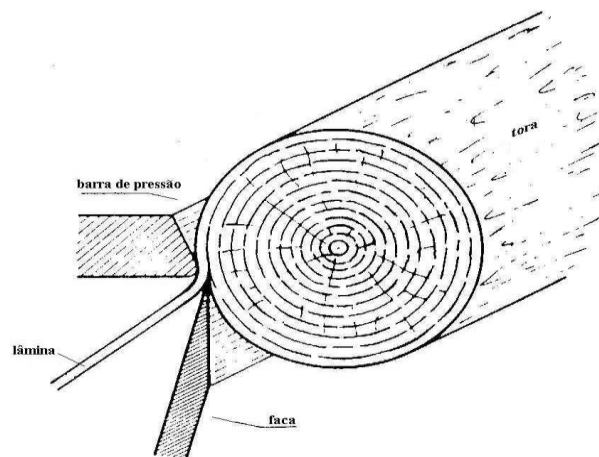


Figura 7 - Corte  $0^\circ - 90^\circ$  (laminação por desenrolamento).

### 3.3 Corte ortogonal 90° - 90°

Aresta de corte e a direção do movimento de corte são perpendiculares à direção das fibras (direção transversal). Corte de grande interesse prático porque é realizado pela maioria dos equipamentos ou ferramentas de corte longitudinal da madeira (serra de fita, serra circular, etc.) → as forças de corte são maiores que no corte 90°-0° e 0°-90° (Figuras 8 e 9).

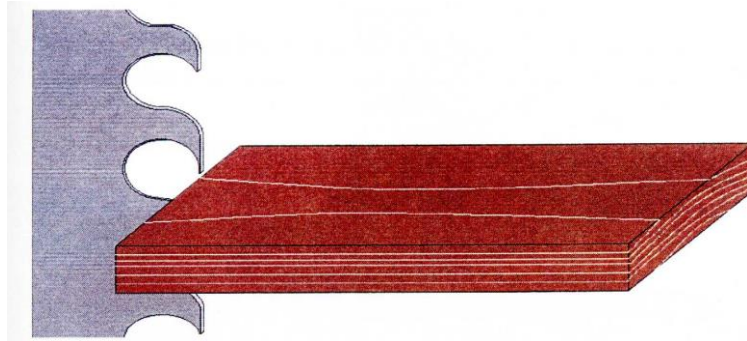


Figura 8 - Corte ortogonal 90° - 90° (serra de fita em corte longitudinal).

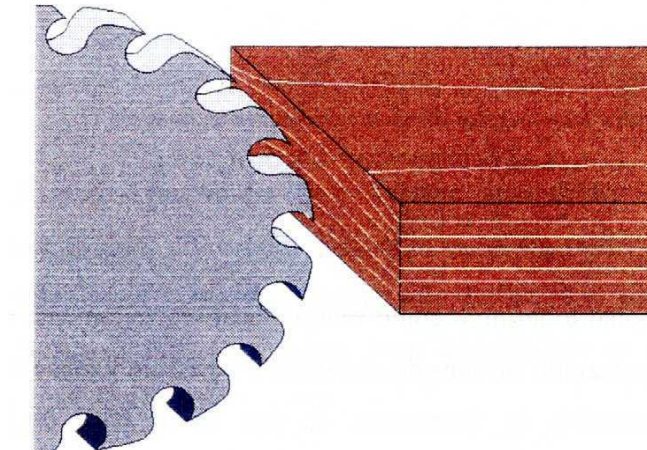


Figura 9 - Corte ortogonal 90° - 90° (serra circular em corte longitudinal).

## 4. DINÂMICA DO CORTE

A usinagem clássica é um procedimento de tensão-ruptura. A tensão é imposta à madeira por ação humana ou de uma máquina, por meio de uma ferramenta de corte. A direção do movimento e a forma da ferramenta determinam como se irão desenvolver as tensões impostas na madeira e conseqüentemente, a maneira como a ruptura ou “corte” é realizado (modo de ruptura).



Portanto, estes modos de ruptura serão variáveis, pois a ferramenta de corte tem uma geometria particular e a madeira tem suas propriedades físicas e mecânicas.

Dois fatores principais intervêm ou influenciam a ruptura: a superfície de corte (A), que deve ser suficientemente pequena para que a força aplicada (F) através da ferramenta possa causar uma tensão (F/A) superior à resistência da madeira e a condição ou estado da madeira com relação à umidade, temperatura, presença de defeitos, etc (Figura 10).

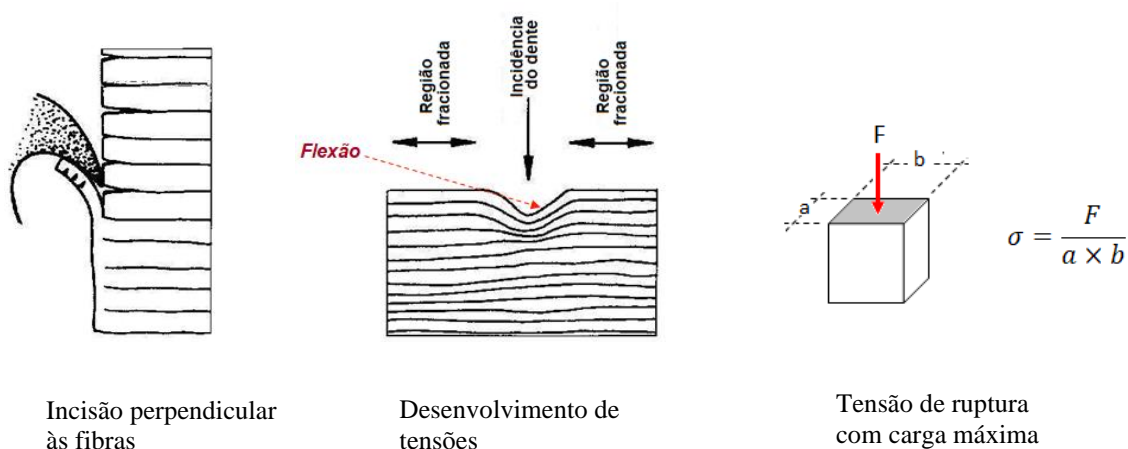


Figura 10 – Desenvolvimento das tensões no corte.

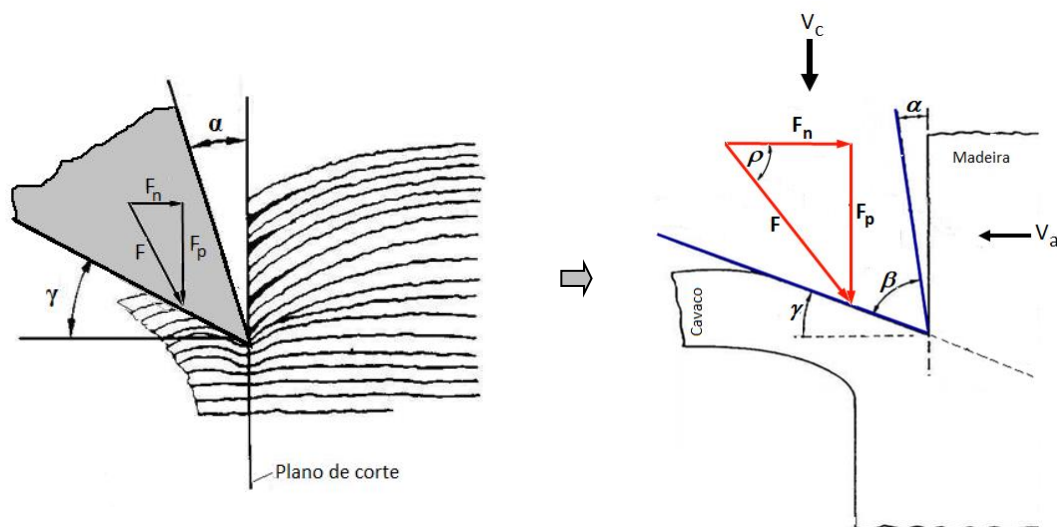
#### 4.1 Forças de corte ortogonais

No corte, a ponta do dente da serra incide na madeira com ângulos e forças características, como mostra a Figuras 11 e 12.

Durante o processo de corte, que é influenciado em grande parte pela anisotropia da madeira, densidade, umidade, etc. e por variáveis da ferramenta de corte e do processo, tais como: qualidade do fio de corte, altura de corte ( $h_c$ ), velocidade de corte da ferramenta, velocidade de avanço da madeira, espessura do cavaco ou mordida do dente, ângulo de ataque, etc., se produzem efeitos suplementares muito complexos na entrada da ferramenta na madeira, na separação e formação dos cavacos, no atrito da ferramenta com a madeira e vários outros efeitos.

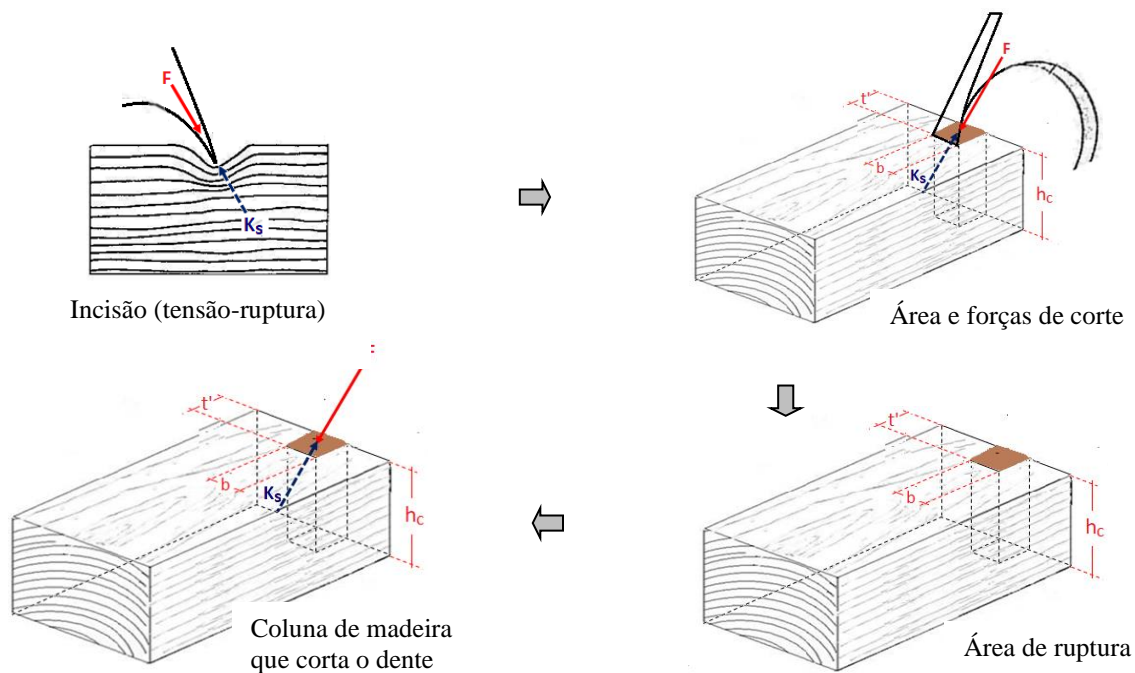
No processo do corte, a madeira exerce sobre o dente pressões cuja distribuição e intensidade varia muito rápida. Estas pressões afetam a lâmina aspirando-a ou empurrando-a e eventualmente desviando-a do corte.

A força principal para cortar a madeira é dada a cada dente pelo motor da máquina que movimenta a serra. Esta força é chamada de resultante ou força de corte (F).



- $F$  -força de corte principal (força necessária para fraturar o material);  
 $F_p$  -força paralela de resistência ao movimento principal (//a ao movimento da ferramenta), comprime a madeira em uma área  $\perp$  a ela. A serragem se forma por efeito desta força que é  $\perp$  às fibras e produto da flexão;  
 $F_n$  -força normal ( $\perp$  à força paralela e  $\perp$  à superfície gerada) – produz um deslocamento da madeira;  
 $\rho$  -ângulo da força principal;  
 $\alpha + \gamma + \beta = 90^\circ$  (ângulos do dente da serra)

Figura 11 - Modelo simplificado das forças de corte no trabalho do dente de serra.



- $F$  - força principal de corte;  $k_s$  - resistência da madeira ao corte;  
 $t'$  - avanço do dente;  $b$  - largura da ponta do dente;  $h_c$  - altura de corte.

Figura 12 - Trabalho de um dente de serra e as forças desenvolvidas na área de ruptura.

#### 4.2.1 Importância do conhecimento das forças de corte

- É requisito básico para a compreensão e posterior otimização do processo de usinagem;
- É fundamental na eleição correta ou no projeto das unidades ou máquinas que irão compor uma serraria ou indústria de processamento de madeira em função da(s) espécies utilizadas;
- Evitar o sobre dimensionamento de energia necessária no processo de corte;
- É fundamental na qualidade do acabamento superficial da madeira.

#### 4.2.2 Fatores que afetam a resistência da madeira ao corte

##### a) Fatores ligados à ferramenta de corte

- ângulo de incidência ou de folga ( $\alpha$ )
- ângulo de ataque ( $\gamma$ )
- ângulo da ferramenta ou do dente ( $\beta$ )
- estado de afiação da ferramenta de corte
- fricção entre o cavaco e a face de ataque ou incidência da ferramenta
- vibração lateral induzida durante a usinagem

##### b) Fatores ligados à alimentação da madeira

- largura de corte ( $b$ )
- altura de corte ( $h_c$ )
- espessura de corte do cavaco ou mordida do dente ( $t'$ )
- velocidade de alimentação ( $V_a$ )
- velocidade de corte da ferramenta ( $V_c$ )
- orientação da fibra com relação ao corte

##### c) Fatores ligados à madeira

- espécie
- densidade da madeira
- teor de umidade
- temperatura da madeira
- propriedades mecânicas

Estes fatores influem sobre os mecanismos de falha dos elementos constitutivos da madeira e estes a sua vez influem sobre os esforços de corte, o desgaste das ferramentas e a qualidade da superfície obtida.

#### 4.2. Trabalho de um dente de serra (mecanismo de formação do cavaco)

Quando um dente de serra corta a madeira, se realiza um trabalho que envolve consumo de energia e a formação de cavaco. No entanto, ao cortar a madeira com uma seqüência de dentes, como uma lâmina de serra, o cavaco quebra-se na garganta do dente e se transforma em serragem (Figuras 13).

Uma forma simplificada e aplicada a situações de desdobro, para descrever o mecanismo de corte, pode ser o ilustrado na Figura 14. Assim, o corte se realiza em três etapas com sucessão rápida:

1. Fase de incisão
2. Fase de redução e separação
3. Fase de evacuação

A fase de incisão (1) avança por meio da falha em tração, simultaneamente, por efeito da flexão, se iniciam falhas por cisalhamento. Quando o dente está o suficientemente introduzido na madeira, sua face de corte atua por compressão como os lados de uma cunha (2). Sua ação faz com que se separe a madeira e se forme o cavaco.

Na fase de redução e separação, os esforços de cisalhamento são assistidos por compressão e originam falhas frontais em cada lado do cavaco, com isto, se consegue a formação da serragem e sua liberação; a evacuação se produz pela ação da face de corte e a garganta do dente.

Os mecanismos de falha na madeira geram distintos tipos de cavacos, resultando em diferentes qualidades de superfícies, além de terem uma influência direta no desgaste dos elementos cortantes e sobre os requisitos energéticos para o corte.

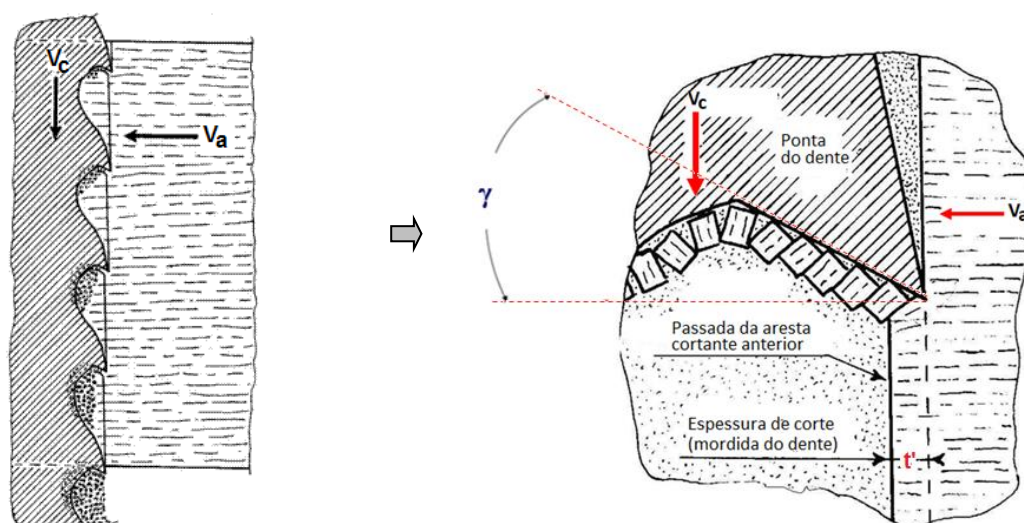


Figura 13 - Formação do cavaco no corte ortogonal.

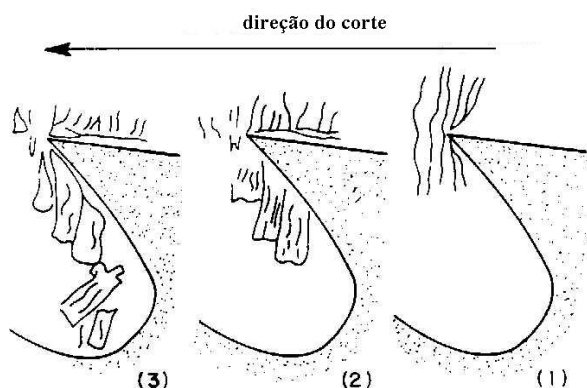


Figura 14 - Etapas do corte.

## 5. PARÂMETROS OPERACIONAIS NO PROCESSO DE DESDOBRO

A formação da madeira serrada envolve vários parâmetros operacionais relacionados à ferramenta de corte (ângulos, passo do dente, quantidade de dentes que cortam em um determinado instante, velocidade de corte da ferramenta, largura de corte do dente, etc.) e da madeira (velocidade de avanço da madeira, mordida do dente, altura de corte, etc) como mostrado na Figura 15 e 16.

O movimento de corte é um movimento rápido em relação ao de avanço da madeira ou alimentação. Como um exemplo geral, para todas as serras, a velocidade de corte varia entre 35 a 80 m/s e a de avanço de 5 a 150 m/min.

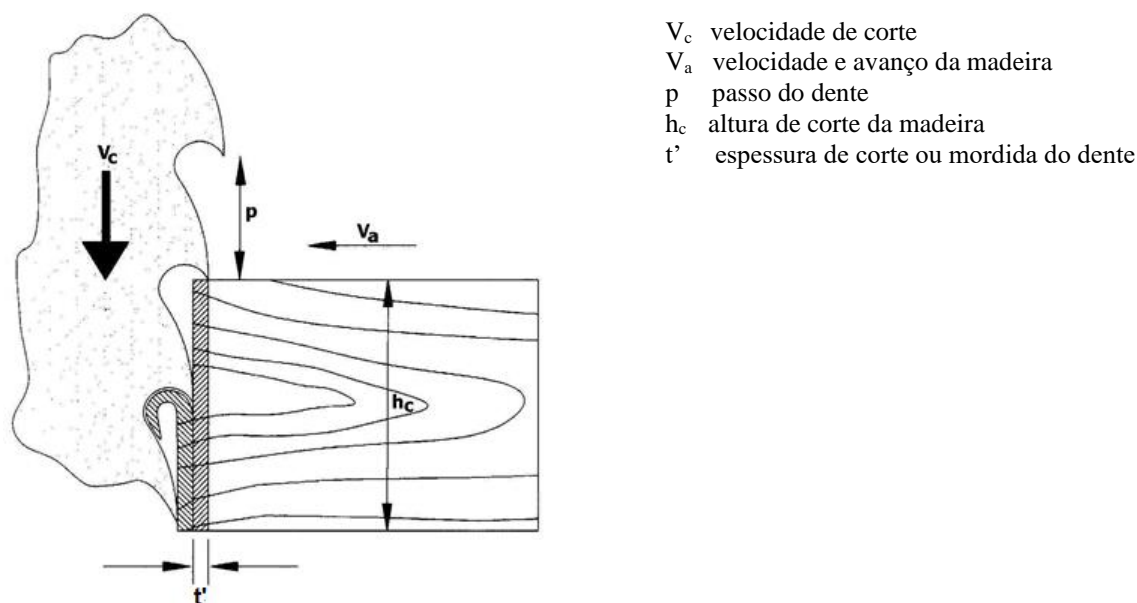
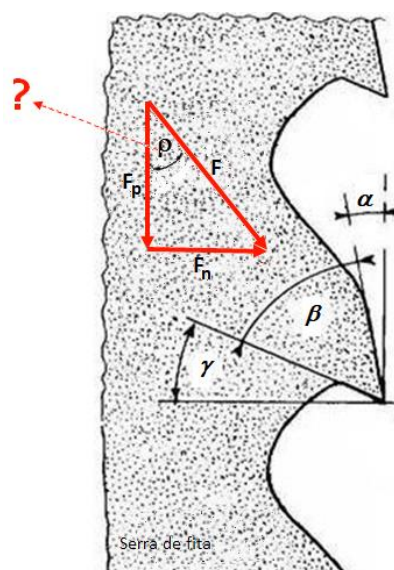


Figura 15 - Parâmetros operacionais no corte de um dente.



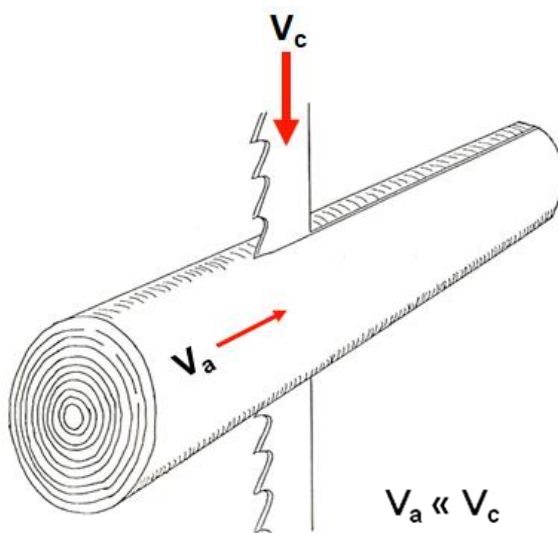


Ângulo de incidência ou folga -  $\alpha$   
 Ângulo do dente ou de afiação -  $\beta$   
 Ângulo de ataque do dente -  $\gamma$   
 Ângulo da força resultante -  $\rho$

Figura 16 – ângulos e forças de corte na serra.

### 5.1 Formação da madeira serrada

No processo de desdobro (serração) a madeira serrada é formada por dois movimentos:  
 a) movimento de corte (ferramenta de corte – serra) → movimento rápido; b) movimento de avanço da madeira (alimentação) → movimento lento.



Tipo de madeira	$V_c$ (m/s)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
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

Tipo de madeira	$V_a$ (m/min)	$V_a$ (m/s)
Madeiras duras	10 - 30	0,17 - 0,50
Madeiras moles	10 - 80	0,17 - 1,33
Serra fita comum	10 - 70	0,17 - 1,17
Serra fita automática	25 - 100	0,42 - 1,67

Figura 17 – Velocidades na formação da madeira serrada.

A madeira é normalmente serrada no sentido longitudinal às fibras. Na destopagem a madeira é serrada no sentido perpendicular às fibras. O corte é caracterizado por três dimensões:

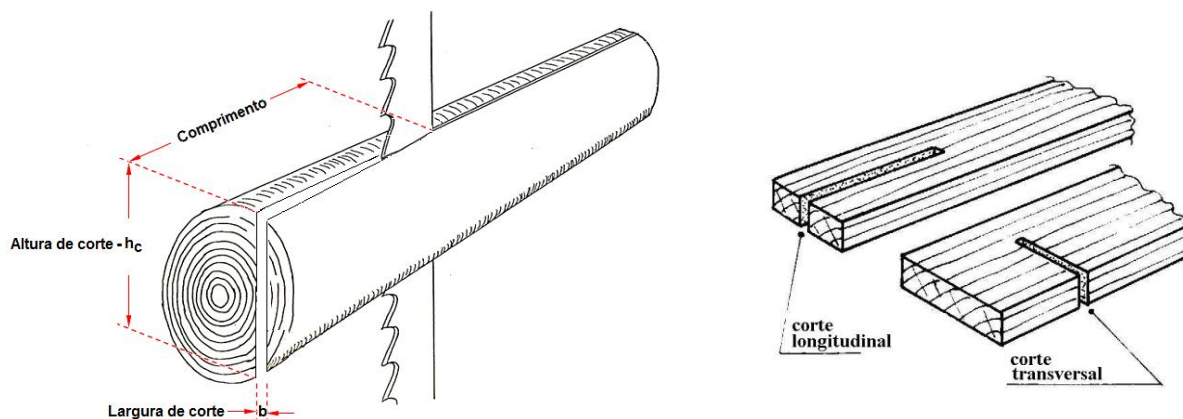


Figura 18 – Dimensões no corte da madeira.

## 5.2 Trabalho do dente

Cada dente corta uma fatia (lasca) de madeira de espessura  $t'$ , que desliza na face do ângulo de ataque ( $\gamma$ ). A curvatura acentuada da garganta do dente favorece o “fracionamento” da madeira em pequenas partículas (serragem) que enche progressivamente o volume da garganta no avanço do corte na linha do corte.

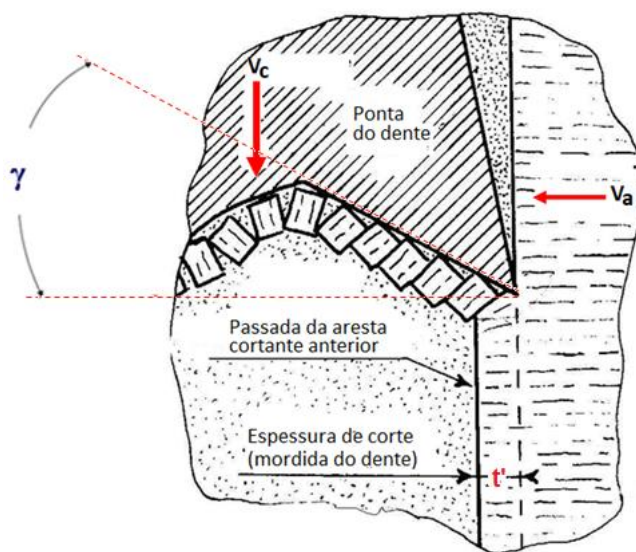
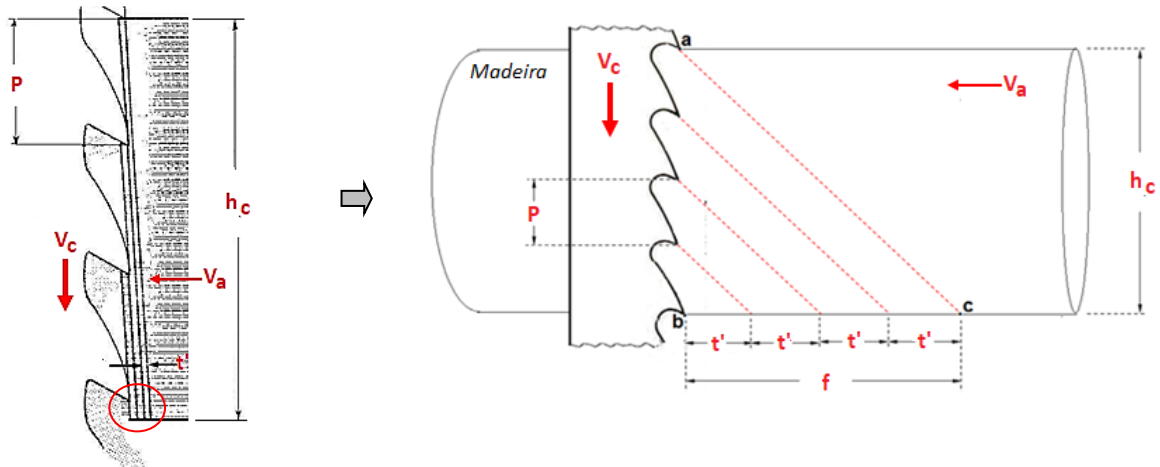


Figura 19 – Trabalho do dente – parâmetros.

### 5.3 Interação entre os parâmetros de corte



- $V$  - velocidade de corte resultante (relativa à madeira)  
 $V_c$  - velocidade de corte da serra, m/s  
 $V_a$  - velocidade de avanço da madeira, m/min  
 $t'$  - avanço do dente (mordida do dente)  
 $P$  - passo do dente, mm  
 $h_c$  - altura de corte

Figura 20 – Cinemática do corte.

#### Relações entre os parâmetros:

tempo de  $a \rightarrow b = \text{tempo de } b \rightarrow c$

percurso de  $a \rightarrow b = h_c$

percurso de  $b \rightarrow c = f$

$$\frac{V_a}{V_c} = \frac{f}{h_c} \quad \text{como: } h_c = z \times P \rightarrow P = \frac{h_c}{z}$$

$$f = z \times t'$$

$z$  = nº de dentes em contato num determinado instante

$$\frac{V_a}{V_c} = \frac{\cancel{z} \times t'}{\cancel{z} \times P} \Rightarrow \boxed{\frac{V_a}{V_c} = \frac{t'}{P}} \dots\dots\dots(1)$$

### Importância da relação (1):

A produtividade do corte (produção de madeira serrada) é diretamente relacionada a  $V_a$

$$V_a = \frac{t \times V_c}{P} \longrightarrow \begin{array}{l} \text{Produtividade (V}_a\text{) aumenta diretamente com "t" e "V}_c\text{"} \\ \text{Produtividade (V}_a\text{) diminui com "P"} \end{array}$$

$V_a$  da madeira é o meio que permite regular a qualidade do corte

### Cálculo de $t'$ (serra de fita):

a) Cálculo prático

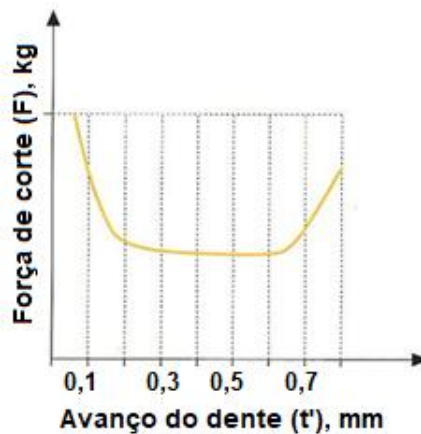
$$\frac{V_a}{V_c} = \frac{t'}{P} \quad \Rightarrow \quad t' = \frac{P \times V_a}{V_c}$$

P - passo do dente

$V_a$  - velocidade de avanço da madeira

$V_c$  - velocidade de corte da serra

b) Gráficos



c) Cálculo de  $t'$  de catálogos comerciais de serras e literatura científica

#### 1. Recomendação SANDVIK (1978)

Toras de $\varnothing$ grandes e madeiras duras	– $t' \sim 0,3$ a $0,7$ mm
Madeira mole e seca e de $\varnothing$ pequenos	– $t' \sim 0,5$ a $0,8$ mm
Madeira mole e úmida e de $\varnothing$ pequeno	– $t' \sim 1,0$ a $1,2$ mm

## 2. Recomendação Lustrum, S.J. (1985)

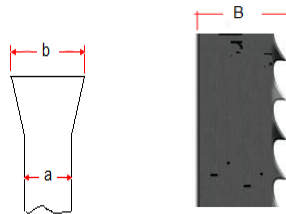
$$t'_{\text{máx}} \approx a$$

## 3. Recomendação (Vignote, S.P. e Jimenéz, F.J., 1996)

Madeira moles	$t' = a$
Madeiras semiduras	$t' = (3/4) a$
Madeiras duras	$t' = a/2$

## 4. Regra de Allen (1975) – madeira de *Pinus* (densidade entre 0,42 a 0,43 g/cm<sup>3</sup>)

$$t' < a + 0,1 a$$



$b$  = largura da ponta dente  
 $a$  = espessura da lâmina de serra  
 $B$  = largura da serra

Exemplo regra de Allen:

Estimar  $t'$  para uma lâmina de serra de fita de 12cm de largura e 1,1mm de espessura.

$$t' \leq 1,1\text{mm} + 0,1 (1,1\text{mm}) = 1,1 + 0,11\text{mm} = 1,21\text{mm}$$

### Importância de $t'$ :

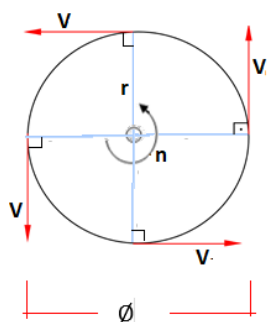
- O avanço do dente define o comprimento das partículas de serragem → menor  $t'$  → serragem fina
- Serragem fina se introduz nos espaços laterais entre a superfície da lâmina e a madeira → atrito e aquecimento da lâmina → lâmina perde a tensão e estabilidade → corte ondulado
- Espessura de serragem ou avanço do dente ( $t'$ ) de 0,2 a 2,8mm → esforço de corte aumenta linearmente.



### Cálculo da velocidade de corte $V_c$ – serra de fita:

A velocidade de corte vem determinada pelo diâmetro e a velocidade de rotação ( $n$ ) dos volantes, portanto é um movimento constante definido pelas características de fabricação da máquina. A velocidade de 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. A velocidade de rotação dos volantes é um movimento circular uniforme e sua velocidade linear periférica pode ser calculada pela relação (2).

Movimento circular uniforme (m.c.u.) → movimento de trajetória circular em que a velocidade angular ( $n$ ) é constante e o vector velocidade ( $v$ ) é tangente em cada ponto da trajetória e seu sentido é o do movimento.

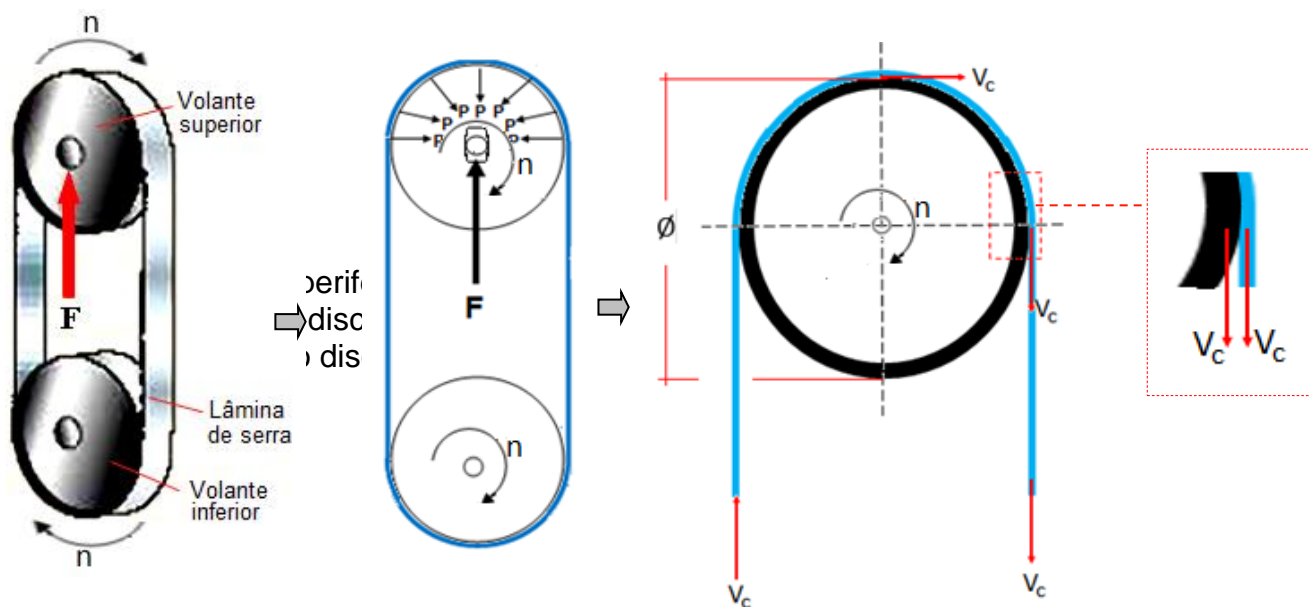


$$V = \pi \times \phi \times n$$

$V$  - velocidade periférica, m/min

$n$  - rotações do disco, rpm

$\phi$  - diâmetro do disco, m



$V_c$  = velocidade de corte da serra, m/s (as velocidades no ponto de contato entre a lâmina e o

volante são iguais e constante →  $V = V_c$

$n$  = rotações da polia do volante, rpm (as rotações dos dois volantes são iguais e constantes)

$\phi_v$  = diâmetro do volante, m (os diâmetros dos volantes são iguais)

Substituindo na relação (2):

$$V_c = \frac{\pi \times \phi_v \times n}{60} \quad (\text{m/s}) \quad \dots\dots\dots(2)$$

## 5.4 Geometria e forma de um dente de serra

A ferramenta de corte possui uma série de ângulos característicos que determinam sua forma, com o que se consegue uma maior eficiência no corte, um desgaste menor na ferramenta e uma boa evacuação dos cavacos (serragem) arrancados da madeira (Figuras 21 e 22).

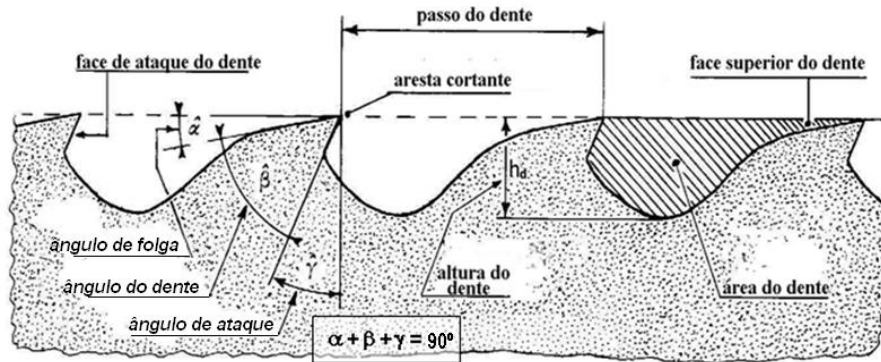
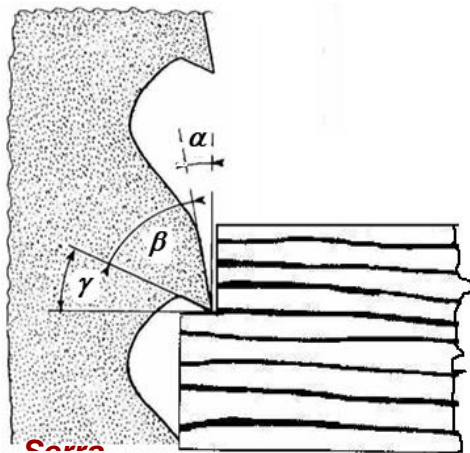


Figura 21 - Ângulos e partes de um dente – serra de fita.



Ângulo livre ou incidência -  $\alpha$

Ângulo da ponta do dente ou de afiação -  $\beta$

Ângulo de ataque ou de saída de cavacos -  $\gamma$

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$$

Os ângulos de uma serra são constantes e já vem definidos de fábrica

Figura 22 - Ângulos da serra de fita no corte.

## 6. Potência motriz da serra

De uma forma geral, toda movimentação no processo de corte da serra, que permite que a operação de desdobro se efetue, é realizada por um motor elétrico. A potência do motor deve ser maior o igual à potência consumida no trabalho de corte da madeira ( $N_m$ ), que é a soma dos seguintes processos:

- movimento dos volantes sem corte → potência em vazio ( $N_0$ )
- processo de corte da madeira → potência de corte ( $N_c$ )

$N_c + N_0 = N_m$  → potência necessária do motor que vai acionar a serra de fita.

Os fatores mais importantes, que devem ser considerados para determinar a potência do motor são: espécie de madeira, altura máxima de corte, largura de corte ( $b$ ), e velocidades de corte e avanço da madeira.

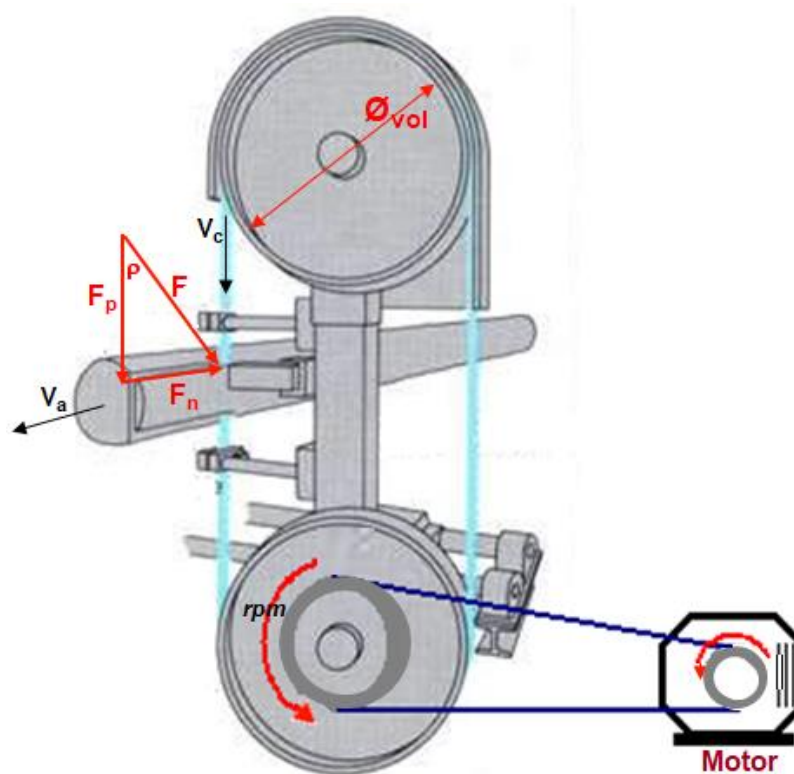
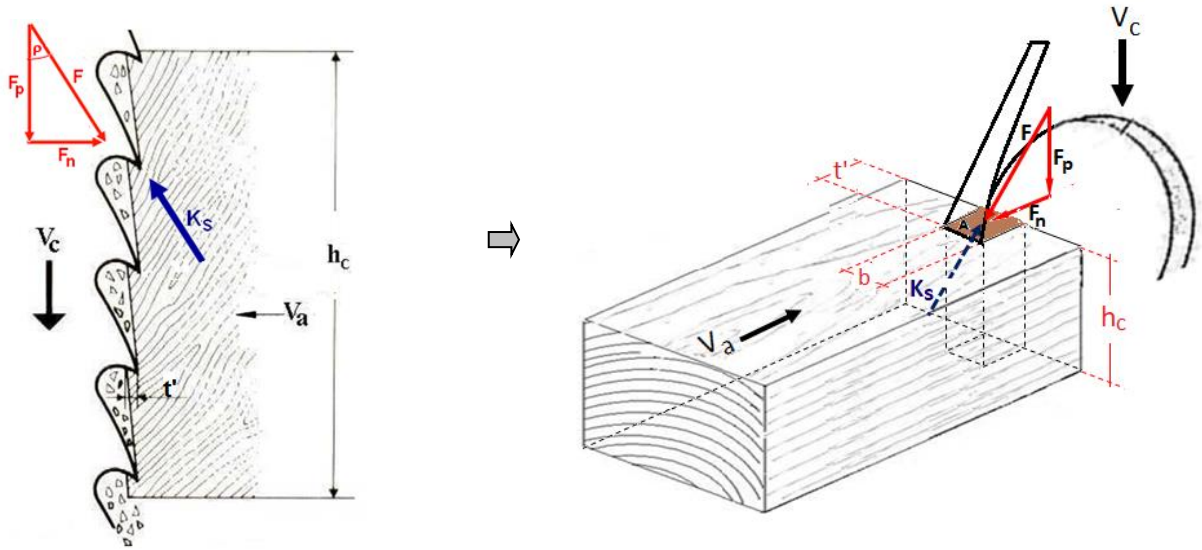


Figura 23 - Transmissão de movimentos, velocidades e forças de corte em uma serra fita.

### Determinação da potência de corte ( $N_c$ )



$$k_s = \frac{F}{A} \rightarrow k_s = \frac{F}{b \times t'} \rightarrow F = k_s \times b \times t' \dots\dots(3)$$

$$W = F \times d \rightarrow N = \frac{F \times d}{t} \rightarrow V = \frac{d}{t} \rightarrow N = F \times V \rightarrow V_c = \frac{h_c}{t}$$

$$F = k_s \times b \times t'$$

$$N_c = k_s \times b \times t' \times V_c$$

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

$$P = \text{passo} = \frac{h_c}{z}$$

$$N_c = k_s \times b \times t' \times \frac{V_a \times P}{t'}$$

$$N_c = k_s \times b \times V_a \times P$$

W = trabalho

F = força - (igual à força de corte principal F)

$N_c$  = potência de corte

$K_s$  = resistência da madeira ao corte

d = distância - (igual à altura de corte  $h_c$ )

t = tempo

$h_c$  = altura de corte

N = potência

V = velocidade - (igual à  $V_c$  da serra)

b = largura do dente da serra

$t'$  = avanço ou mordida do dente

z = nº de dentes em contato num determinado instante

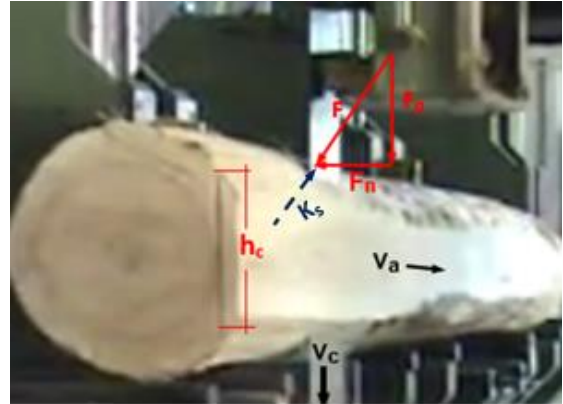
P = passo do dente

$$N_c = (k_s \times b \times V_a \times \frac{h_c}{z}) \quad \text{para 1 dente}$$

para todos os dentes em contato

$$N_c = (k_s \times b \times V_a \times \frac{h_c}{z}) \times z$$

$$N_c = k_s \times b \times h_c \times V_a$$



**Cálculo da potência necessária do motor ( $N_m$ ):**

$$N_m = \frac{N_c + N_0}{\eta} \quad N_m \leq \text{à potência do motor da}$$

$N_m$  :potência necessária do motor que vai acionar a serra, HP ou KW

$N_c$  :potência necessária para o corte da madeira, HP ou KW

$N_0$  :potência consumida quando a serra gira em vazio sem corte, HP ou KW  
(varia de 1,5 a 5,0 HP em serras de fitas para desdobro de toras)

$\eta$  :rendimento do motor elétrico, em % ( $80\% \leq \eta \leq 90\%$ )

$$N_c = k_s \times b \times h_c \times V_a \quad (W)$$

$N_c$  :potência de corte (W)

$K_s$  :resistência específica de corte da madeira ( $N/m^2$ )

$b$  :largura de corte (m)

$h_c$  :altura de corte (m)

$V_a$  :velocidade de avanço da madeira (m/s)

1KW = 1000 W; 1 KW = 1,3596 HP

Valores de resistência específica de corte ( $k_s$ ) para a serra de fita										
$t' \times 10^{-3} \text{ (m)}$										
$t'$	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70
$k_s \times 10^6 \text{ (N/m}^2\text{)}$										
$K_s$	120	90	75	65	60	55	47	45	44	43

Fonte: INFOR, 1989



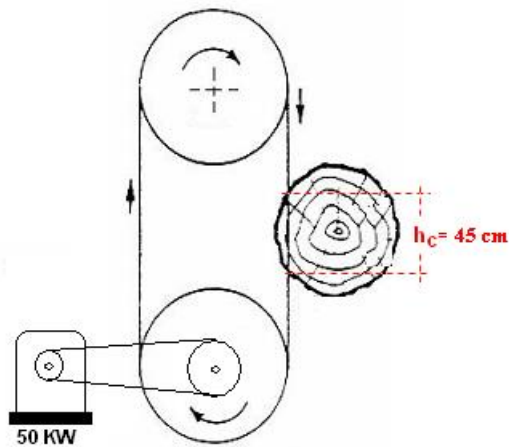
### Exemplo de cálculo de potência necessária do motor ( $N_m$ )

a) Uma serraria trabalha com serra de fita simples (principal) e alimentação da madeira com carro porta-toras, com as seguintes características:

- passo do dente ( $P$ ) = 40 mm
- largura de corte do dente ( $b$ ) = 2,7 mm
- rotações volantes = 600 r.p.m
- potência do motor da serra = 50 KW
- potência em vazio ( $N_0$ ) = 2,1 KW
- $V_c = 45$  m/s
- $V_a = 40$  m/min
- diâmetro volantes = 1000 mm
- altura do dente = 18 mm
- rendimento motor = 85 %
- espessura da serra ( $a$ ) = 1,0 mm
- largura da serra ( $B$ ) = 150 mm
- madeira de *Pinus* (toras)

A serra deverá realizar um corte de 45 cm e se deseja saber se o motor está em condições de trabalhar até esta altura de corte.

#### Solução:



$N_m \leq$  à potência do motor da máquina (50 KW)

$$b = 2,7 \text{ mm} = 2,7 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$h_c = 45 \text{ cm} = 0,45 \text{ m}$$

$$V_a = (40 \text{ m/min} / 60) = 0,667 \text{ m/s}$$

$$K_s = ? \rightarrow 1^\circ \text{ conhecer } t' \text{ e por tabela } K_s$$

$$P / V_c = t' / V_a \rightarrow t' = (P \times V_a) / V_c$$

$$N_c = k_s \times b \times h_c \times V_a$$

Da tabela  $\rightarrow$  para  $t' = 0,6 \times 10^{-3} \text{ m} \rightarrow K_s = 44 \times 10^6 \text{ (N/m}^2\text{)}$

$$\therefore N_c = 44 \times 10^6 \text{ (N/m}^2\text{)} \times (2,7 \times 10^{-3} \text{ m}) \times 0,45 \text{ m} \times 0,667 \text{ m/s} = 35.657,82 \text{ (W)}$$

$$N_c = 35.657,82 \text{ W} / 1000 = 35,66 \text{ KW}$$

$$N_0 = 2,1 \text{ KW}$$

$N_m \leq$  à potência do motor da máquina

$$44,47 \text{ KW} \leq 50 \text{ KW}$$

De onde apareceu  
esse 44,47KW?

Conclusão: para as condições dadas no exemplo, pode-se desdobrar alturas de corte de 45cm, já que o motor da serra de fita tem uma potência de 50 KW, ou seja, é suficiente.

b) Fazer o mesmo cálculo anterior para uma altura de corte de 65 cm, obrigatoriamente

Da tabela  $\rightarrow$  para  $t' = 0,6 \times 10^{-3} \text{ m} \rightarrow K_s = 44 \times 10^6 \text{ (N/m}^2\text{)}$

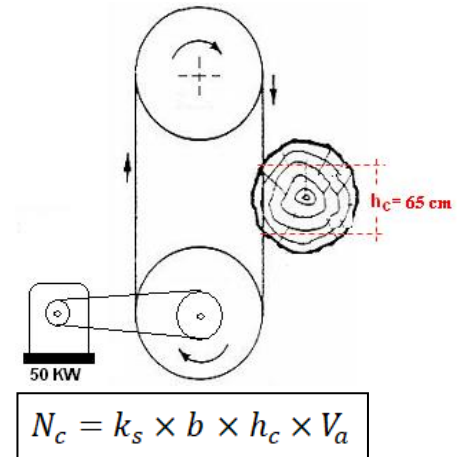
$$\therefore N_c = 44 \times 10^6 \text{ (N/m}^2\text{)} \times 2,7 \times 10^{-3} \text{ m} \times 0,65 \text{ m} \times 0,667 \text{ m/s} \\ = 51.505,74 \text{ (W)}$$

$$N_c = 51.505,74 \text{ (W)} / 1000 = 51,51 \text{ (KW)}$$

$$N_0 = 2,1 \text{ KW}$$

$N_m \leq$  à potência do motor da máquina

$$63 \text{ KW} \leq 50 \text{ KW}$$



Conclusão: para as condições dadas no exemplo, a serra não pode desdobrar uma altura de corte de 65cm, já que o motor da serra de fita tem uma potência de 50 KW, ou seja, insuficiente.

Alternativas para solucionar o problema?

- 1) Trocar a serra ou o motor da serra  $\rightarrow$  NÃO
- 2) Diminuir  $h_c \rightarrow$  não pode (imposição de cortar a altura de 65 cm)
- 3) Diminuir  $V_a \rightarrow$  pode ( $P_c = K_s \times b \times h_c \times V_a$ )

### Solução 3:

Cortar a  $h_c = 65 \text{ cm}$  obrigatoriamente, portanto, a única alternativa é diminuir a  $V_a$

Por exemplo diminuir a  $V_a = 40 \text{ m/min}$  para  $20 \text{ m/min}$  ( $0,333 \text{ m/s}$ )

Mudança de  $V_a \rightarrow$  mudança de  $t'$  e mudança de  $K_s$

$$\frac{V_a}{V_c} = \frac{t'}{P} \rightarrow t' = \frac{V_a \times P}{V_c} \rightarrow t' = \frac{0,333 \text{ m/s} \times 0,04 \text{ m}}{45 \text{ m/s}} = 2,96 \times 10^{-4} \text{ m} \sim 0,3 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$N_c = 55 \times 10^6 \text{ (N/m}^2\text{)} \times 2,7 \times 10^{-3} \text{ m} \times 0,65 \text{ m} \times 0,333 \text{ m/s} = 32.143 \text{ (W)}$$

$$N_c = k_s \times b \times h_c \times V_a$$

$$N_c = 32.143 \text{ (W)} / 1000 = 32,14 \text{ KW}$$

$$N_0 = 2,1 \text{ KW}$$

$$N_m = \frac{32,14 \text{ KW} + 2,1 \text{ KW}}{0,85} = 40,28 \text{ KW}$$

$N_m \leq$  à potência do motor da máquina

$$40,28 \text{ KW} \leq 50 \text{ KW}$$



Conclusão: para as condições dadas no exemplo, pode-se desdobrar alturas de corte de 65cm, já que o motor da serra de fita tem uma potência de 50 KW, ou seja, é suficiente.

## 6. LITERATURA RECOMENDADA

GONÇALVES, M.T.T. *Processamento da Madeira*. Bauru: Document Center Xerox – USC Bauru/SP. 2000. 242 p.

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

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

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

SALES, C. *La Scie à ruban: théorie et pratique du sciage des bois en gumes*. Nogent, Centre Technique Forestier Tropical, 1990. 152p.

VIGÑOTE PEÑA, S,; JIMÉNEZ PERIS, F.J. *Tecnologia de la madera*. MAPA. Madrid, 602p. 1996.