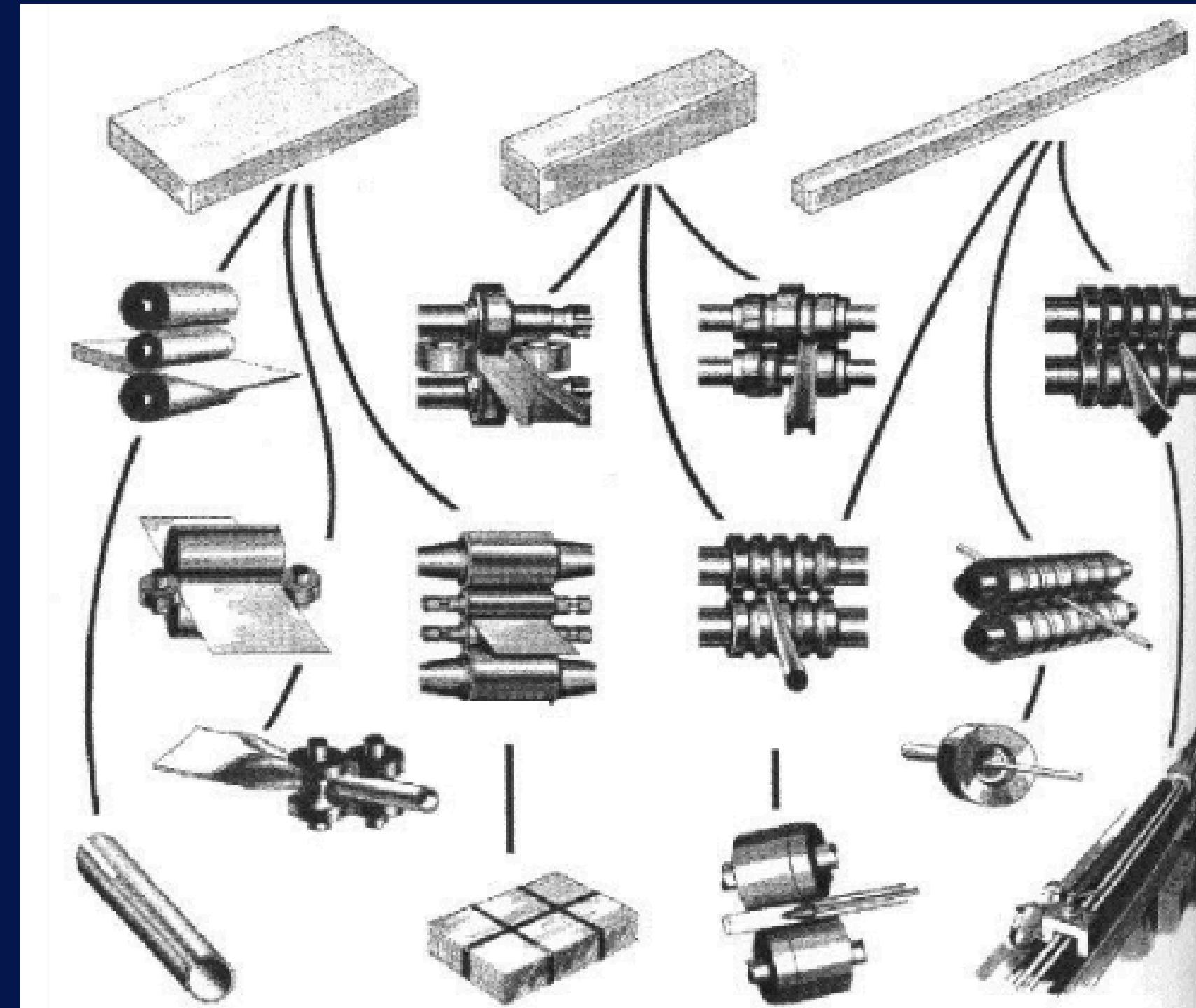


---

# CONFORMAÇÃO DE VOLUME

# LAMINAÇÃO

---

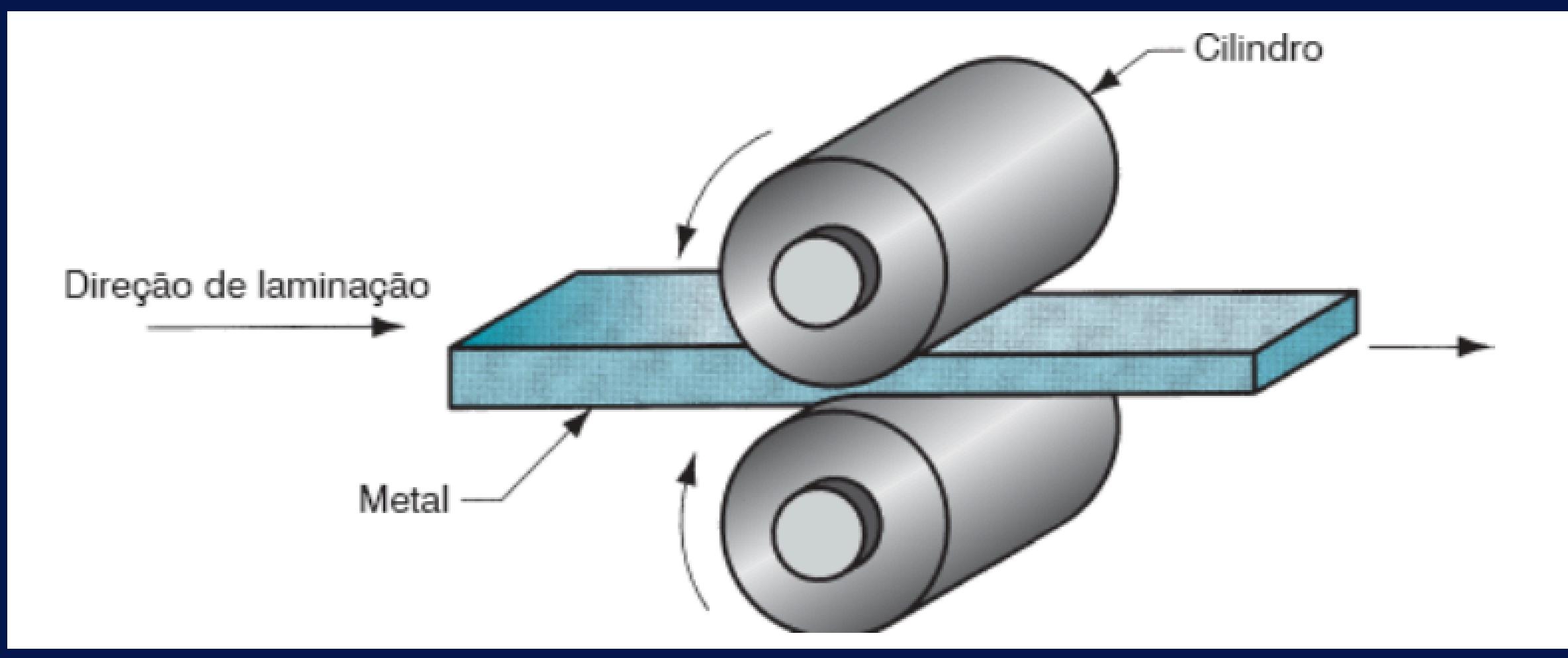


# LAMINAÇÃO

---

## Introdução

É o processo que o material é passado por entre dois rolos de um equipamento denominado de laminador, provocando uma redução da sua espessura.



# PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

---

O metal inicia sob a forma de um lingote de aço fundido recém solidificado que, quando ainda está quente, é reaquecido até alcançar temperatura uniforme em todo ele de forma a facilitar a laminação.

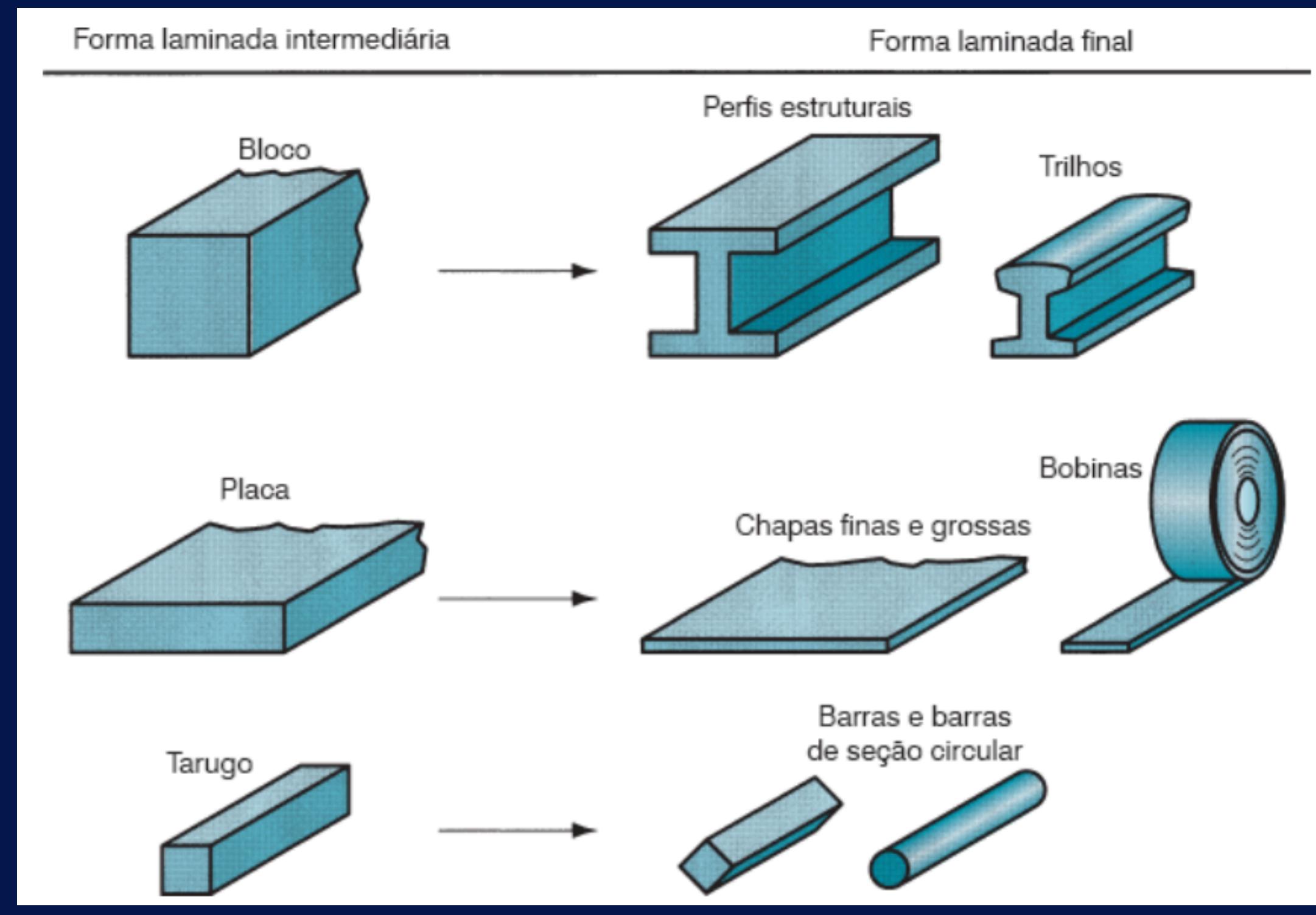
Este aquecimento homogeneíza o lingote e minimiza a segregação química que ocorreu durante a solidificação. No aço, a temperatura desejada para laminação é de 1200°C.

A partir do encharcamento, o lingote é movido para o laminador, para gerar uma das três formas intermediárias: blocos, tarugos ou placas. Bloco: seção transversal quadrada mínima de pelo 150 mm × 150 mm. Placa: seção transversal retangular de pelo menos 250 mm de largura e por 40 mm de espessura. Tarugo: seção quadrada com 40 mm. Estas formas intermediárias são posteriormente laminadas para as formas finais do produto.

Esta primeira etapa é comumente chamada de laminação de desbaste.

# LAMINAÇÃO

---



# LAMINAÇÃO

---

Ao passar entre os cilindros, o material sofre deformação plástica, tem redução da espessura e aumento na largura e no comprimento. Como a largura é limitada pelo comprimento dos cilindros, o aumento do comprimento é sempre maior.

# LAMINAÇÃO

---

A lamação pode ser feita a quente ou a frio:

Quente

Grandes reduções de espessura.

**Ex:** Para reduzir o aço, a lamação é sempre feita a quente, pois a estrutura cristalina é CFC (forças de coesão são menores, o que facilita a deformação → planos cristalinos).

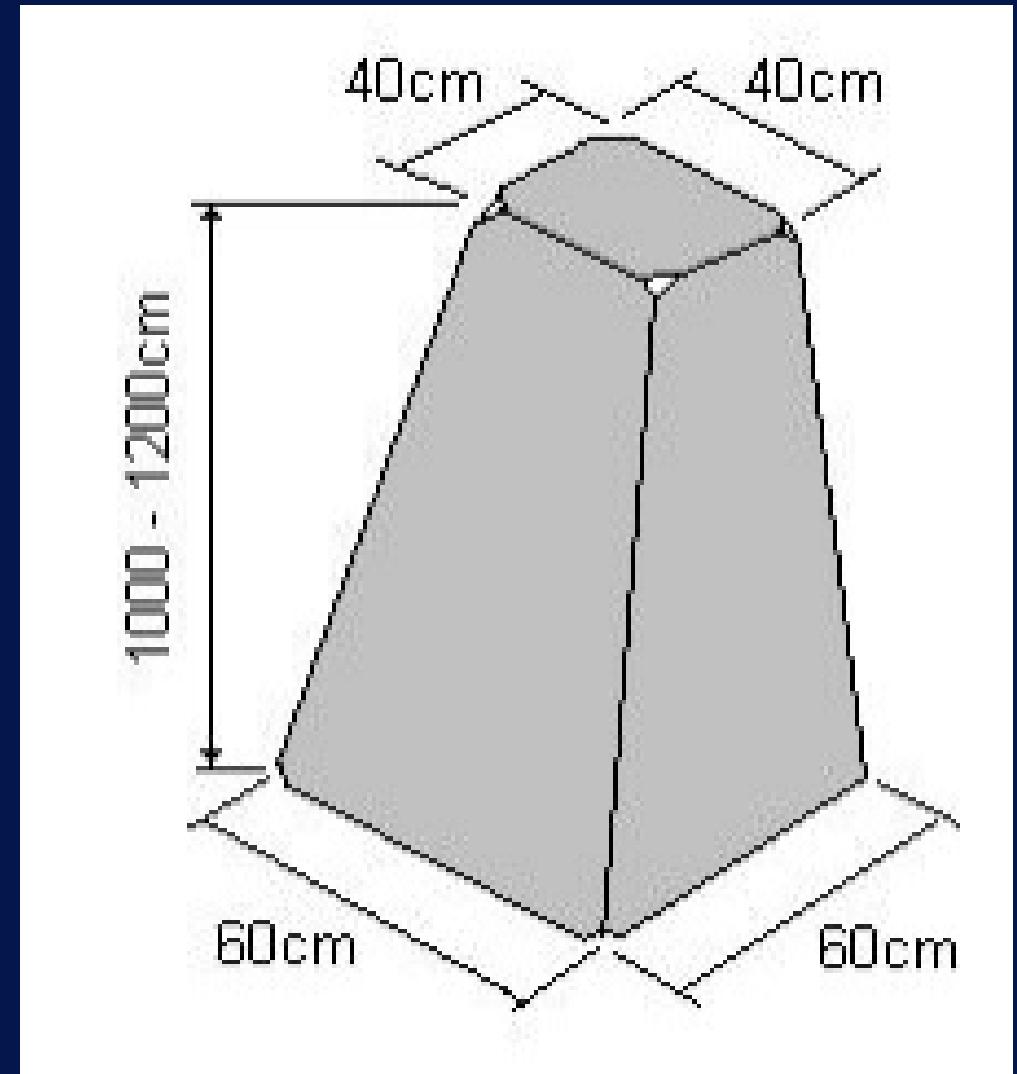
# LAMINAÇÃO

---

A laminAÇÃO pode ser feita a quente ou a frio:

Quente

Na laminAÇÃO primária, faz-se redução ou desbaste inicial dos lingotes em blocos, tarugos ou placas. Transforma seções de lingotes em outras menores de formatos diversos. Nesta etapa ocorre o refinamento da microestrutura dos lingotes e o caldeamento (fechamento) de bolhas e vazios; Uma nova etapa de laminAÇÃO a quente transforma o produto em chapas grossas, tiras a quente, vergalhões, barras, tubos, trilhos ou perfis estruturais.



# LAMINAÇÃO

---

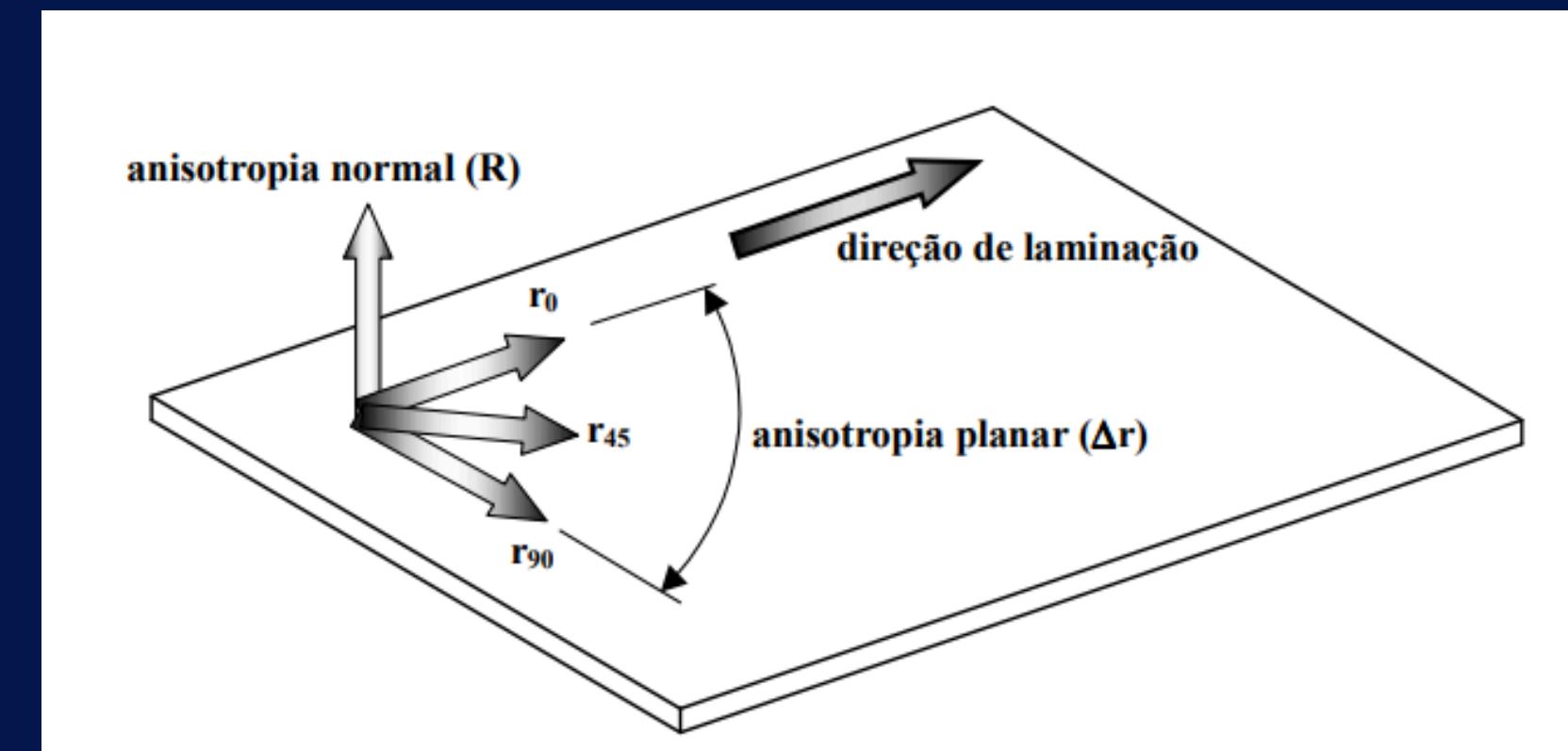
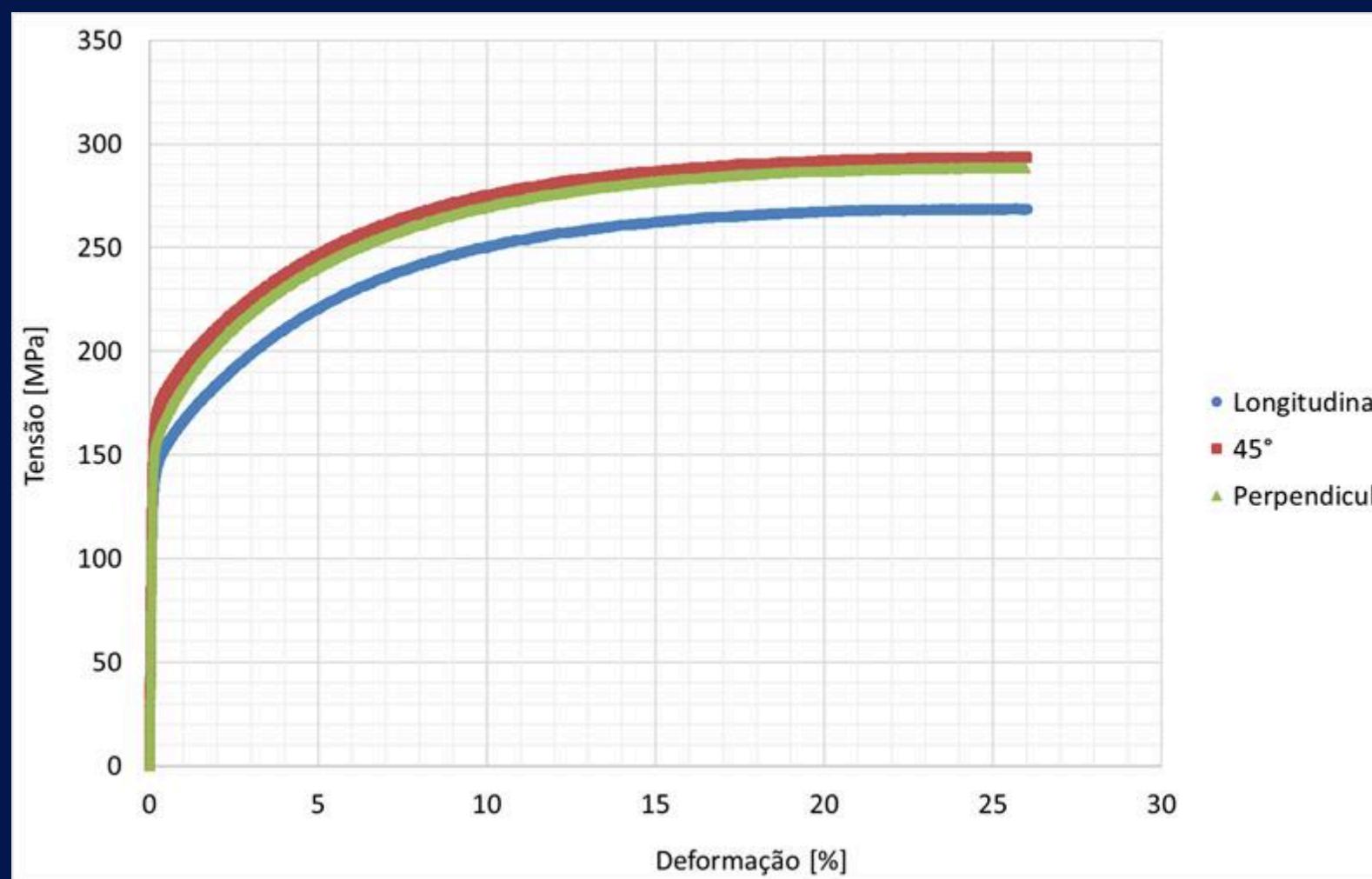
A lamação pode ser feita a quente ou a frio:

A Frio

Ocorre após a lamação primária a quente. É responsável por produtos de excelente acabamento superficial, com boas propriedades mecânicas, controle dimensional preciso, microestrutura de grãos alongados no sentido da lamação  
→ anisotropia de propriedades mecânicas.



# ANISOTROPIA



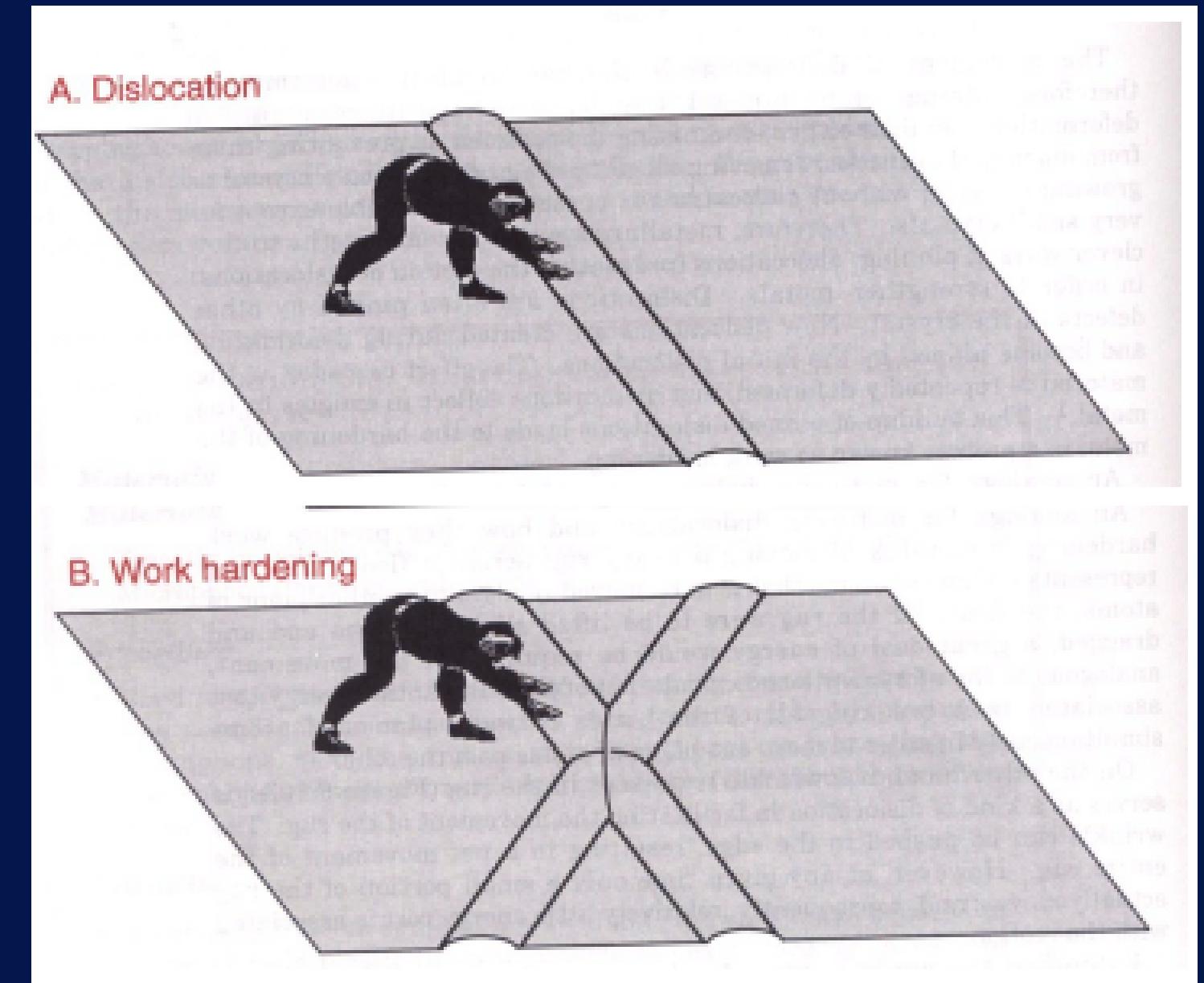
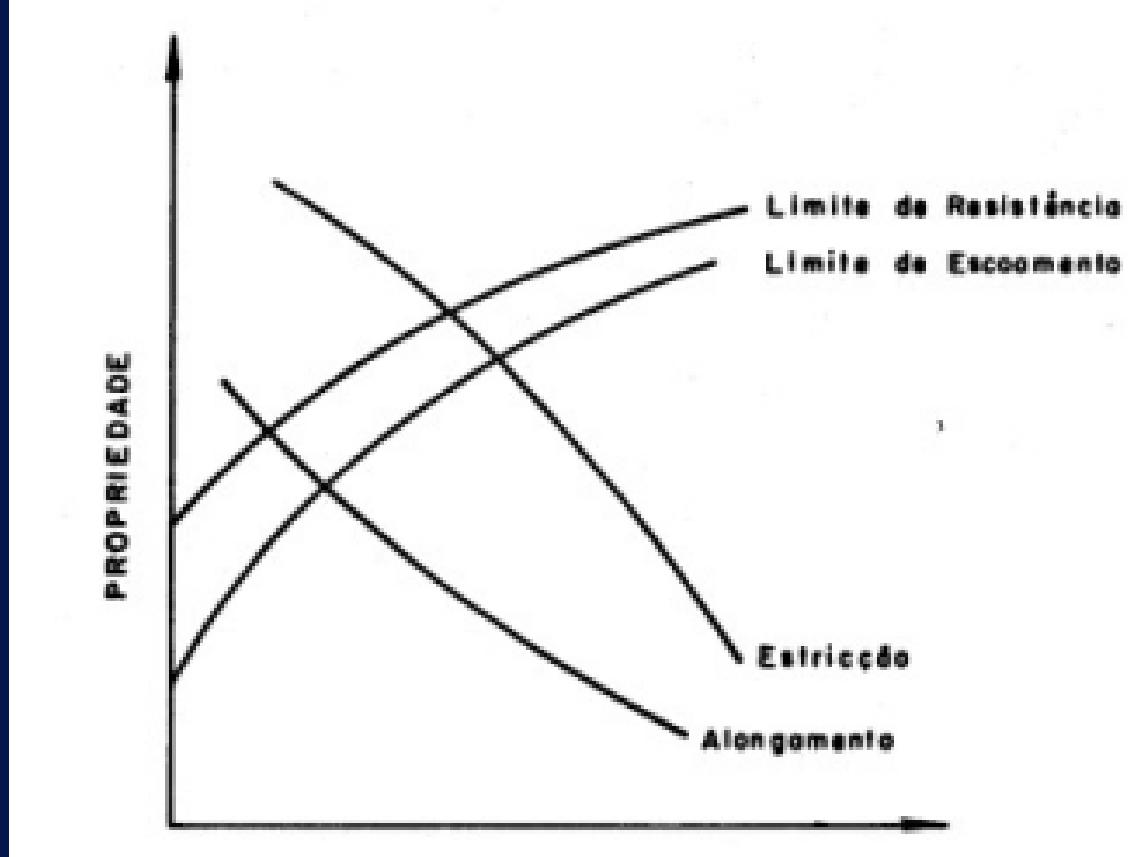
Sentido de Laminação	Propriedades Mecânicas		
	AL [%]	$\sigma_y$ -offset-0,2% [MPa]	$\sigma_r$ [MPa]
Longitudinal	54,2	147,6	269,1
45°	58,3	174,4	296,7
Perpendicular	58,0	162,6	291,7

# LAMINAÇÃO

---

Encruamento: Criação e acúmulo de discordâncias provenientes da deformação plástica do material → aumento na resistência da peça laminada.

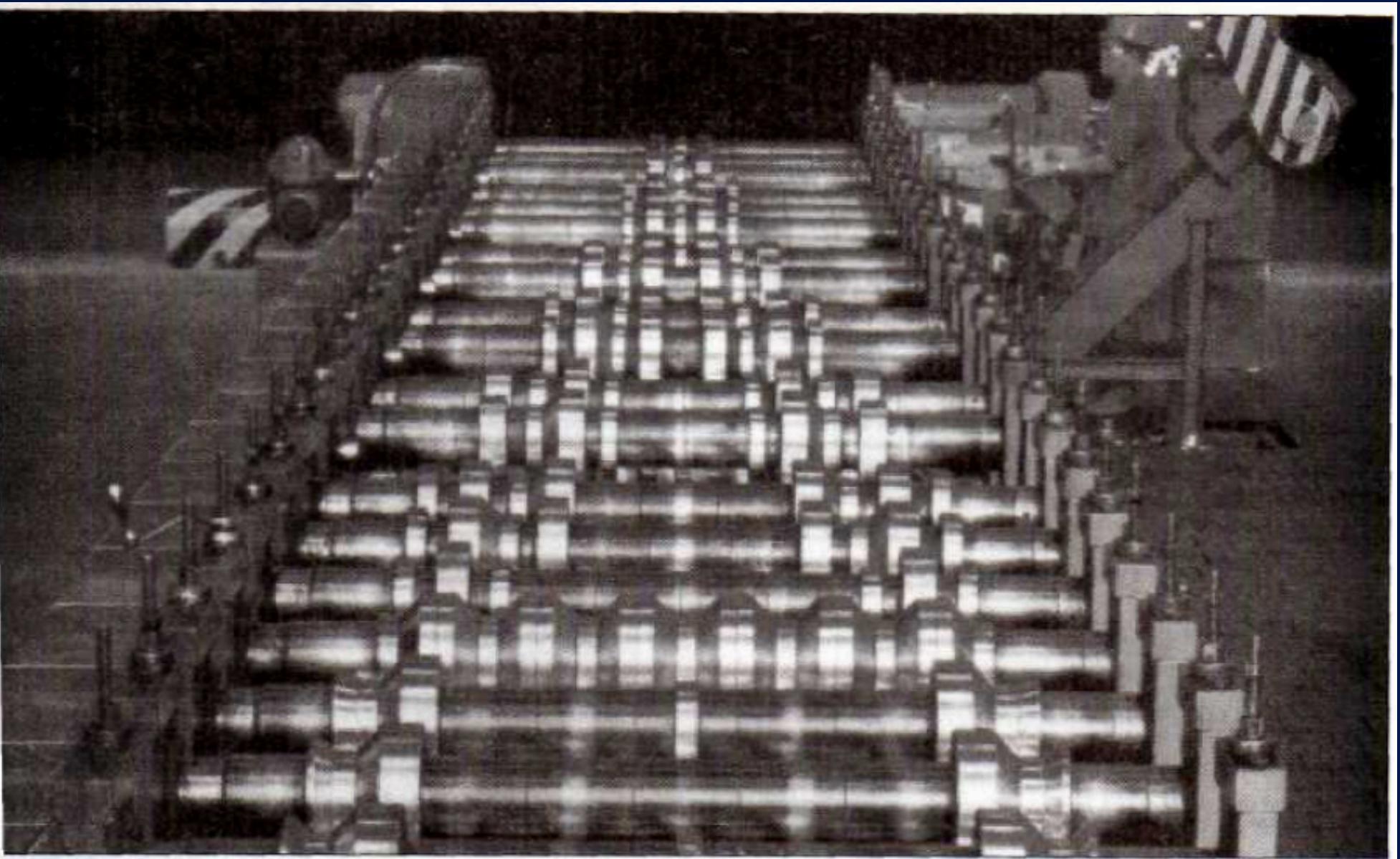
Alongamento dos grãos na direção de laminação.



# LAMINAÇÃO

---

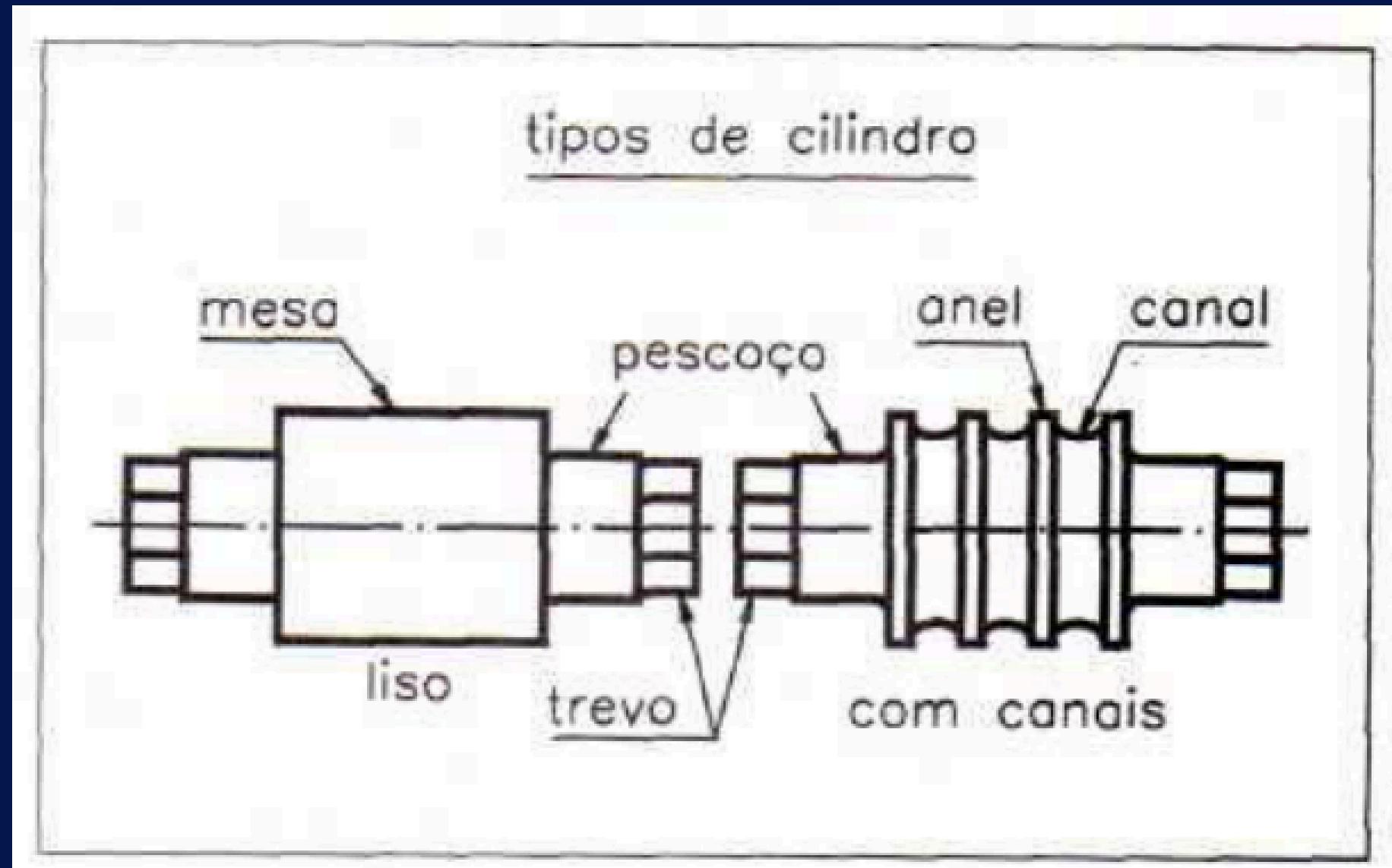
As instalações de uma laminação são compostas por fornos de aquecimento e reaquecimento de lingotes, placas e tarugos, sistemas de roletes para deslocar os produtos, mesas de elevação e basculamento, tesouras de corte e, principalmente, o laminador.



# LAMINAÇÃO

---

Os cilindros são as peças-chave dos laminadores, porque aplicam os esforços para deformar o metal. Podem ser fundidos ou forjados, de ferro fundido ou aço especial, dependendo das condições de trabalho. Podem ser lisos, para a produção de placas e chapas, ou com canais, para a produção de perfis.



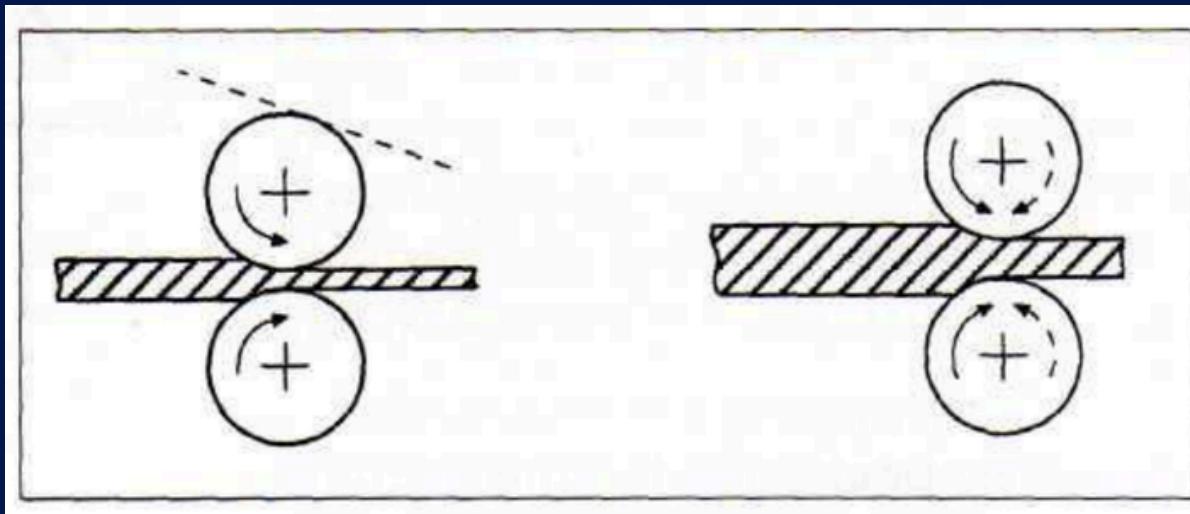
# LAMINAÇÃO

---

## Tipos de Laminadores:

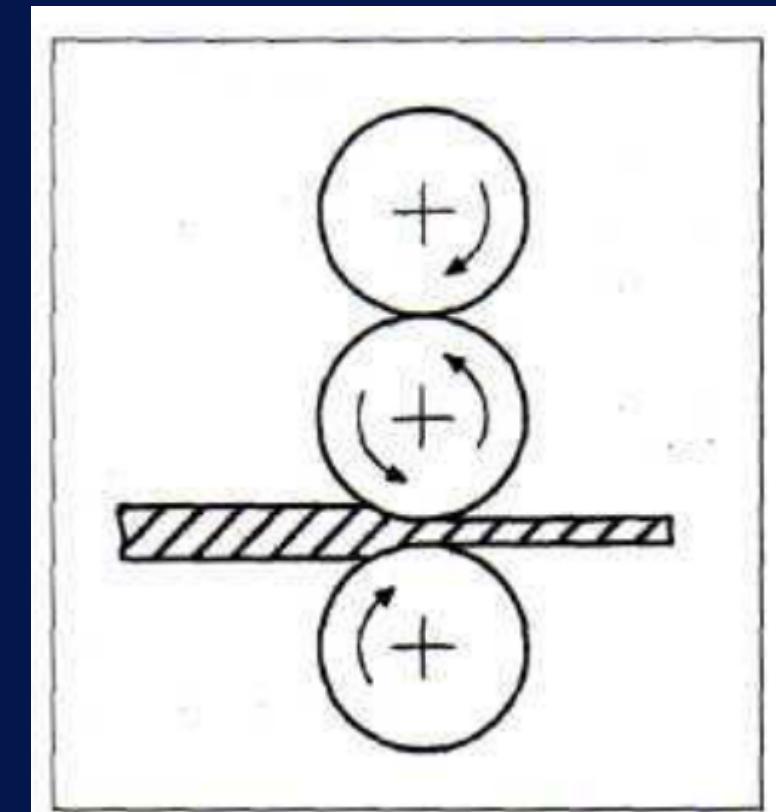
### Duo

dois cilindros de mesmo diâmetro, que giram em sentidos opostos, na mesma velocidade.



### Trio

três cilindros dispostos uns sobre os outros. Na primeira vez, passa entre o cilindro inferior e médio. No retorno, entre o médio e o superior.

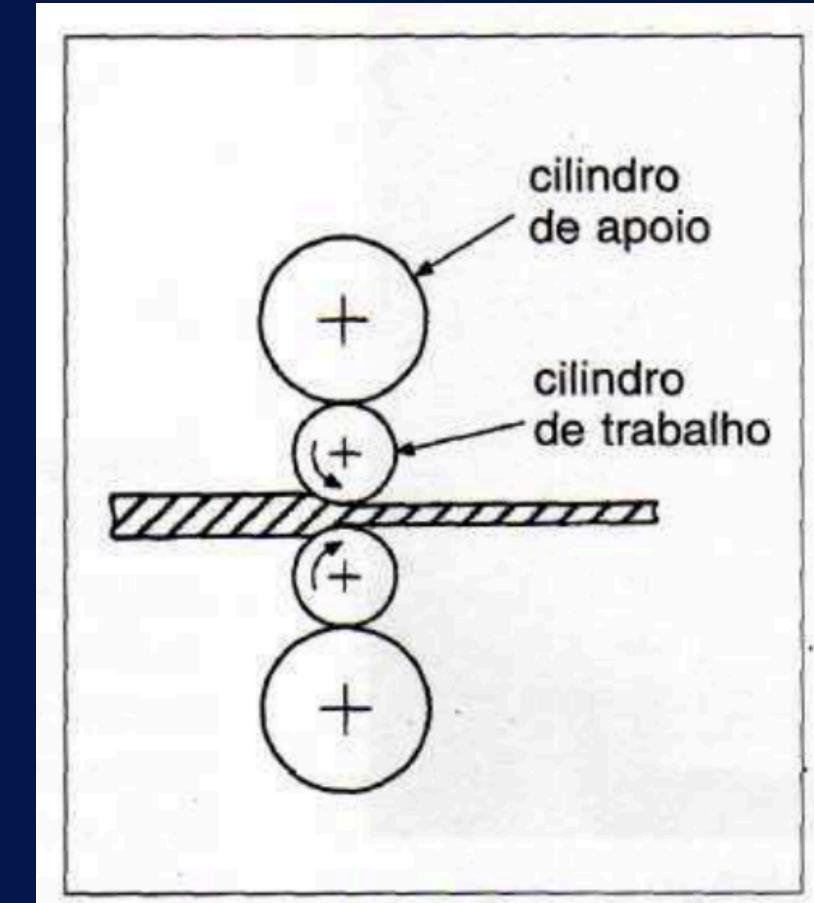


# LAMINAÇÃO

## Tipos de Laminadores:

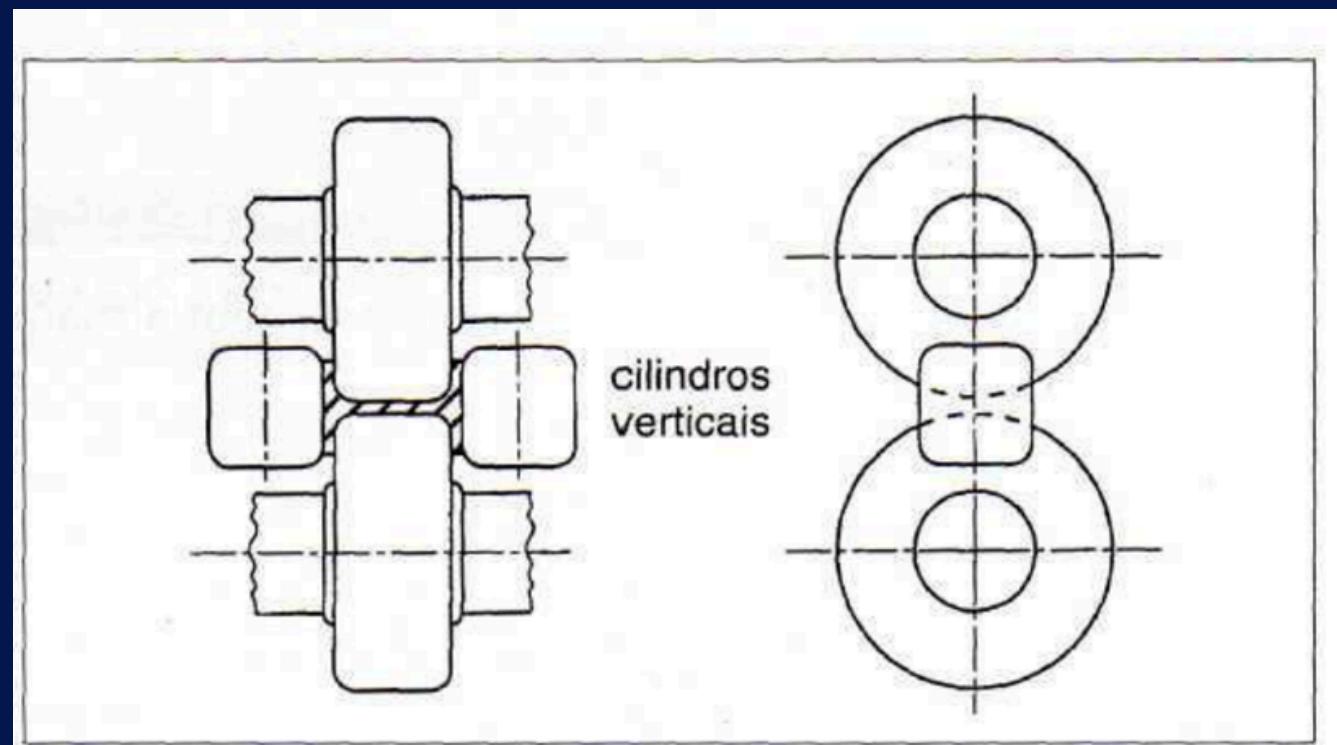
### Quádruo

quatro cilindros: dois internos (de trabalho) e dois externos (de apoio).



### Universal

quatro cilindros combinados: dois horizontais e dois verticais. É utilizado para a laminação de trilhos.



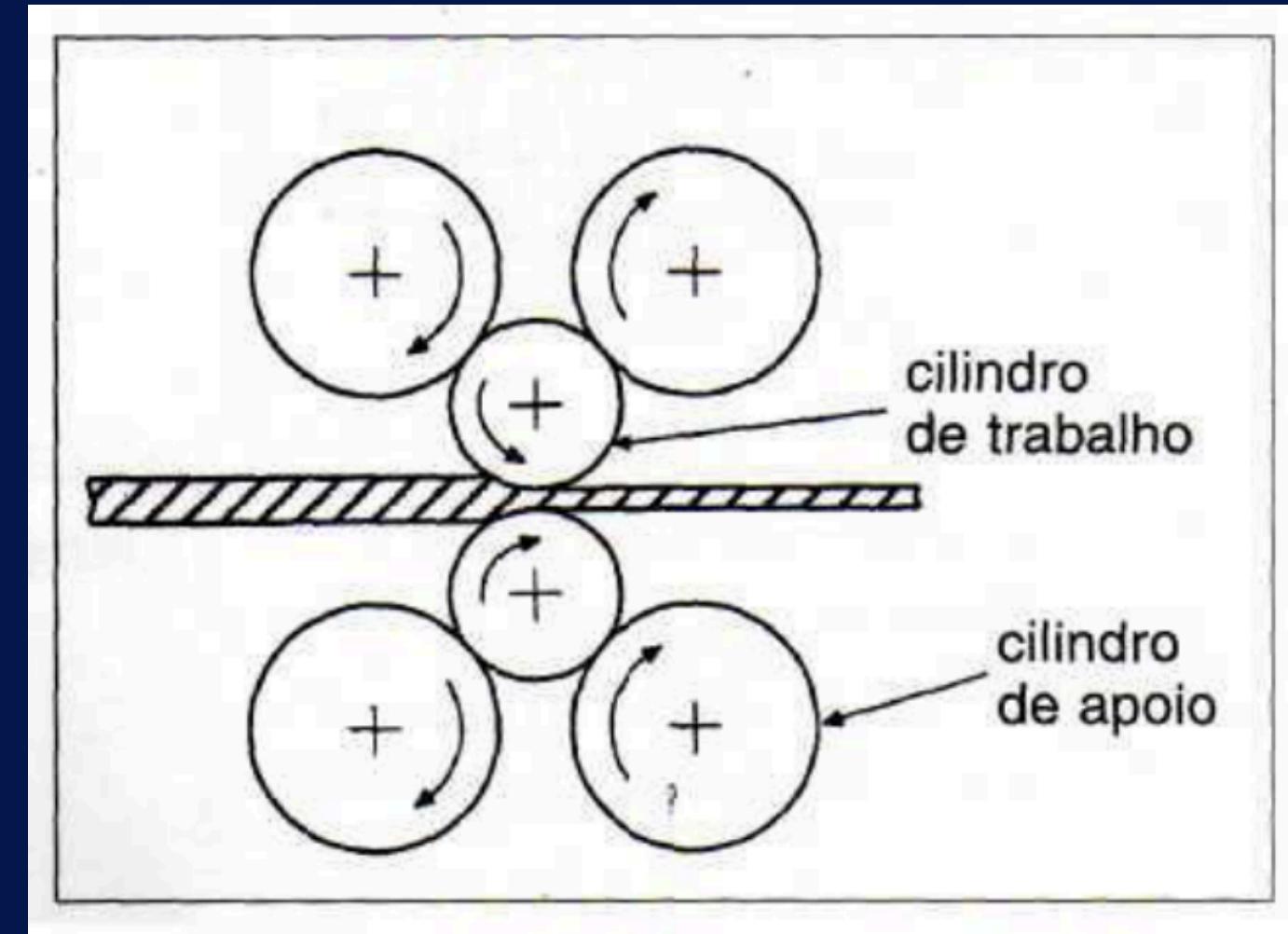
# LAMINAÇÃO

---

## Tipos de Laminadores:

**Sendzimir**

seis cilindros dos quais dois são de trabalho e quatro de apoio.



# LAMINAÇÃO

---

## Tipos de Laminadores:

Para peças de menor espessura, utilizam-se cilindros de menor diâmetro para um melhor acabamento dimensional → risco de sofrer flexão durante a laminação → utilizam-se cilindros de apoio com diâmetros maiores.

# LAMINAÇÃO

---

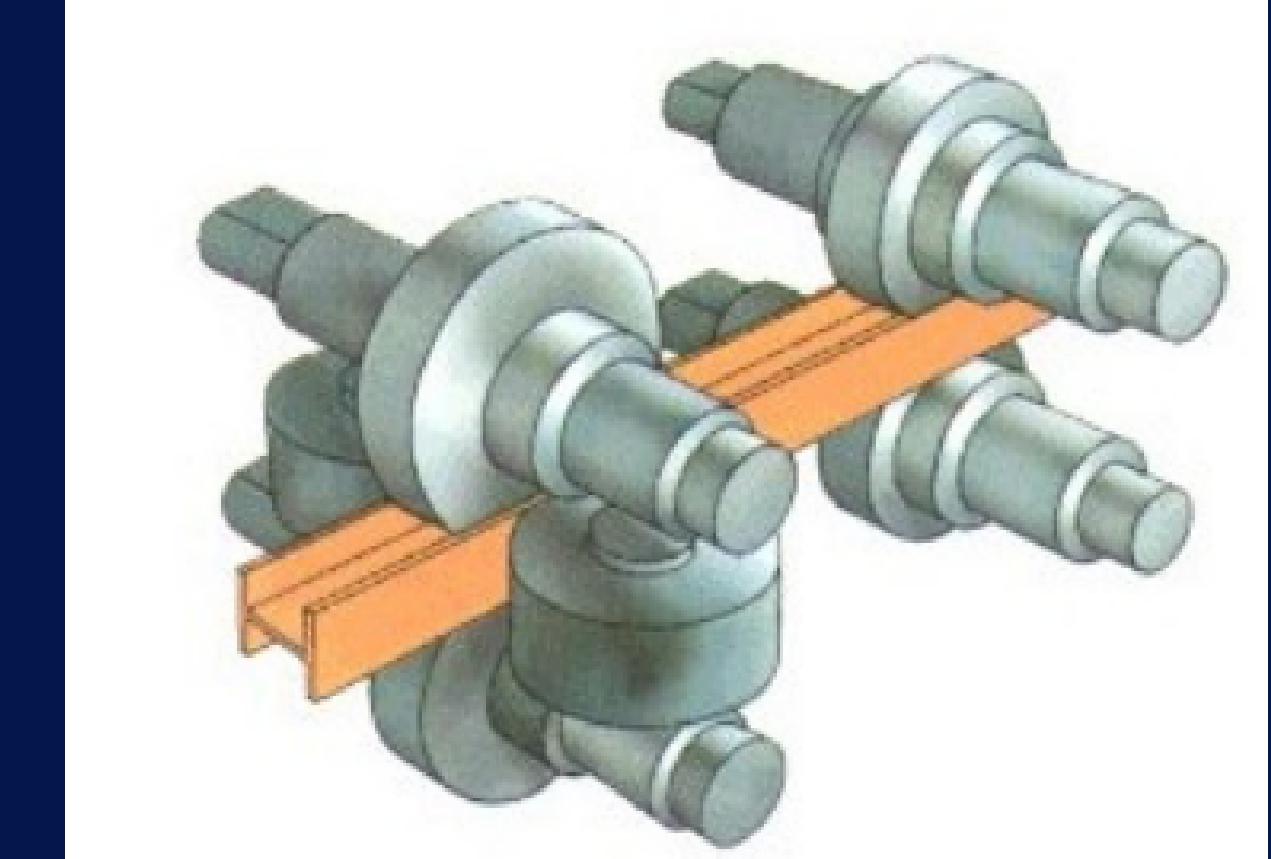
## Tipos de Laminadores:

### Cilindros com ranhuras

As ranhuras são responsáveis pela formação dos perfis de trilhos, canaletas e vigas.



Laminadores ranhurados para perfis



# LAMINAÇÃO

---

## Vantagens

É o método mais eficiente e barato de reduzir a seção transversal de uma peça.

Obtenção de espessuras uniformes ao longo de grandes comprimentos.

Apresenta alta produtividade e um controle dimensional do produto acabado bastante preciso.

## Desvantagem

Problema de flexão dos rolos resultando na produção de chapas de espessura maior no centro do que nas bordas.

# LAMINAÇÃO

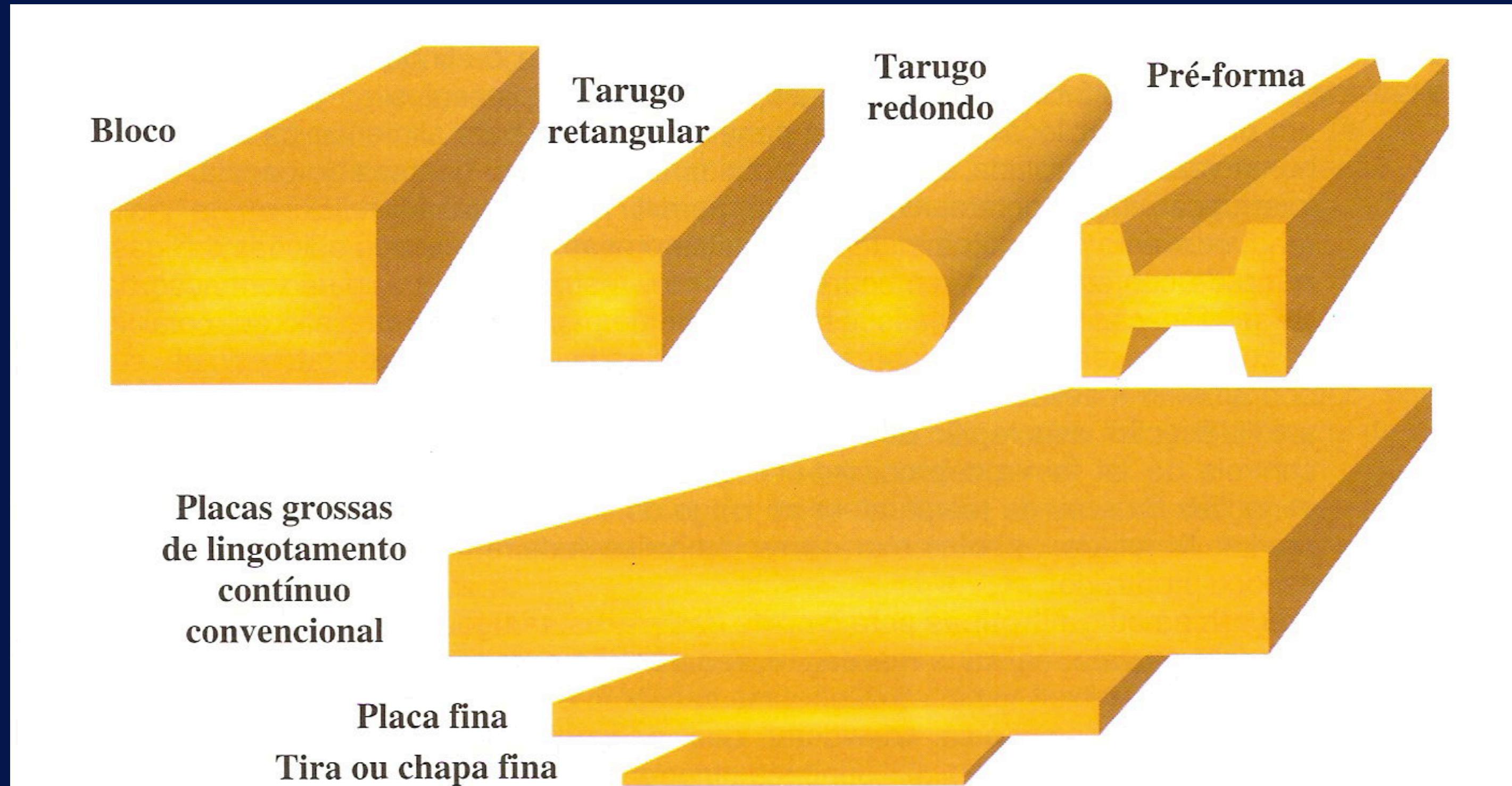
---

## Esforços envolvidos:



# LAMINAÇÃO

---

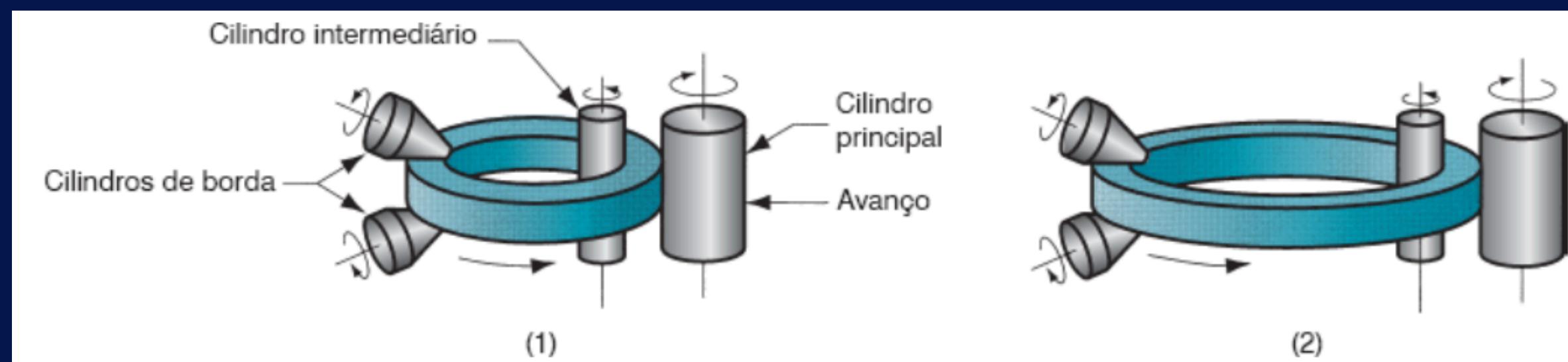
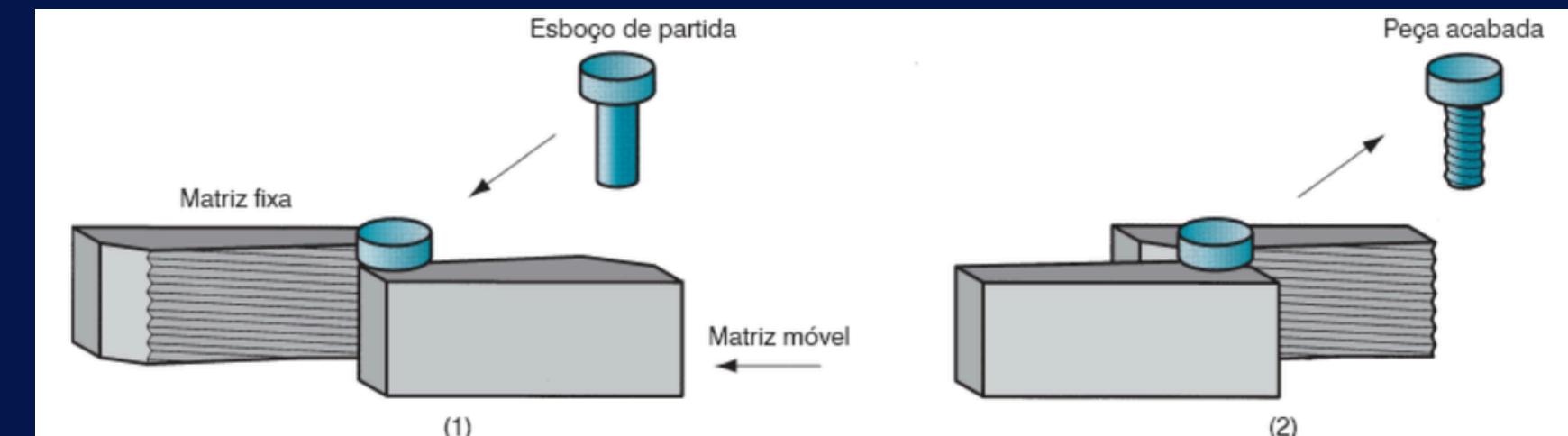


# LAMINAÇÃO

---

## Outros processos:

Laminação de rosca e anéis



# LAMINAÇÃO

---



# LAMINAÇÃO

---

## Defeitos em produtos laminados

- Poros, inclusões, segregações devido ao processo de obtenção do lingote (processo de fundição).
- Após a laminação existe uma melhora na homogeneidade e distribuição destes defeitos, quando se trata de inclusões estas se alinham de acordo com uma das direções principais de deformação (anisotropia).
- Como existe uma alta relação entre superfície/volume em produtos laminados, deve-se ter o cuidado com o acabamento superficial.
- Durante a laminação deve-se ter um controle da espessura da chapa que pode variar no sentido longitudinal quando se trata de material não homogêneo , ou no sentido transversal devido a flexão do cilindro.
- Muitas vezes a variação da espessura no sentido longitudinal pode ser ocasionada pela variação da velocidade de laminação ou variação na tensão de tração na chapa.

# LAMINAÇÃO

---

## DEFEITOS DE CHAPAS LAMINADAS

- Rugosidade: Afeta toda a largura da chapa – é constituída de partículas de carepa engastadas na superfície, que desaparecem depois da decapagem e deixam um aspecto áspero.
- Marcas de cilindros- Tem origem numa irregularidade na superfície do cilindro de trabalho e que, a cada rotação, são reproduzidas na superfície do metal.
- Ondulações- Resultam de tensão muito baixa, má planicidade ou perfil assimétrico da tira do acabador.
- Vazios: São locais onde aparecem "buracos" no produto laminado e podem ser oriundos de rechupes ou dos gases retidos no metal, quando da sua fundição. Este tipo de defeito reduz a resistência mecânica do produto.
- Gotas Frias: São pingos de metal que se solidificam na parede da lingateira durante o vazamento do metal na fundição e, quando o líquido chega nestes pingos solidificados para preencher e formar o bloco que será laminado, a "gota fria" adere-se ao bloco e forma o defeito.
- Trincas: São rachaduras que aparecem nas peças laminadas e, tipicamente, são oriundas de temperaturas inadequadas durante a laminação.
- Dobras: São oriundas de reduções de espessura muito elevadas.
- Inclusões: São oriundas do processo de fundição (óxidos, cinzas, escórias, pedaços do refratário do forno de fundição, ou qualquer outro tipo de contaminação sólida inadequada no metal a ser laminado). Normalmente são óxidos metálicos muito mais duros do que os rolos laminadores e provocam a deformação ou marcação destes definitivamente.

# LAMINAÇÃO

---

## Classificação dos produtos - Planos

- Chapas grossas > 6mm de espessura.
- Chapas finas a quente – de 1,2 a 6mm.
- Chapas finas a frio – de 0,3 a 2mm.
- Chapas galvanizadas – laminadas com revestimento protetor de zinco, por imersão em zinco fundido (processo mais usado) ou por deposição eletrolítica.
- Chapas estanhadas (folha de flandres) – laminados a frio com revestimento protetor de estanho ( por imersão ou deposição eletrolítica).

# LAMINAÇÃO

---

## Classificação dos produtos - Não-Planos

- Diversos tipos de perfis: T, Y, V, L duplo T...
- Tarugos de seção quadrada, redonda, sextavada...
- Ferros finos de seção quadrada, redonda, chata...
- Fio máquina (materiais ferrosos de seção redonda, condicionados em bobinas)

# LAMINAÇÃO

---

## Cálculos

### Coeficiente de Alongamento ( $\delta$ ):

$l_0$  = Comprimento inicial da chapa

$l_f$  = Comprimento da chapa laminada

$$\delta = \frac{l_f}{l_0}$$

### Volume Constante:

$w_0$  = Largura inicial

$w_f$  = Largura final

$h_0$  = Espessura inicial

$h_f$  = Espessura final

$$w_0 \cdot l_0 \cdot h_0 = w_f \cdot l_f \cdot h_f$$

$$\frac{l_f}{l_0} = \frac{w_0 \cdot h_0}{w_f \cdot h_f}$$

# LAMINAÇÃO

---

## Cálculos

### Velocidade de Saída do Material (vf):

O acumulo de material entre os cilindros é zero, então por unidade de tempo no processo de laminação tem-se que:

“MATERIAL QUE ENTRA = MATERIAL QUE SAI”

Considerando que a largura praticamente não se altera e da condição de volume constante, temos:

$$v_0 \cdot h_0 \cdot w_0 = v_f \cdot h_f \cdot w_f$$

$$v_f = v_0 \frac{h_0}{h_f}$$

$$v_f > v_0$$

---

# VIDEOS SOBRE LAMINAÇÃO

# AVALIAÇÃO 1 – ASSUNTO: CONFORMAÇÃO E LAMINAÇÃO

---

- 1) Qual a diferença entre a deformação elástica e plástica? Que propriedade mecânica indica que está havendo deformação plástica?
  - 2) O que é levado em conta para definir se um trabalho de conformação deve ser feito a quente ou a frio?
  - 3) O que é anisotropia? Como se percebe a presença deste fenômeno usando microscopia óptica?
  - 4) O que acontece, em termos de propriedades mecânicas, com uma chapa de aço laminada a frio, se for submetida a tratamento térmico a 500°C?
  - 5) Qual a força predominante que atua na lamação? Justifique.
  - 6) Comente a respeito dos diferentes tipos de laminadores, quanto ao número de cilindros. Cite os diversos laminadores.
  - 7) Quais os principais defeitos de lamação? Qual a origem deles?
  - 8) O que causa a segregação? Como pode ser minimizada?
-