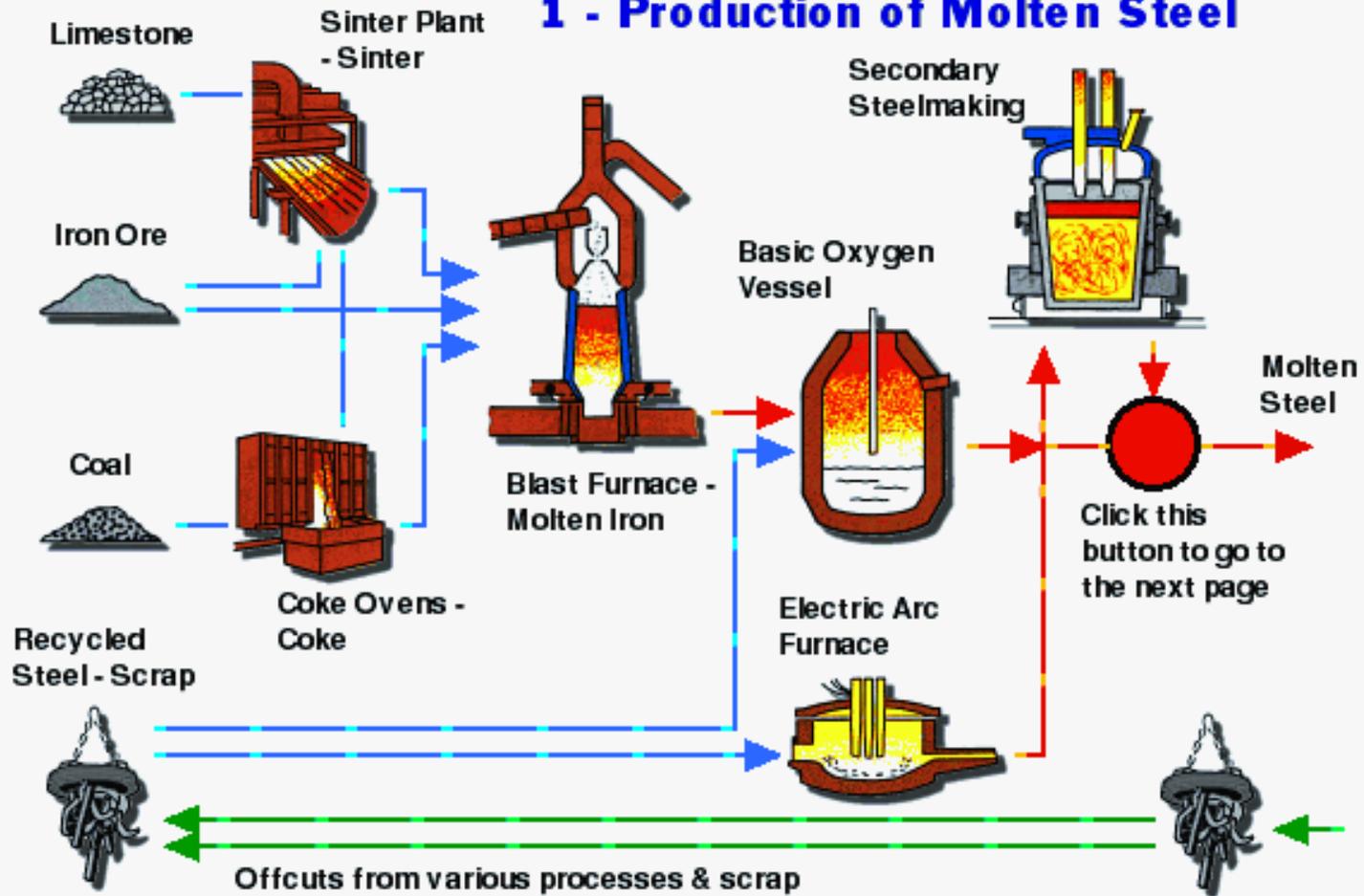


Conformação Mecânica

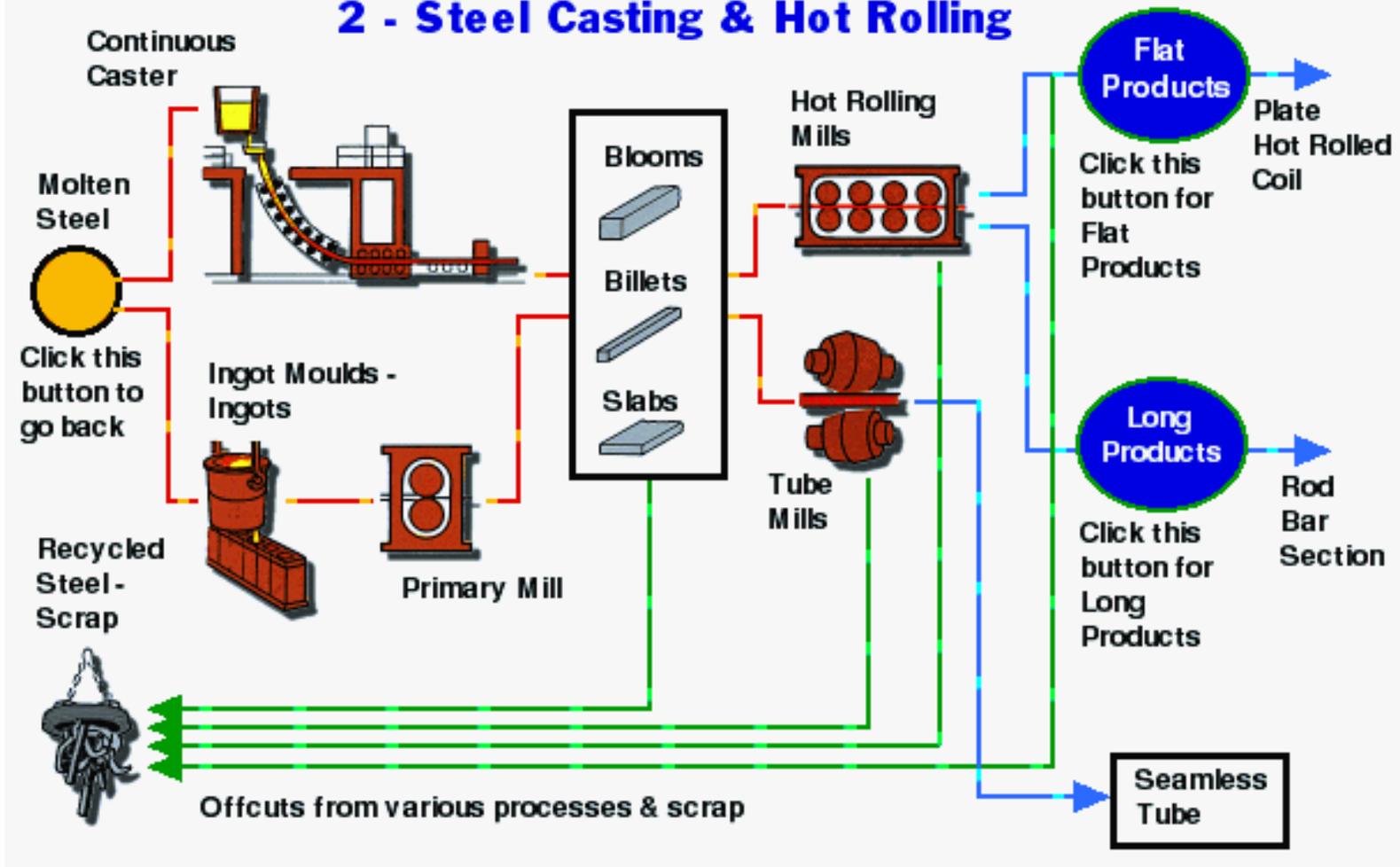
- **LAMINAÇÃO**



1 - Production of Molten Steel



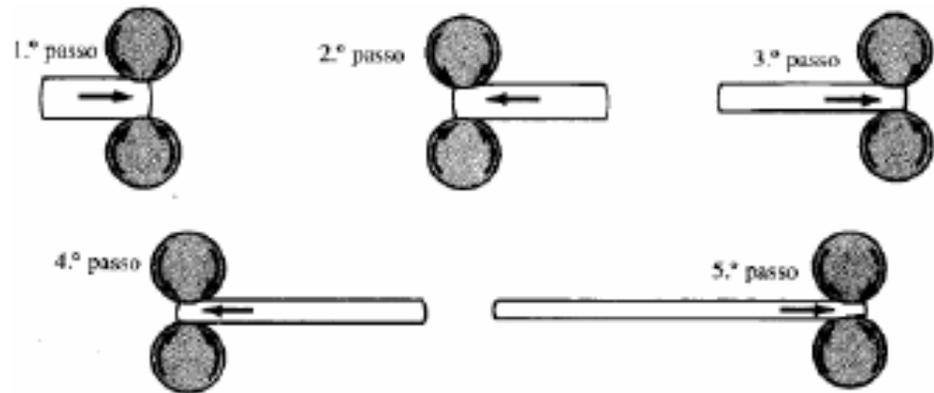
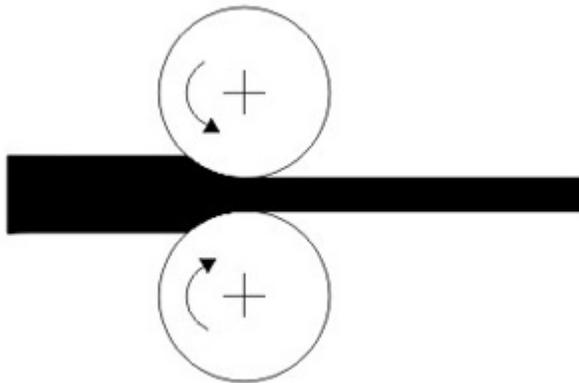
2 - Steel Casting & Hot Rolling



Conformação por Laminação

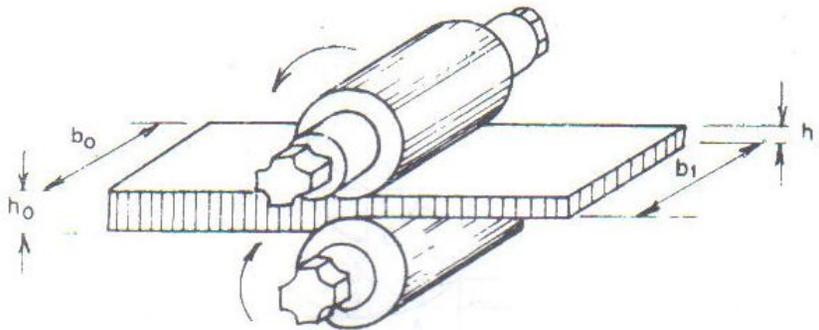
- **O que é?**

A laminação é um processo de conformação mecânica pelo qual um lingote de metal é forçado a passar por entre dois cilindros que giram em sentidos opostos, com a mesma velocidade, distanciados entre si a uma distância menor que o valor da espessura da peça a ser deformada.



Processo de Laminação

- As diferenças entre a espessura inicial e a final, da largura inicial e final e do comprimento inicial e final, chamam-se respectivamente: redução total, alargamento total e alongamento total e podem ser expressas por:



$$\Delta h = h_0 - h_1$$

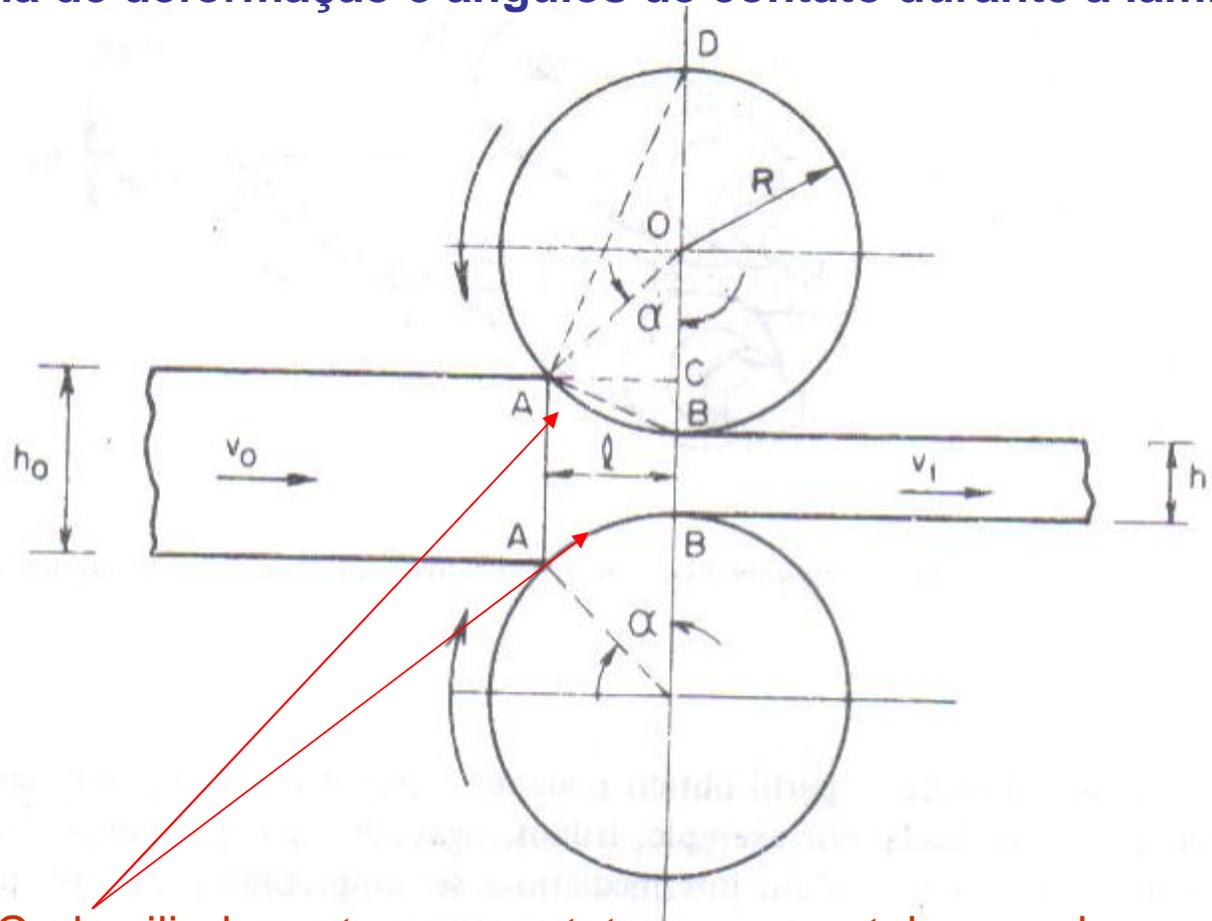
$$\Delta b = b_1 - b_0$$

$$\Delta l = l_1 - l_0$$

Nas condições normais, o resultado principal da redução de espessura do metal é o seu alongamento, visto que o seu alargamento é relativamente pequeno e pode ser desprezado.

Forças na Laminação

Zona de deformação e ângulos de contato durante a laminação.



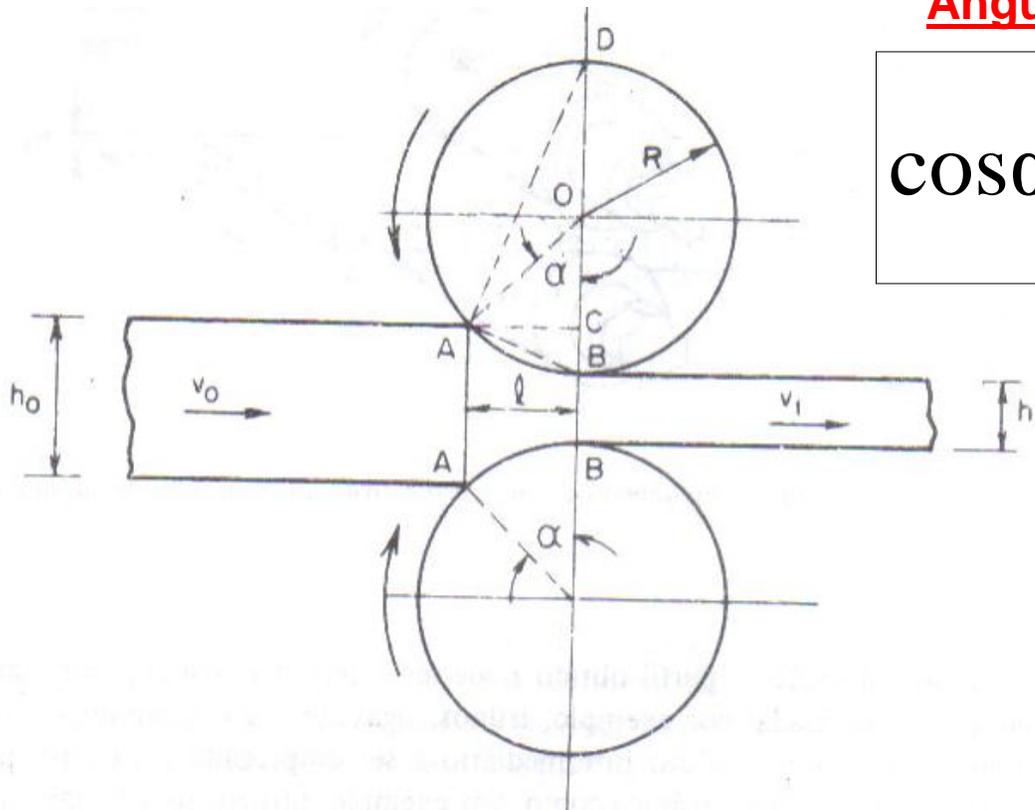
Cada cilindro entra em contato com o metal segundo o arco AB – **Arco de Contato** – A esse arco corresponde o ângulo chamado **ângulo de contato** ou de *ataque*.

Forças na Laminação

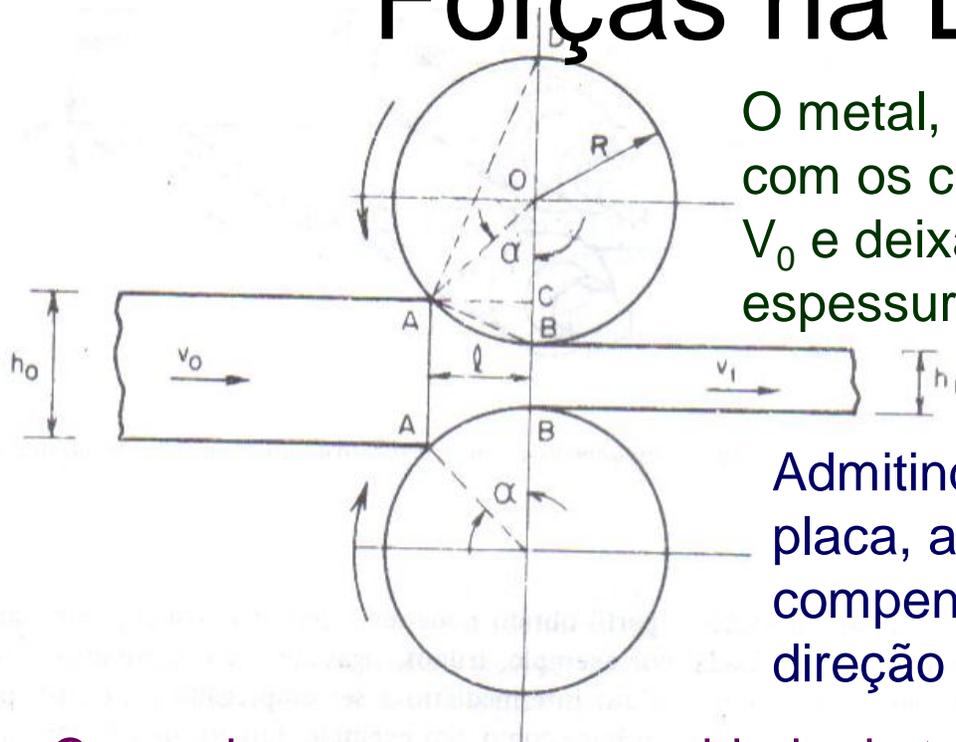
Chama-se **zona de deformação** a zona à qual corresponde o volume de metal limitado pelo arco AB, pelas bordas laterais da placa sendo laminada e pelos planos de entrada e saída do metal dos cilindros.

Ângulo de Contato:

$$\cos\alpha = 1 - \frac{h_0 - h_1}{2R}$$



Forças na Laminação



O metal, de espessura h_0 , entra em contato com os cilindros no plano **AA** à velocidade V_0 e deixa os cilindros, no Plano **BB**, com a espessura reduzida para h_1 .

Admitindo que não haja alargamento da placa, a diminuição de altura ou espessura é compensada por um alongamento, na direção da laminação.

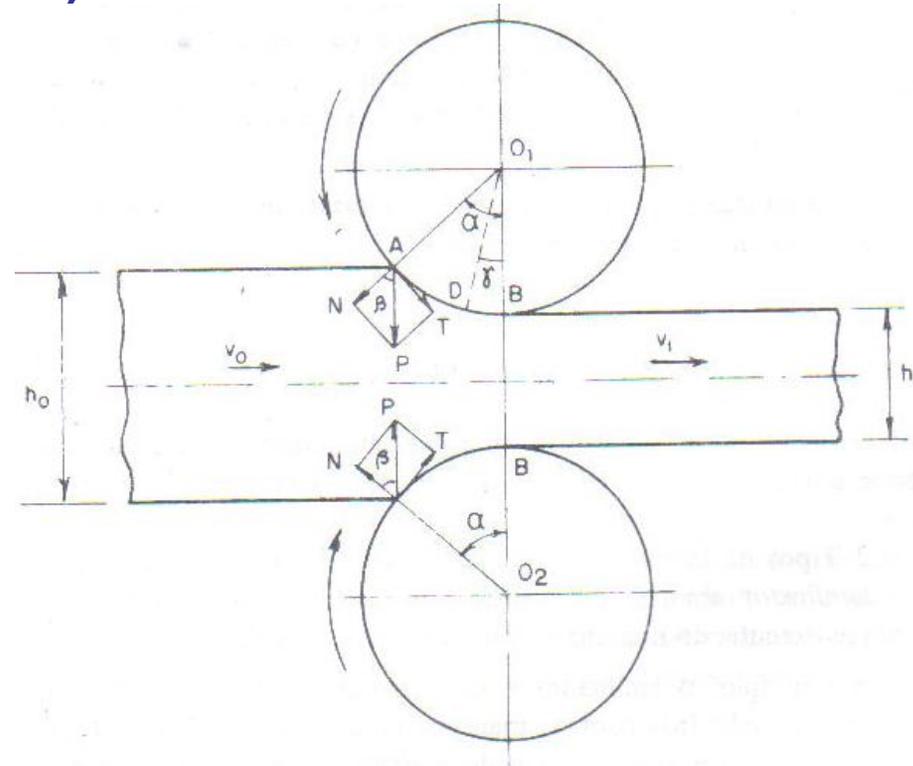
Como devem passar, na unidade de tempo, por um determinado ponto, iguais volumes de metal, pode-se escrever:

$$b_0 h_0 v_0 = b h v = b h_1 v_1$$

onde b é a largura da placa e v a velocidade a uma espessura h intermediária entre h_0 e h_1 .

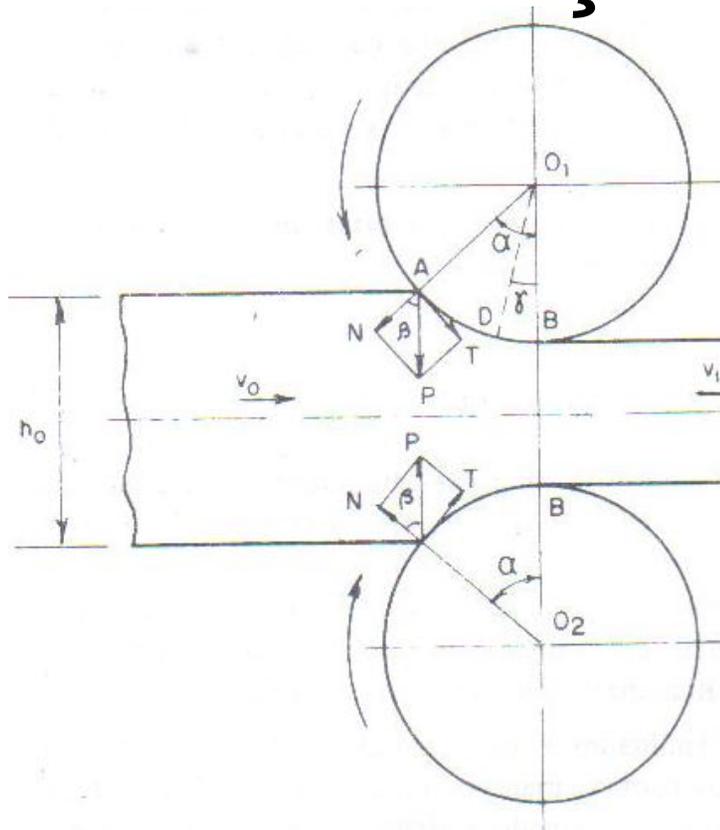
Forças na Laminação

Esquema de forças atuantes no momento do contato (ou de entrada) do metal com os cilindros do laminador.



Para que um elemento vertical da placa permaneça indeformado, a equação exige que a velocidade na saída v_1 seja maior que a velocidade de entrada v_0 .

Forças na Laminação



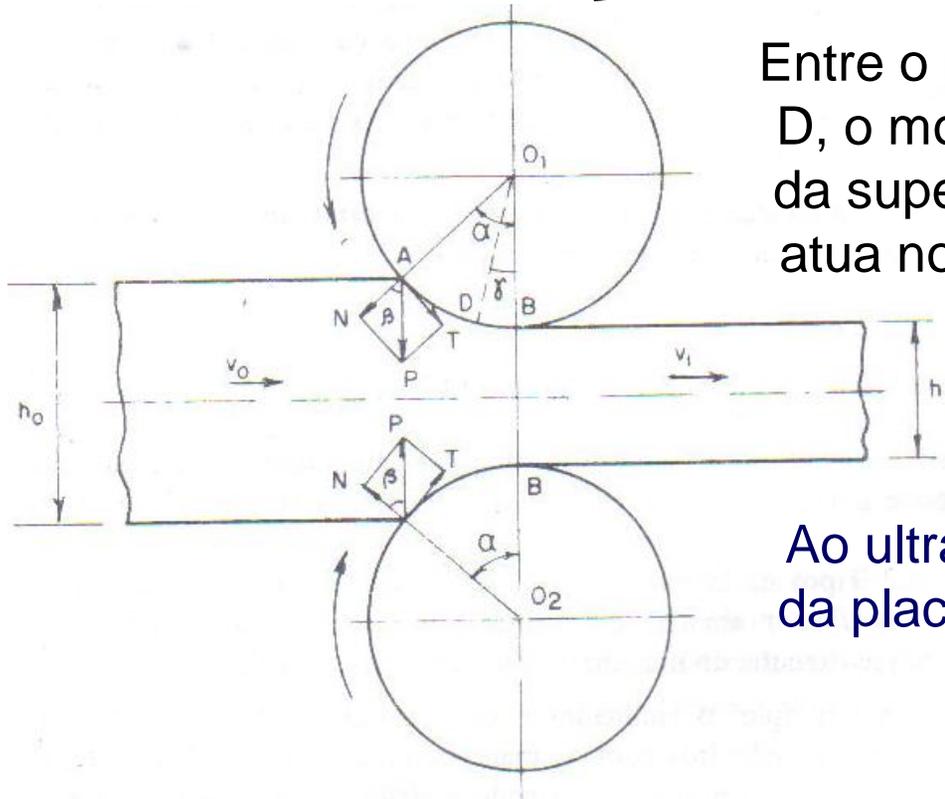
A velocidade da placa cresce da entrada até a saída.

Ao longo da superfície ou arco de contato, entre os cilindros e a placa, ou seja, na zona de deformação, há somente um ponto onde a velocidade periférica V dos cilindros é igual à velocidade da placa.

Esse ponto é chamado ponto neutro ou ponto de não deslizamento e o ângulo central γ é chamado **ângulo neutro**.

As duas forças principais que atuam sobre o metal, quer na entrada, quer em qualquer ponto da superfície de contato, são: uma força normal ou radial N e uma força tangencial T , também chamada **força de atrito**.

Forças na Laminação

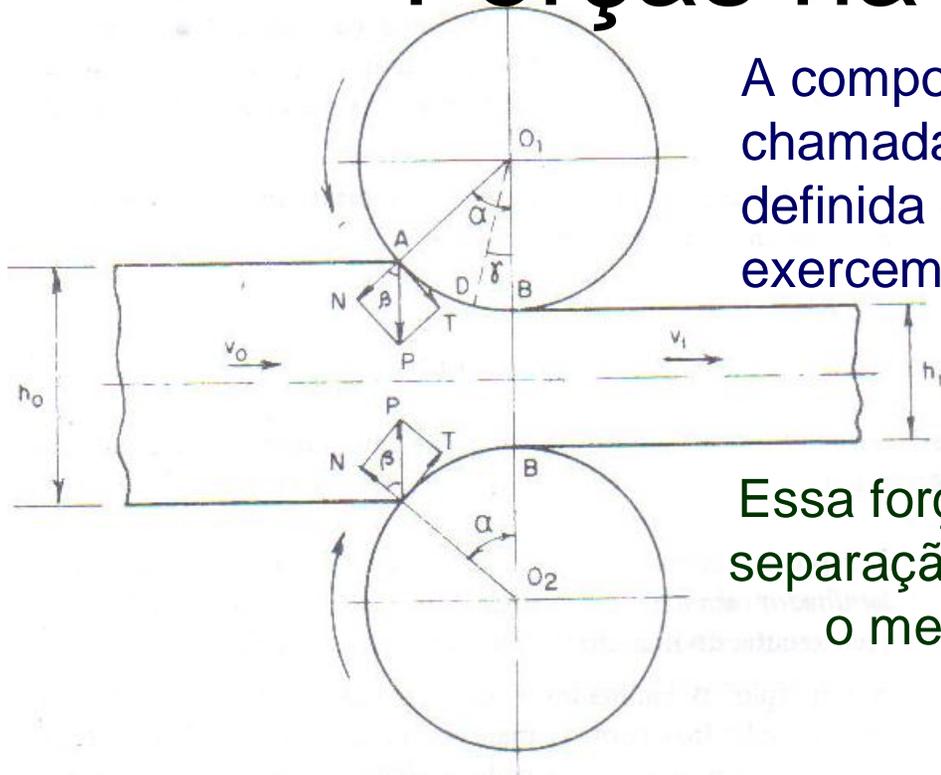


Entre o plano de entrada AA e o ponto neutro D, o movimento da placa é mais lento que o da superfície dos cilindros e a força de atrito atua no sentido de arrastar o metal entre os cilindros.

Ao ultrapassar o ponto neutro D, o movimento da placa é mais rápido que o da superfície dos cilindros.

Assim, a direção da força de atrito inverte-se, de modo que sua tendência é opor-se à saída da placa de entre os cilindros.

Forças na Laminação



A componente vertical da força radial N é chamada carga de laminação P , que é definida como a força que os cilindros exercem sobre o metal.

Essa força é freqüentemente chamada força de separação, porque ela é quase igual à força que o metal exerce no sentido de separar os cilindros de laminação.

A pressão específica de laminação é a carga de laminação P dividida pela área de contato e é dada pela expressão:

$$P = \frac{P}{b \cdot L_p}$$

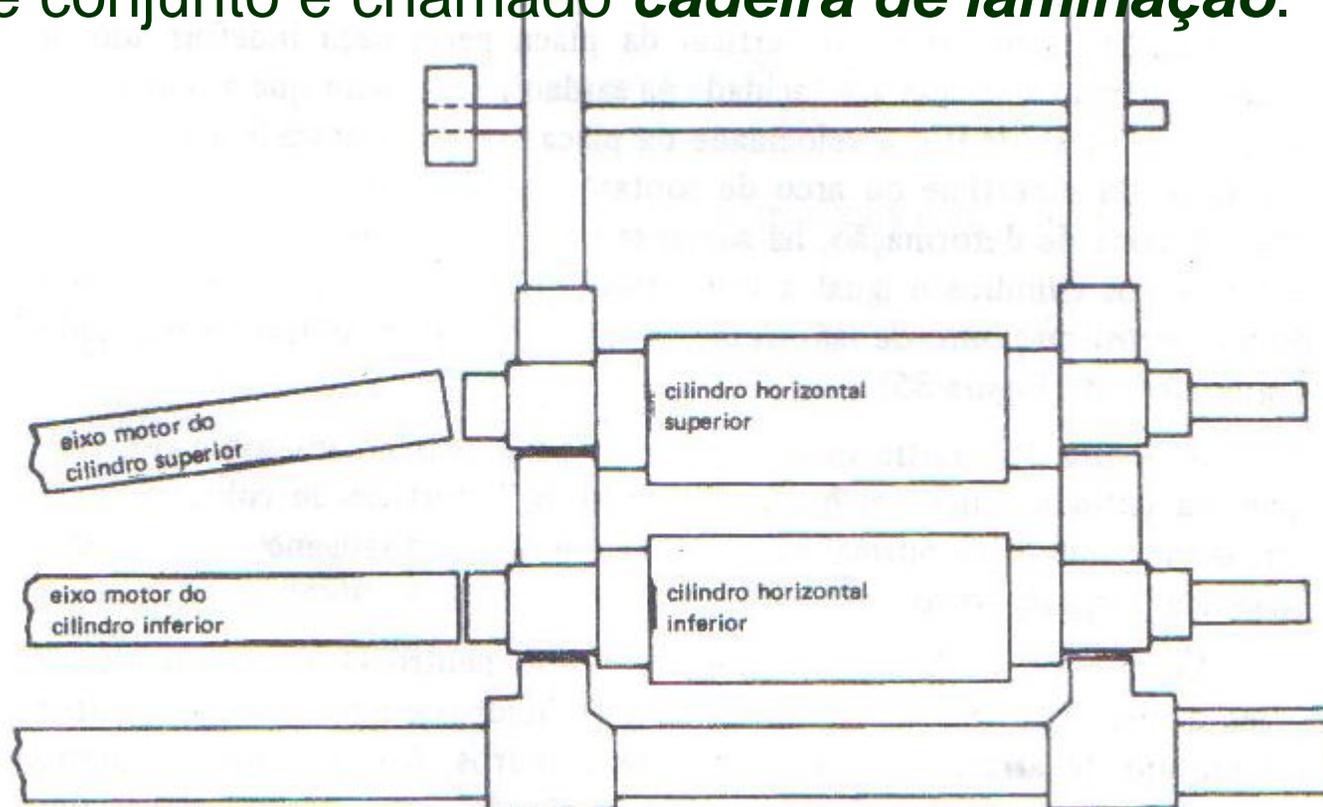
Onde $b \cdot L_p$ é a área de contato (b corresponde à largura b da placa e L_p corresponde ao comprimento projetado do arco de contato)

Laminadores

- **Laminador:** é o equipamento que realiza a laminação.
- Além dos laminadores, existem também equipamentos que são dispostos de acordo com a seqüência de operações de produção na laminação, na qual os lingotes entram e, aos saírem, já estão com o formato final desejado seja como produto final ou seja como produto intermediário. São eles: *fornos de aquecimento e reaquecimento de lingotes, placas e tarugos, sistemas de roletes para deslocar os produtos, mesas de elevação, tesouras de corte.*

Laminadores

- Em princípio, o laminador é constituído de uma estrutura metálica que suporta os cilindros com os mancais, montantes e todos os acessórios necessários.
- Esse conjunto é chamado ***cadeira de laminação***.



Laminadores

- Um laminador consiste basicamente de cilindros (ou rolos), mancais, uma carcaça chamada de gaiola ou quadro para fixar estas partes e um motor para fornecer potência aos cilindros e controlar a velocidade de rotação.
- As forças envolvidas na laminação podem facilmente atingir milhares de toneladas, portanto é necessária uma construção bastante rígida, além de motores muito potentes para fornecer a potência necessária.

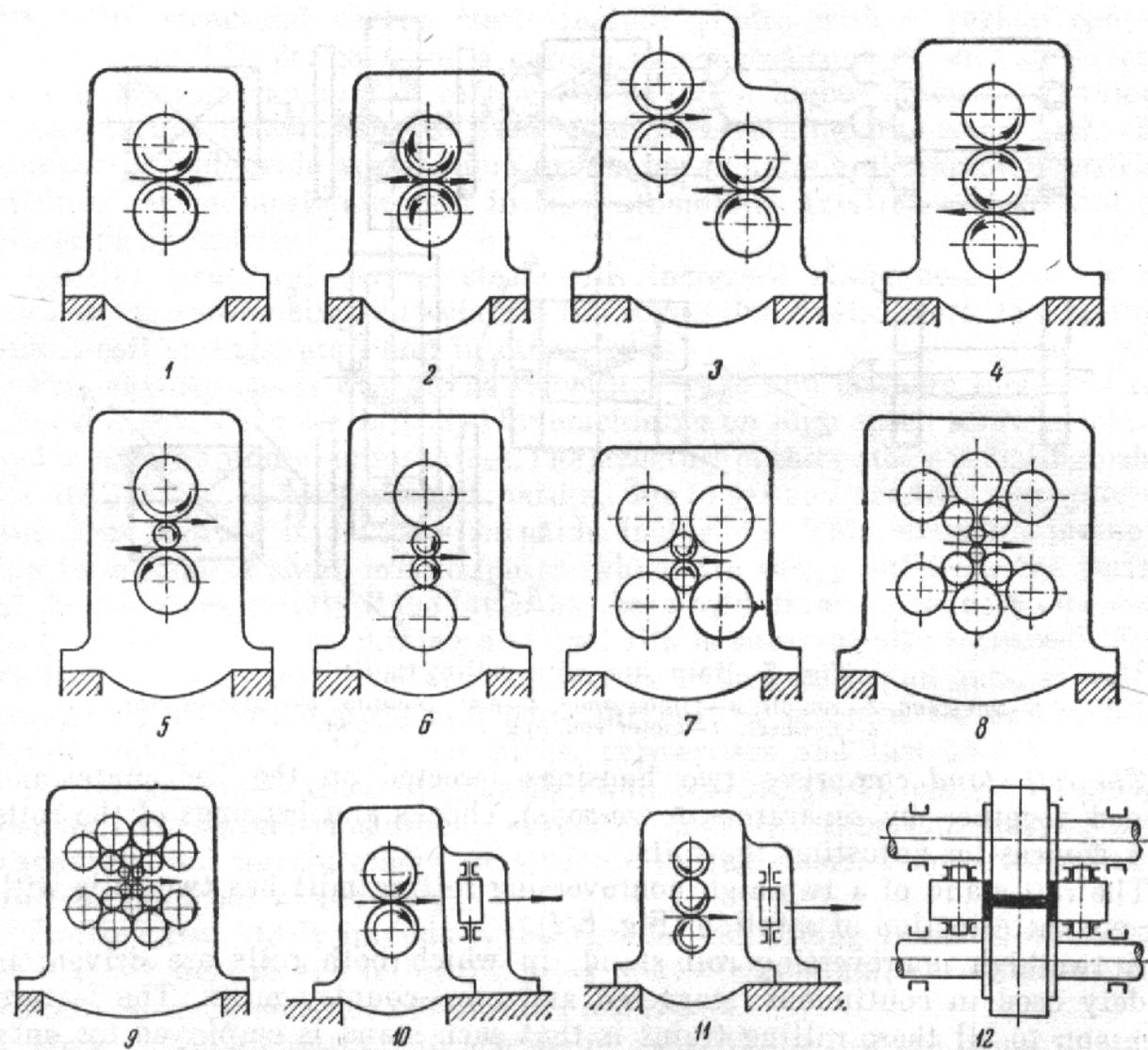
Laminadores

- Os laminadores podem ser montados isoladamente ou em grupos, formando uma seqüência de vários laminadores em série.
- Esse conjunto recebe o nome de trem de laminação.
- Junto a esse conjunto, trabalham os equipamentos auxiliares, ou seja, os empurradores, as mesas transportadoras, as tesouras, as mesas de elevação, etc.

Laminadores

- O custo, portanto de uma moderna instalação de laminação é da ordem de **milhões de dólares** e consome-se muitas horas de projetos uma vez que esses requisitos são multiplicados para as sucessivas cadeiras de laminação contínua (“tandem mill”).

Tipos de laminadores

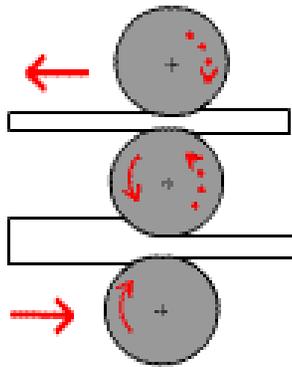


Tipos de Laminadores

- A máquina que executa a laminação, ou seja, o **laminador** abrange inúmeros tipos, dependendo cada um deles do serviço que executa, do número de cilindros existentes, etc.
- Os três principais tipos são os laminadores duo, trio e quádruo.

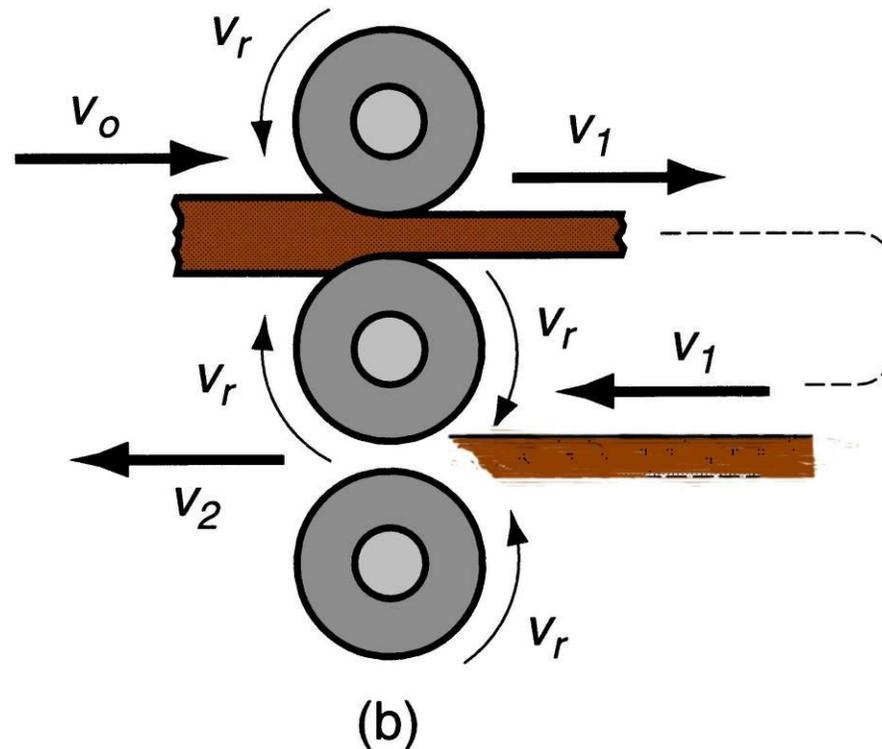
Tipos de Laminadores - *Trio*

- No laminador trio, os cilindros sempre giram no mesmo sentido.
- Porém, o material pode ser laminado nos dois sentidos, passando-o alternadamente entre o cilindro superior e o intermediário e entre o intermediário e o inferior.



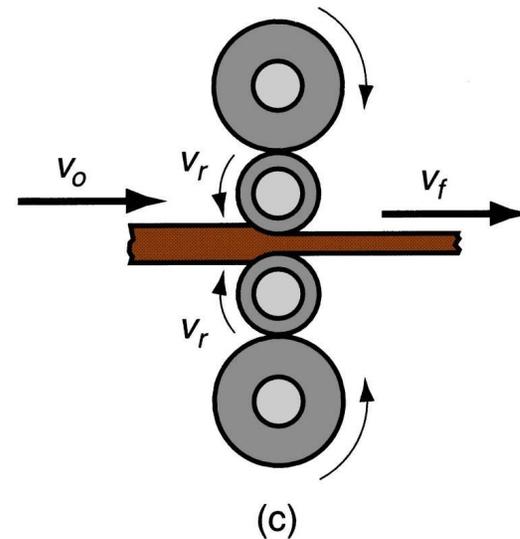
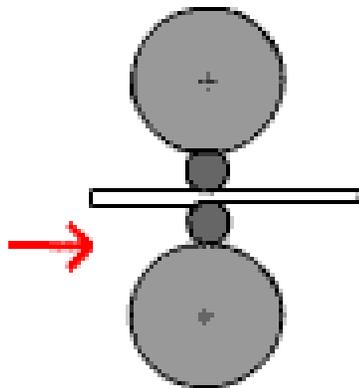
Tipos de Laminadores - *Trio*

- Os modernos laminadores trio são dotados de mesas elevatórias para passar as peças de um conjunto de cilindros a outro.

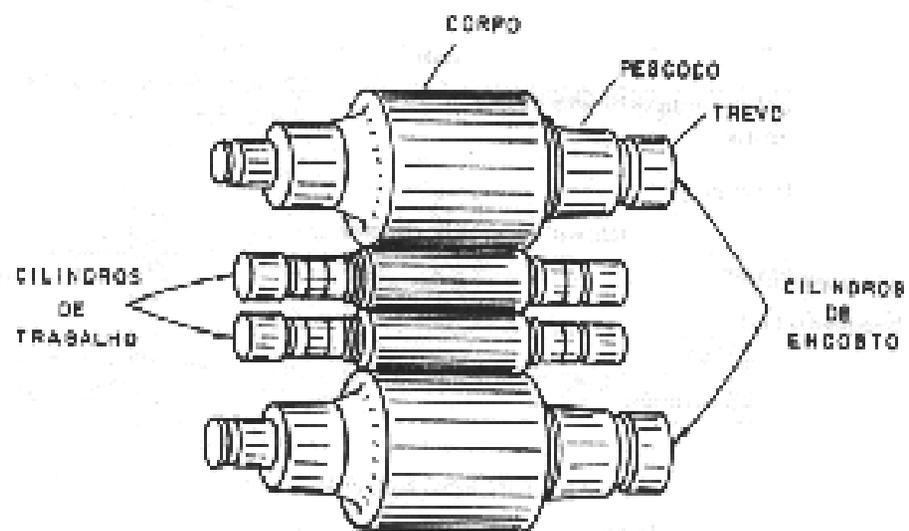
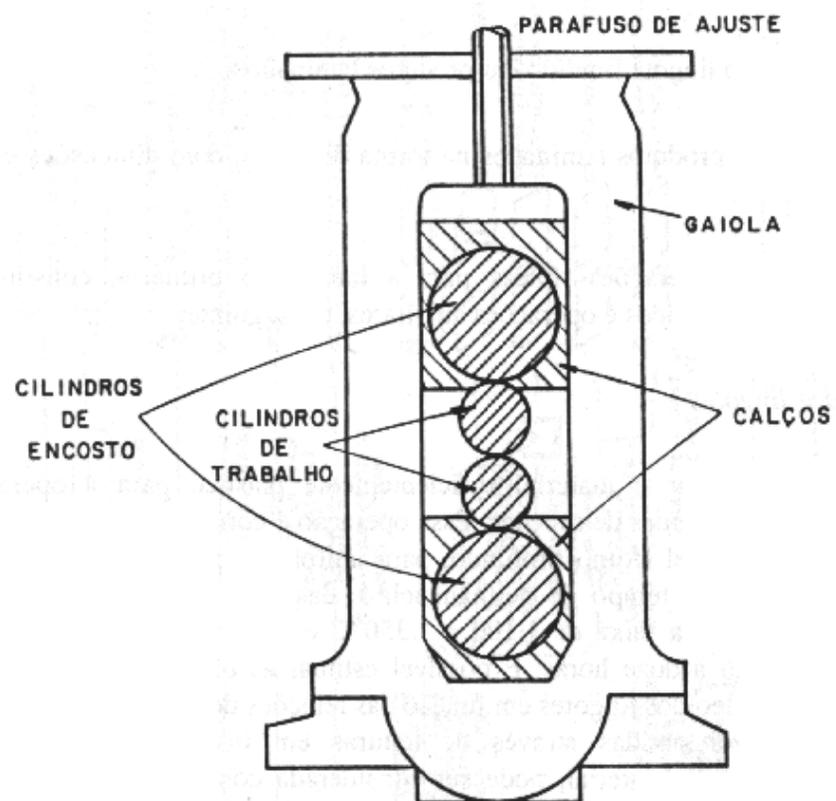


Tipos de Laminadores - *Quádruplo*

- A medida que se laminam materiais cada vez mais finos, há interesse em utilizar cilindros de trabalho de pequeno diâmetro.
- Estes cilindros podem fletir, e devem ser apoiados por cilindros de encosto.
- Este tipo de laminador denomina-se quádruplo, podendo ser reversível ou não.

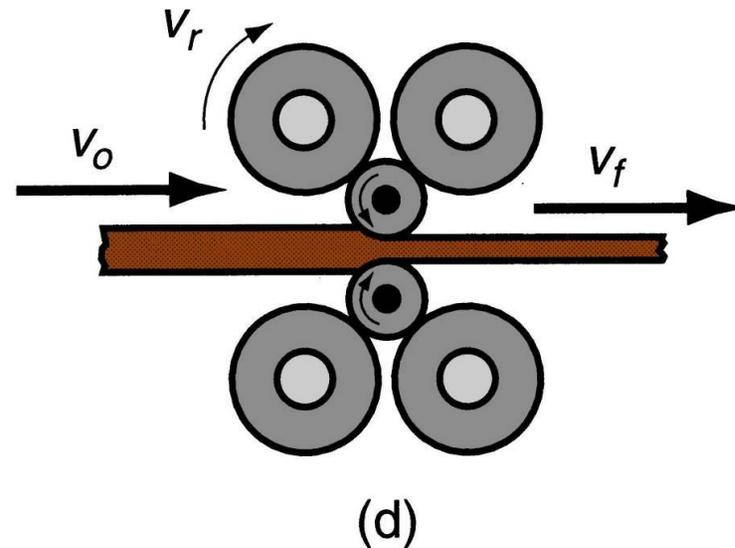
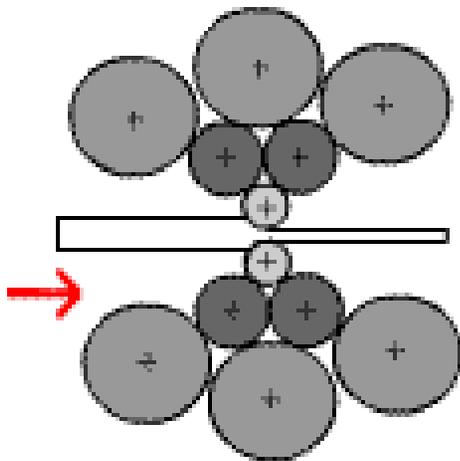


Componentes de um laminador quadro

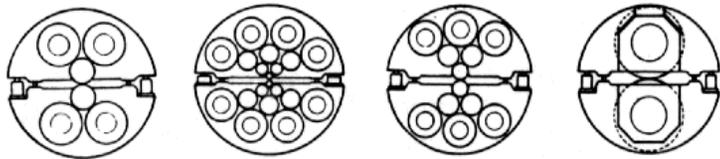
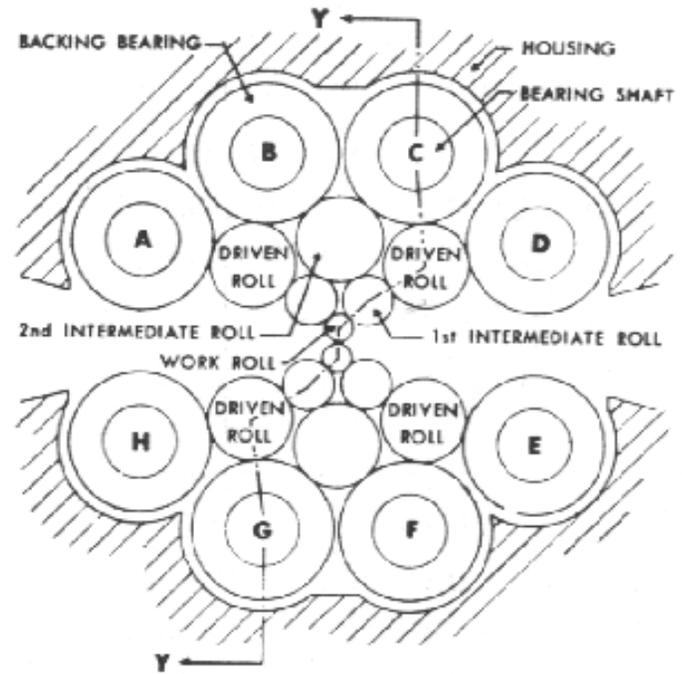
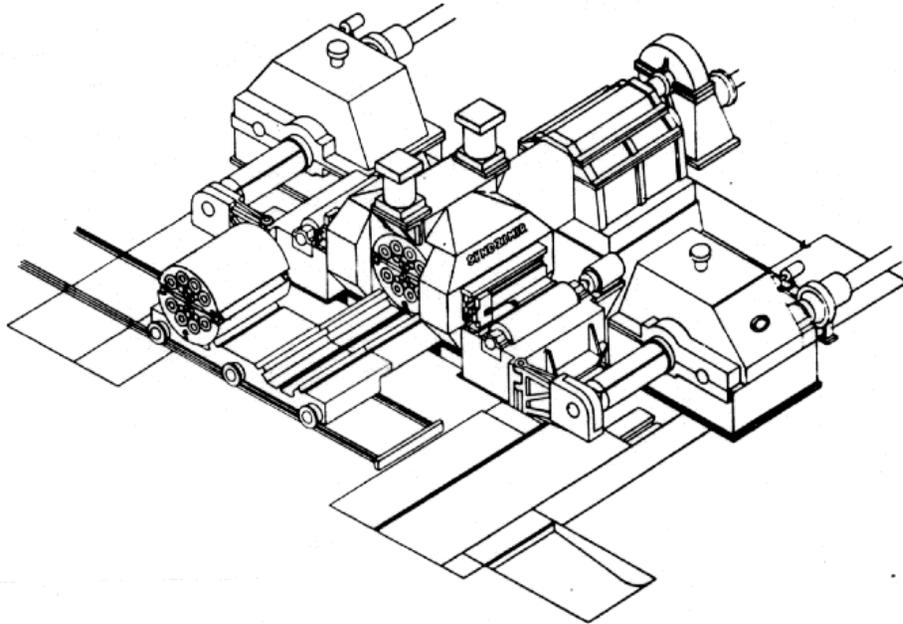


Tipos de Laminadores - Sendzimir

- Quando os cilindros de trabalho são muito finos, podem fletir tanto na direção vertical quanto na horizontal e devem ser apoiados em ambas as direções; um laminador que permite estes apoios é o Sendzimir.

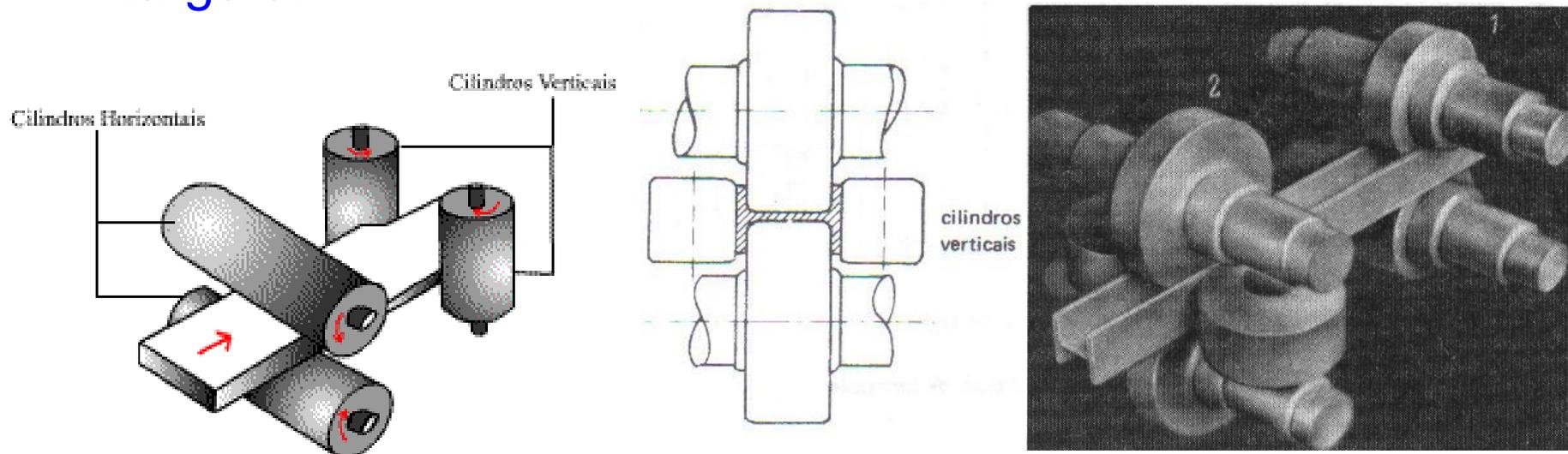


Laminador sendzimir



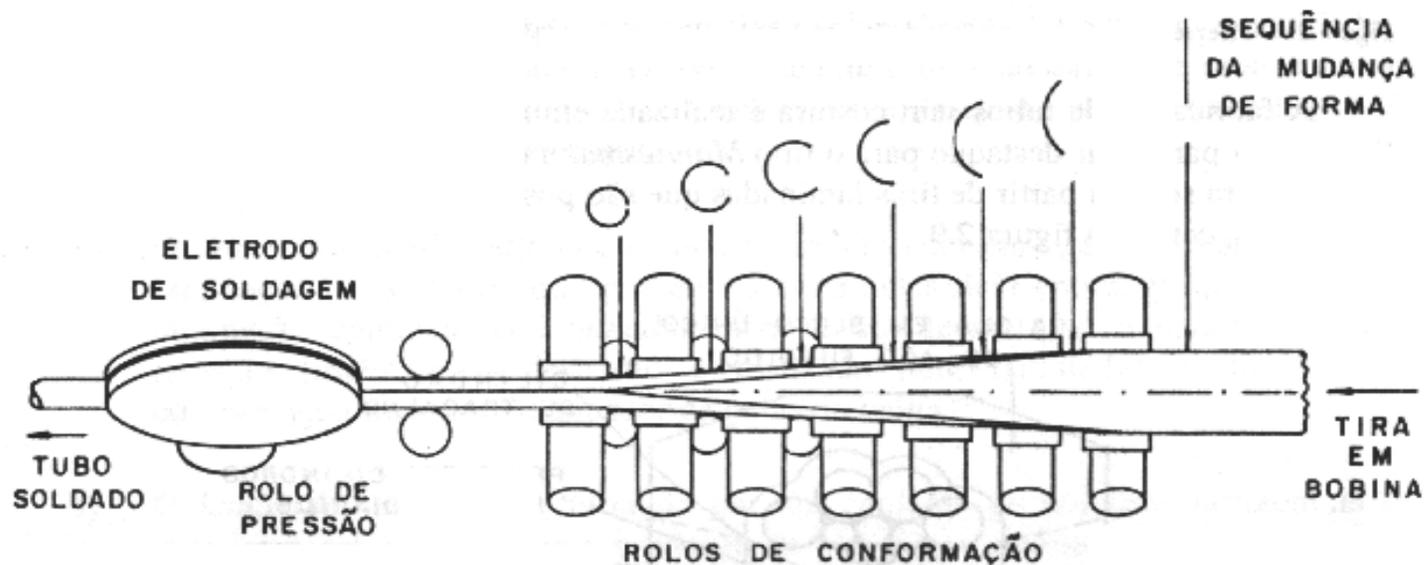
Tipos de Laminadores - *Universal*

- Dispõe de dois pares de cilindros de trabalho, com eixos verticais e horizontais.
- Se destina a produção de placas que necessitam ter também as bordas laminadas. Um tipo particular é o laminador Gray para vigas com perfil H de grande largura.



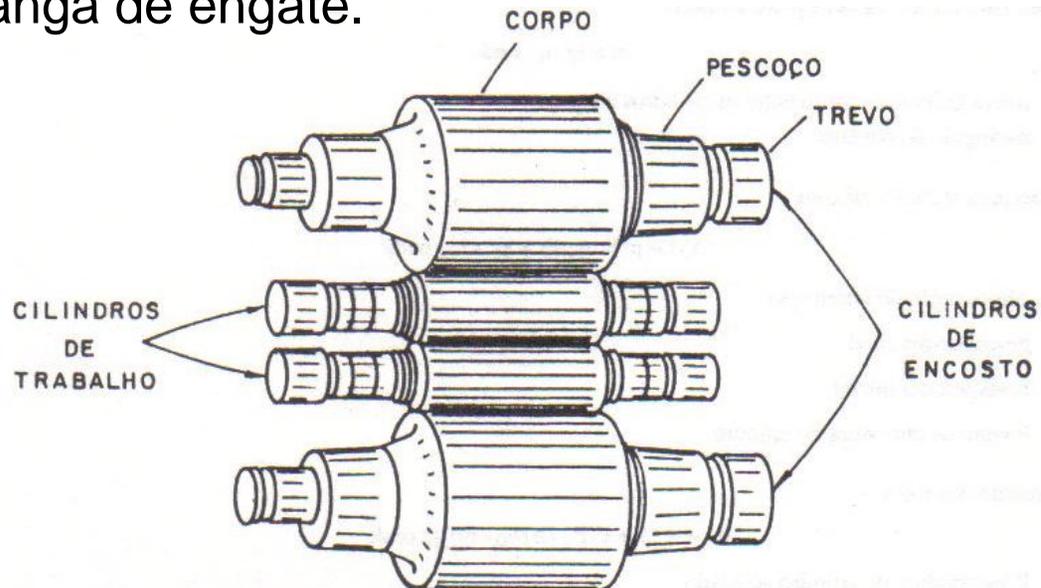
Tipos de Laminadores – ***Madrilador - Mannesmann***

- A fabricação de tubos com costura se dá a partir de tiras laminadas que são posteriormente conformadas em rolos e soldadas.



Cilindros de Laminação

- São a parte principal de um laminador, pois promovem diretamente a conformação da peça atuando como ferramentas de fabricação.
- Pode-se distinguir nele três partes básicas:
 - Corpo: onde ocorre o processo de laminação da peça;
 - Pescoço: onde o peso do cilindro e a carga de laminação devem ser suportados;
 - Trevo: onde ocorre o acoplamento com o eixo motor através de uma manga de engate.



Processo de Laminação

- O processo de laminação pode ser conduzido a:

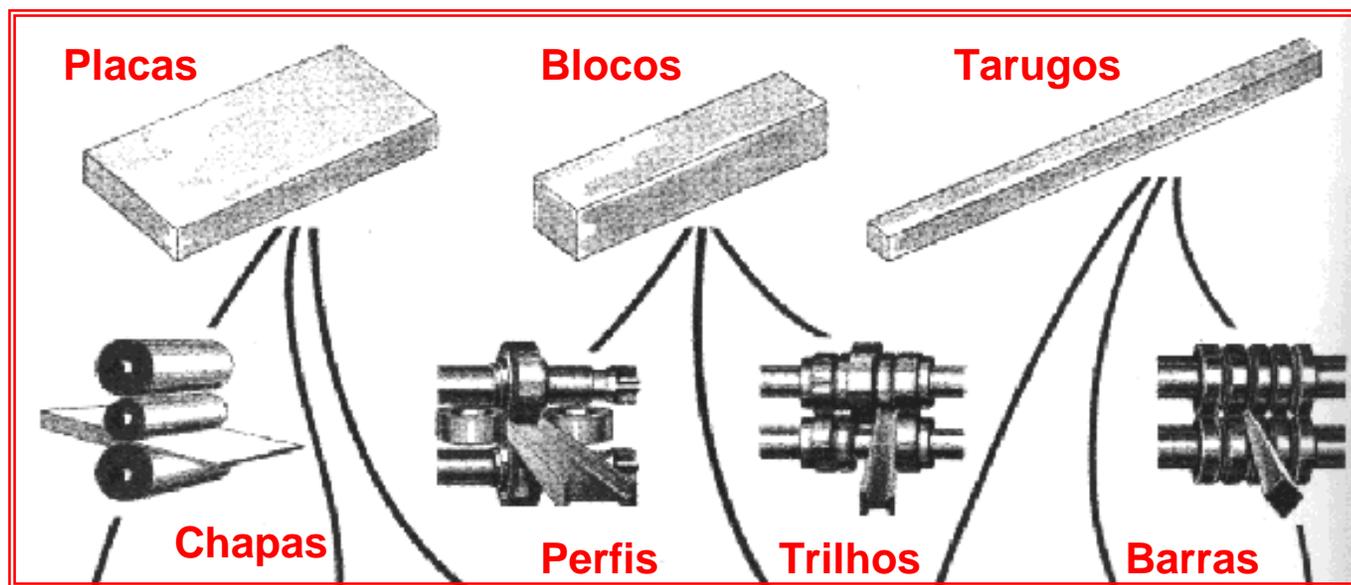
Quente



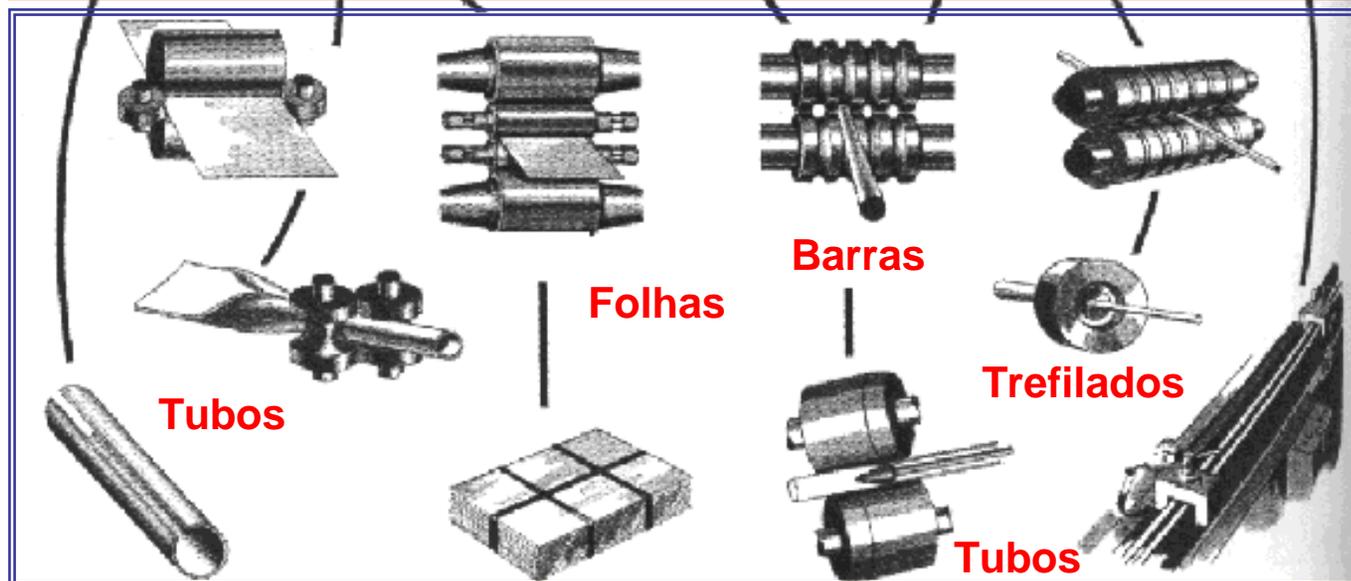
Frio



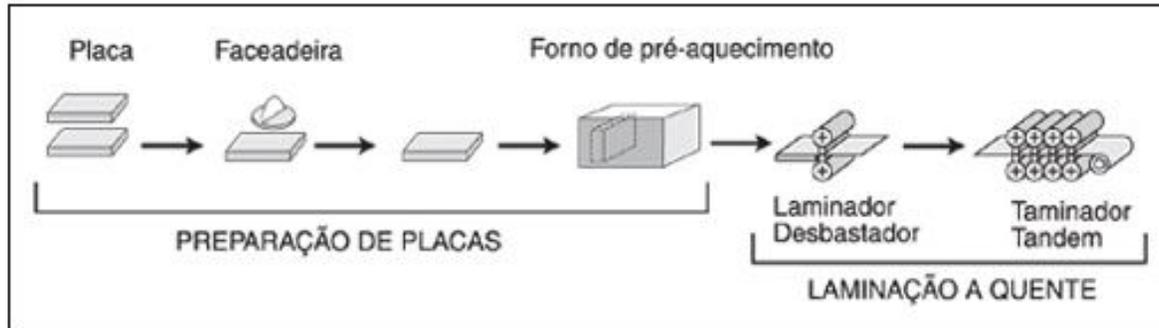
Laminação
a quente



Laminação
a frio



Laminação a Quente



Laminação a quente

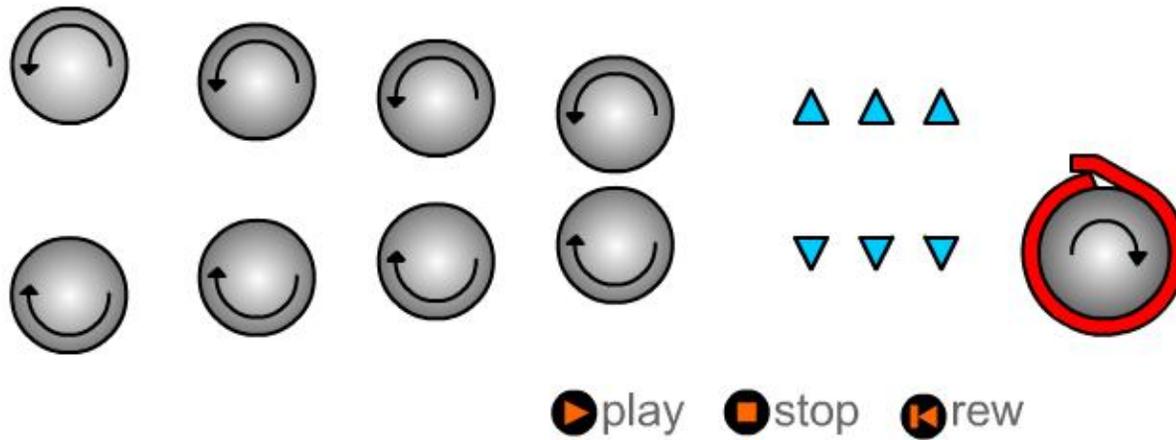
- A peça inicial é comumente um lingote fundido obtido de lingotamento convencional, ou uma placa de tarugo processado previamente em lingotamento contínuo;
- A peça intermediária e final assume, após diversos passes pelos cilindros laminadores, as formas de perfis diversos (produtos não planos) ou de placas e chapas (produtos planos);

Laminação a quente

- A temperatura de trabalho se situa acima da temperatura de recristalização do metal da peça, a fim de reduzir a resistência à deformação plástica em cada passagem e permitir a recuperação da estrutura do metal, evitando o encruamento para os passes subsequentes.
- A laminação a quente, portanto, comumente se aplica em operações iniciais (operações de desbaste), onde são necessárias grandes reduções de secções transversais.

A laminação a quente permite uma maior deformação.

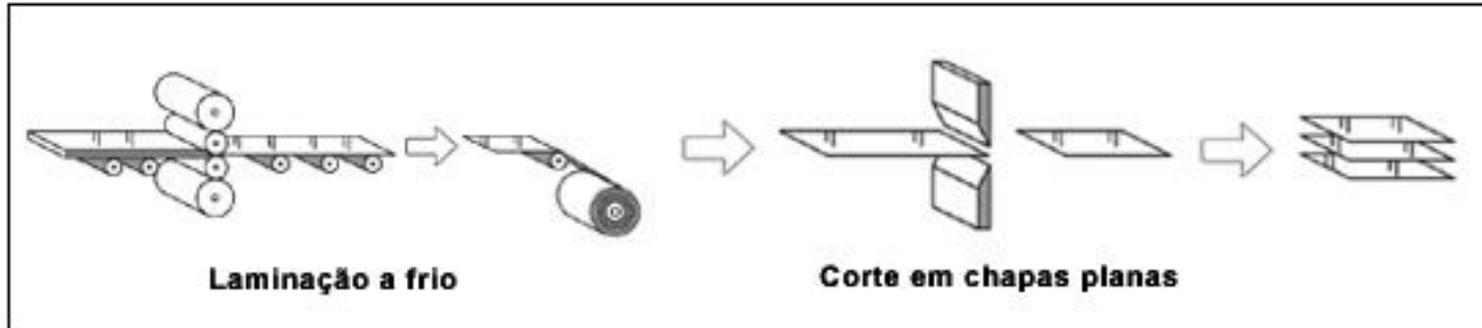
Laminação a quente



Trem Contínuo de Laminação a Quente

- http://www.cimm.com.br/cimm/geral/jsps/frame_univers.jsp?pagina=http://construtor.cimm.com.br/cgi-win/construt.cgi?configuradorresultado&id=818&construt=true

Laminação a Frio



Laminação a Frio

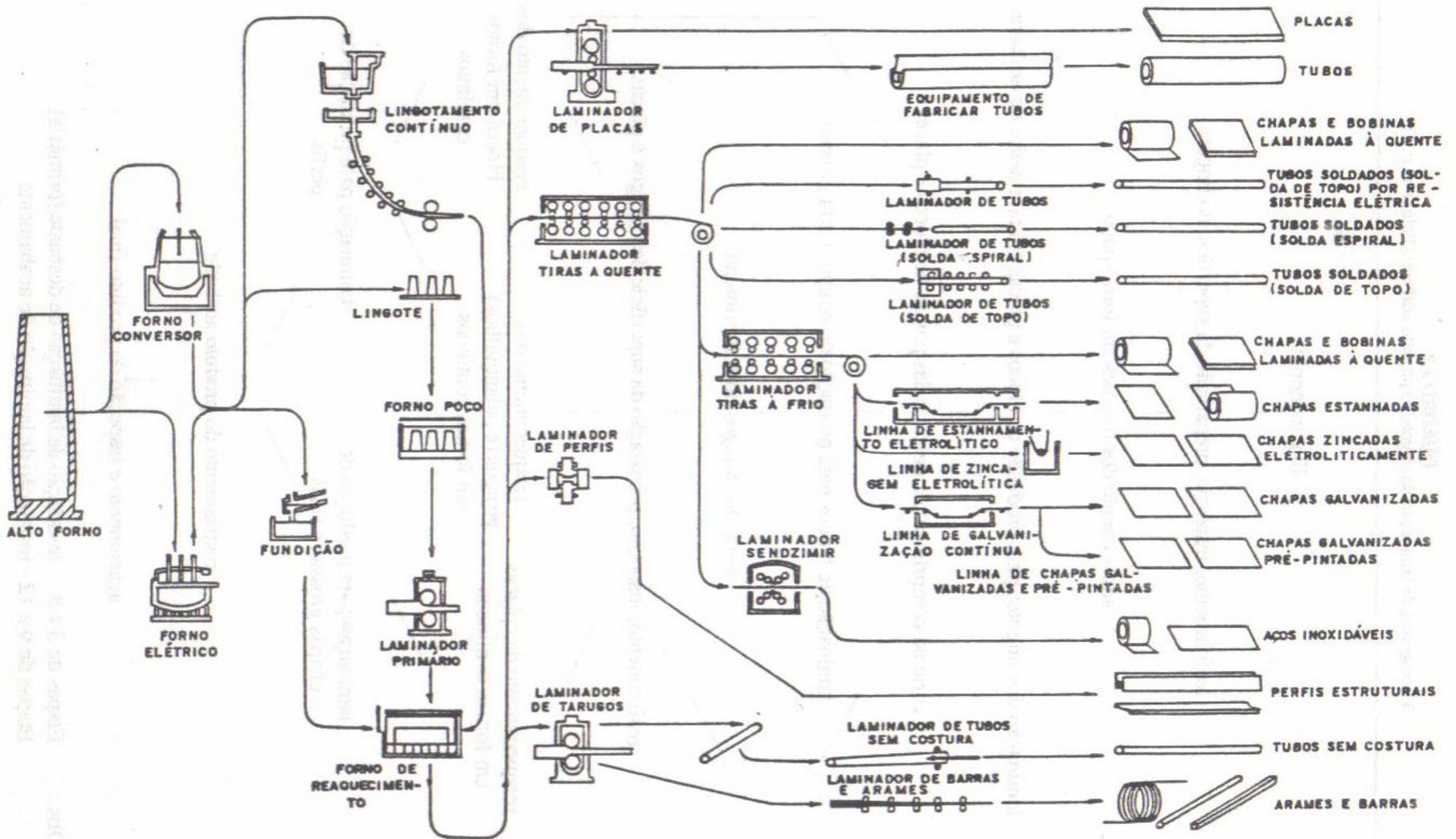
- A peça inicial para o processamento, nesse caso, é um produto semi-acabado (chapa), previamente laminado a quente.
- Como a temperatura de trabalho (temperatura ambiente) situa-se abaixo da temperatura de recristalização, o material da peça apresenta uma maior resistência à deformação e um aumento dessa resistência com a deformação (encruamento), não permitindo, dessa forma, intensidades elevadas de redução de secção transversal.

Laminação a Frio

- Um tratamento térmico de recozimento, entre uma sequencia de passes, pode tornar-se necessário em função do programa de redução estabelecido e das propriedades exigidas do produto final.

Laminação a Frio

- A laminação a frio é aplicada, portanto, para as operações finais (operações de acabamento), quando as especificações do produto indicam a necessidade de acabamento superficial superior (obtido com cilindros mais lisos e na ausência de aquecimento, o que evita a formação de cascas de óxidos) e de estrutura do metal encruada com ou sem recozimento final.



Laminando um produto plano

1. O lingote, pré-aquecido em fornos especiais, passa pelo laminador de desbaste e se transforma em placas.
2. A placa é reaquelada e passa então por um laminador que quebra a camada de óxido que se formou no aquecimento. Nessa operação usa-se também jato de água de alta pressão.

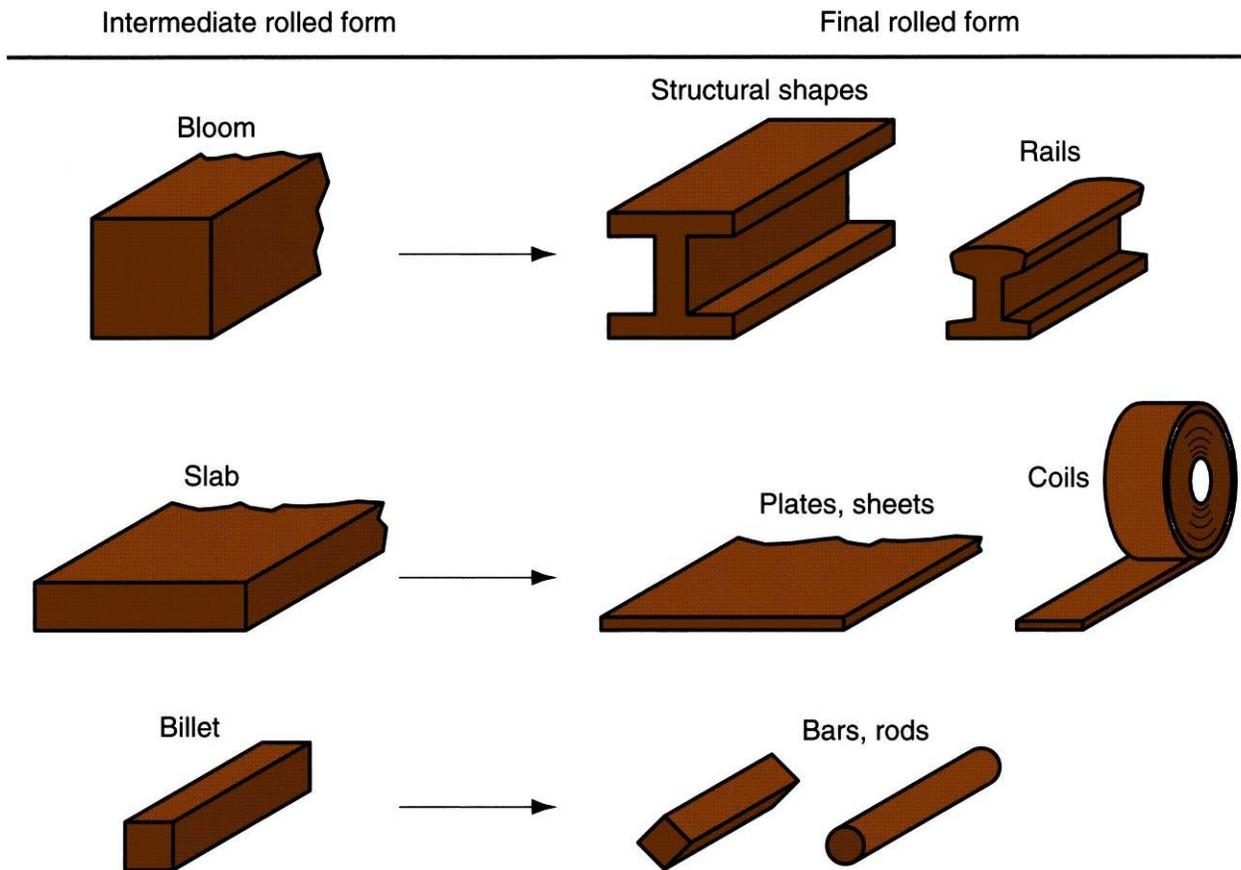
Laminando um produto plano

3. Por meio de transportadores de roletes, a placa é levada a um outro laminador que diminui a espessura e também aumenta a largura da placa original. Na saída dessa etapa, a chapa também passa por um dispositivo que achata suas bordas e por uma tesoura de corte a quente.
4. Finalmente, a placa é encaminhada para o conjunto de laminadores acabadores, que pode ser formado de seis laminadores quádruplos. Nessa etapa ela sofre reduções sucessivas, até atingir a espessura desejada e se transformar finalmente em uma chapa.

Laminando um produto plano

5. Quando sai da última cadeira acabadora, a chapa é enrolada em bobina por meio de bobinadeiras.

Produtos Laminados



Produtos Laminados

- A classificação dos produtos laminados é realizada em função das suas formas e dimensões de acordo com as normas técnicas tradicionalmente estabelecidas.
- Os produtos laminados podem ser inicialmente classificados em: *produtos semi-acabados* e *produtos acabados*.



Produtos Laminados

- **Produtos semi-acabados:** são os blocos, as placas e os tarugos.
- **Produtos acabados:** se subdividem em dois grupos – produtos não-planos e produtos planos.

Produtos Laminados

- **Produtos não-planos:** fabricados a partir de blocos, são os perfis estruturais (na forma de I, T, L, C, etc.) e os trilhos (trilhos convencionais, trilhos para pontes rolantes, etc.).
- **Produtos não-planos,** obtidos a partir de tarugos, são as barras (de secção redonda, quadrada, hexagonal, etc.), as barras para trefilação e os tubos sem costura.



Produtos Laminados

- Os **produtos planos**, provenientes do processamento de placas, são as chapas grossas, as chapas e tiras laminadas a quente, as chapas e tiras laminadas a frio, as fitas e tiras para a fabricação de tubos com costura e as folhas.

Defeitos dos Produtos Laminados

- **Vazios:** podem ter origem nos rechupes ou nos gases retidos durante a solidificação do lingote. Eles causam tanto defeitos de superfície quanto enfraquecimento da resistência mecânica do produto.
- **Gotas frias** - são respingos de metal que se solidificam nas paredes da lingoteira durante o vazamento. Posteriormente, eles se agregam ao lingote e permanecem no material até o produto acabado na forma de defeitos na superfície.

Defeitos dos Produtos Laminados

- **Trincas** - aparecem no próprio lingote ou durante as operações de redução que acontecem em temperaturas inadequadas.
- **Dobras** - são provenientes de reduções excessivas em que um excesso de massa metálica ultrapassa os limites do canal e sofre recalque no passe seguinte.

Defeitos dos Produtos Laminados

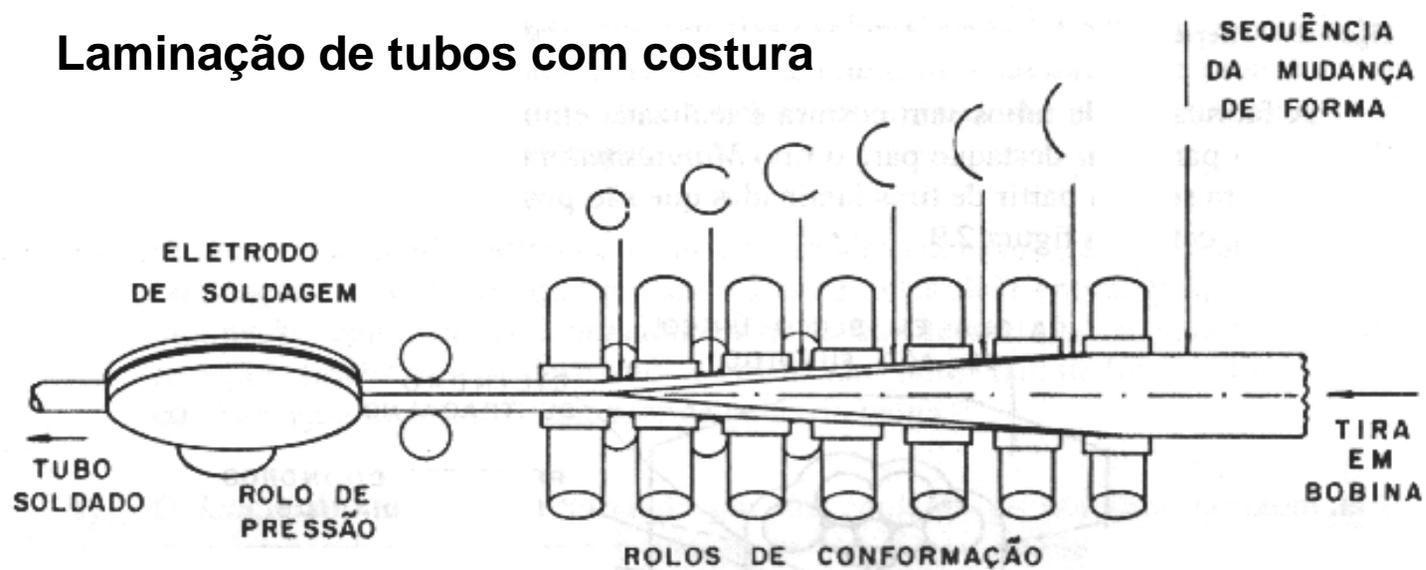
- **Inclusões** - são partículas resultantes da combinação de elementos presentes na composição química do lingote, ou do desgaste de refratários e cuja presença pode tanto fragilizar o material durante a laminação, quanto causar defeitos na superfície.
- **Segregações** - acontecem pela concentração de alguns elementos nas partes mais quentes do lingote, as últimas a se solidificarem. Elas podem acarretar heterogeneidades nas propriedades como também fragilização e enfraquecimento de seções dos produtos laminados.

Laminação - Revisão

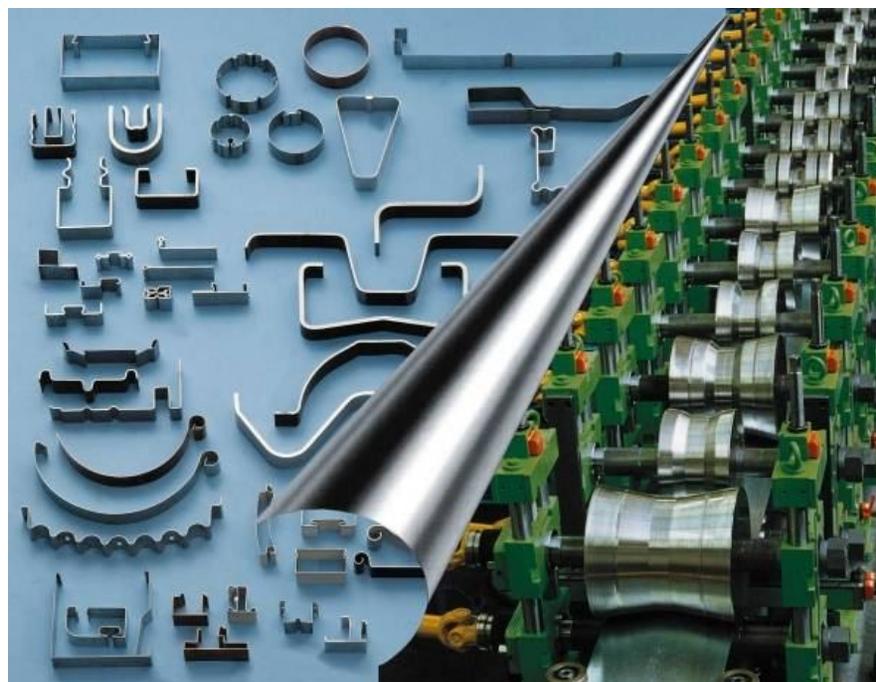
- http://br.youtube.com/watch?v=Dzb_nMeztQ4
- <http://br.youtube.com/watch?v=1giwfRQPuYg>



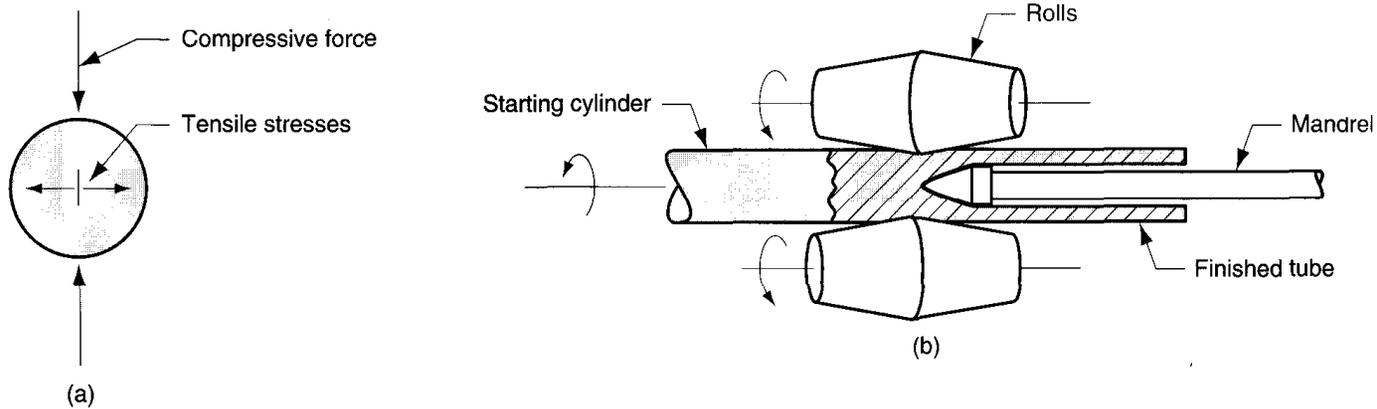
Laminação de tubos com costura



Laminação de perfis



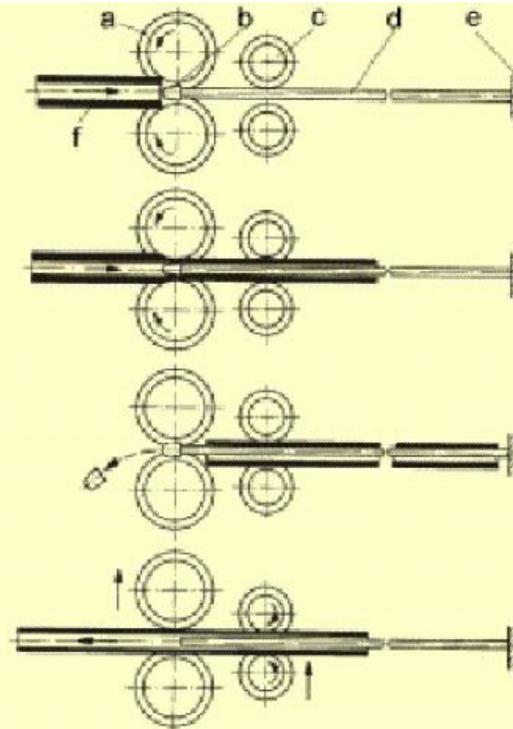
Laminação de tubos sem costura

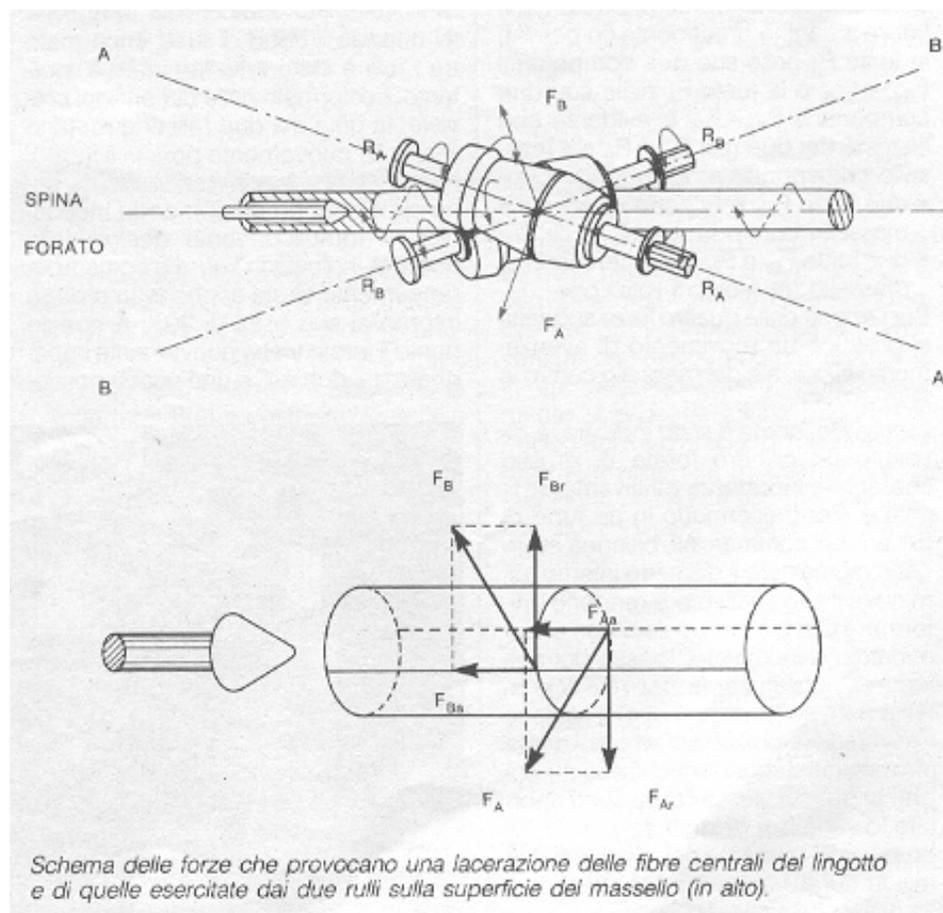
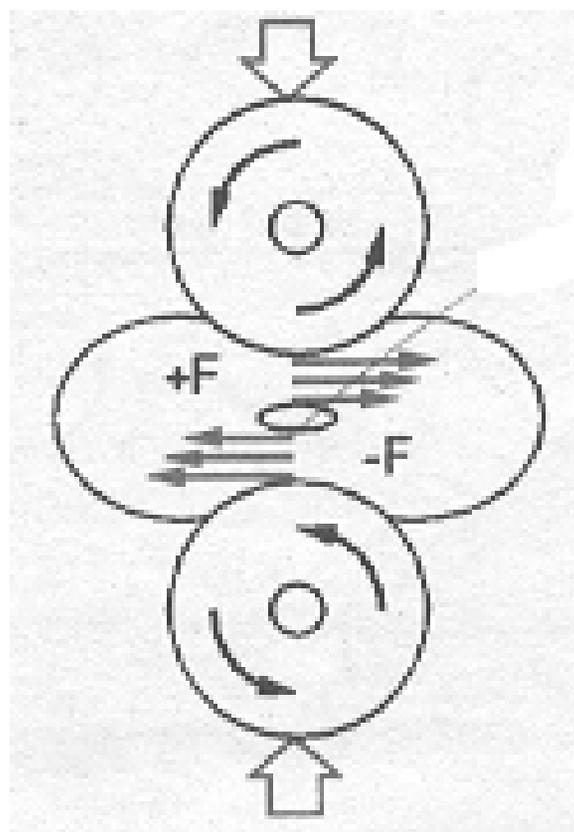
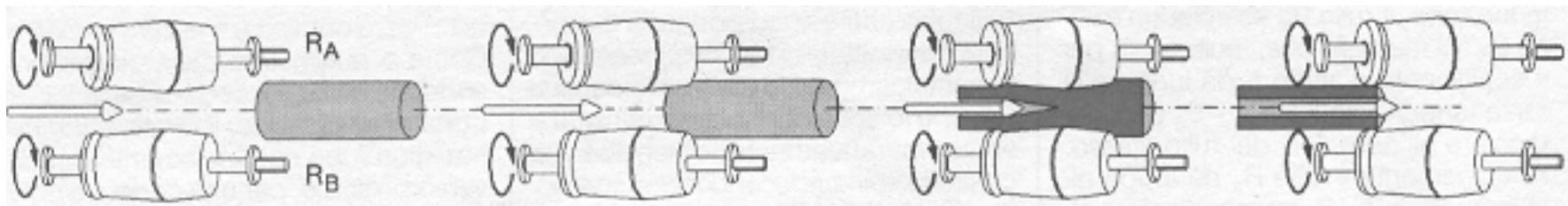


Etapas de conformação

1. produção de bloco oco
2. laminação longitudinal do bloco oco com mandril
3. laminação de redução

- a) cilindro motor
- b) mandril
- c) retorno
- d) haste do mandril
- e) mancal de encosto
- f) bloco oco

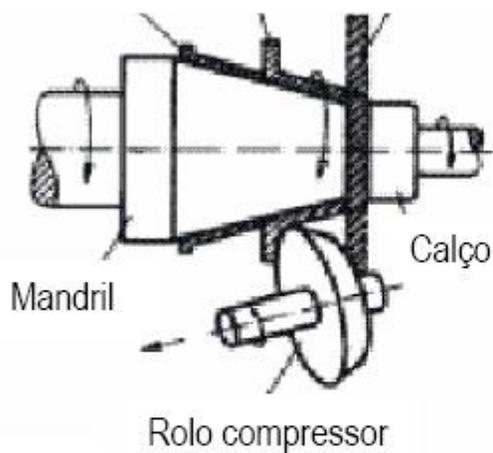




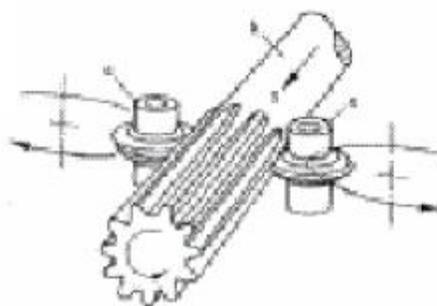
Rolagem

Rolagem

Forma final Forma intermediária Forma inicial



Laminação de engrenamentos

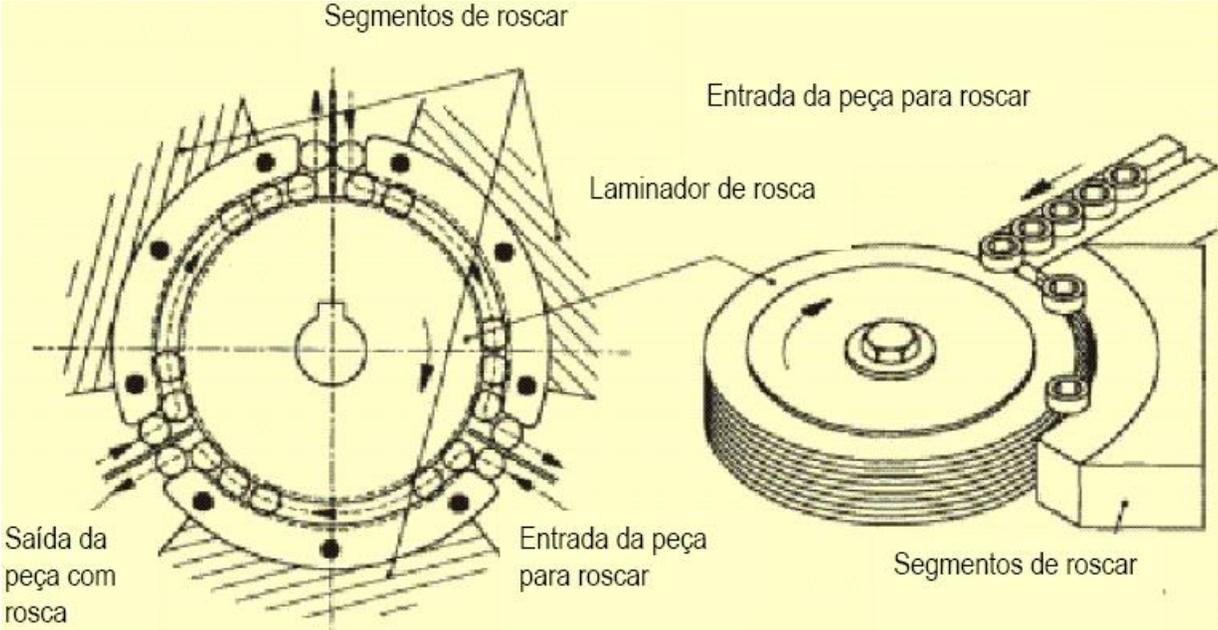
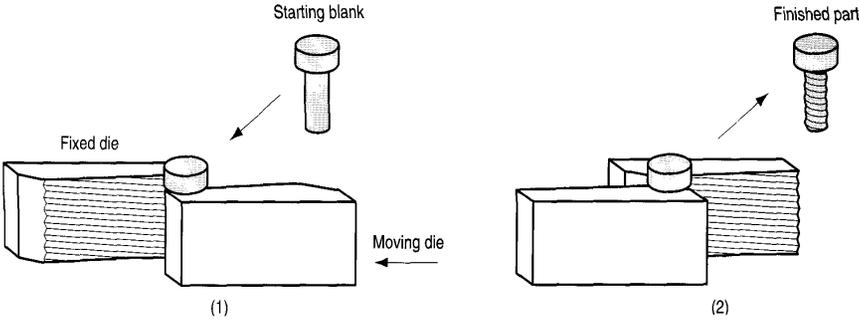


Eixo principal com endentamento produzido por laminação de um perfil



Hirschvogel

Laminação de roscas



Thread Rolling

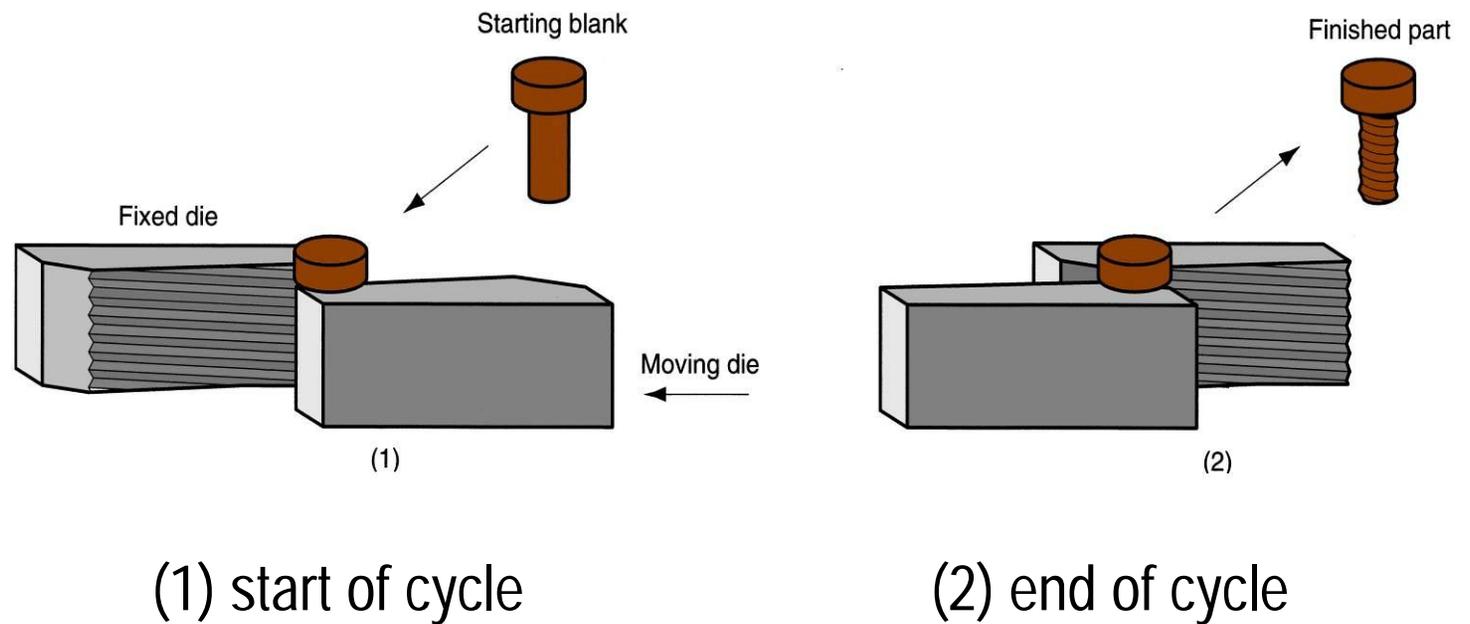
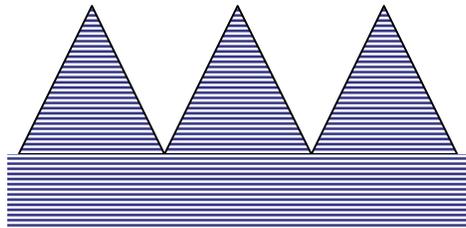
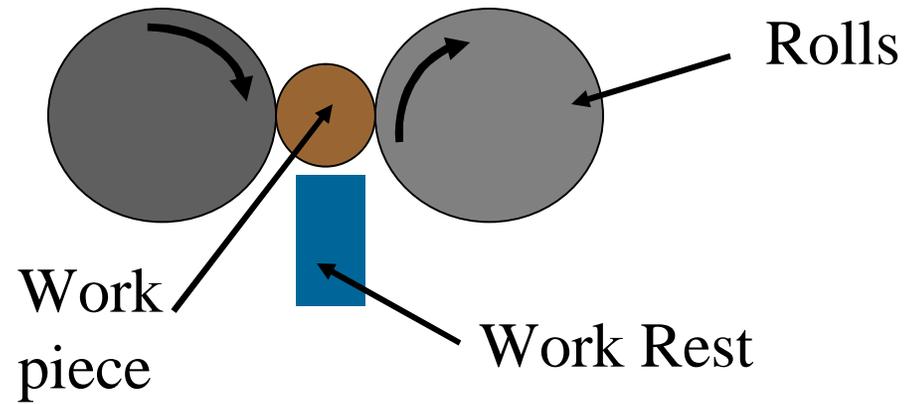
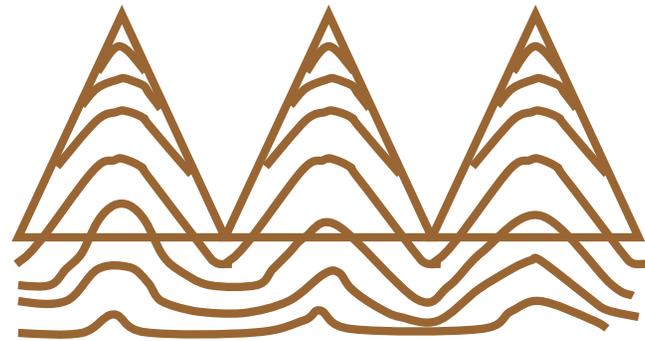


Figure 19.6 Thread rolling with flat dies:

Thread Rolling

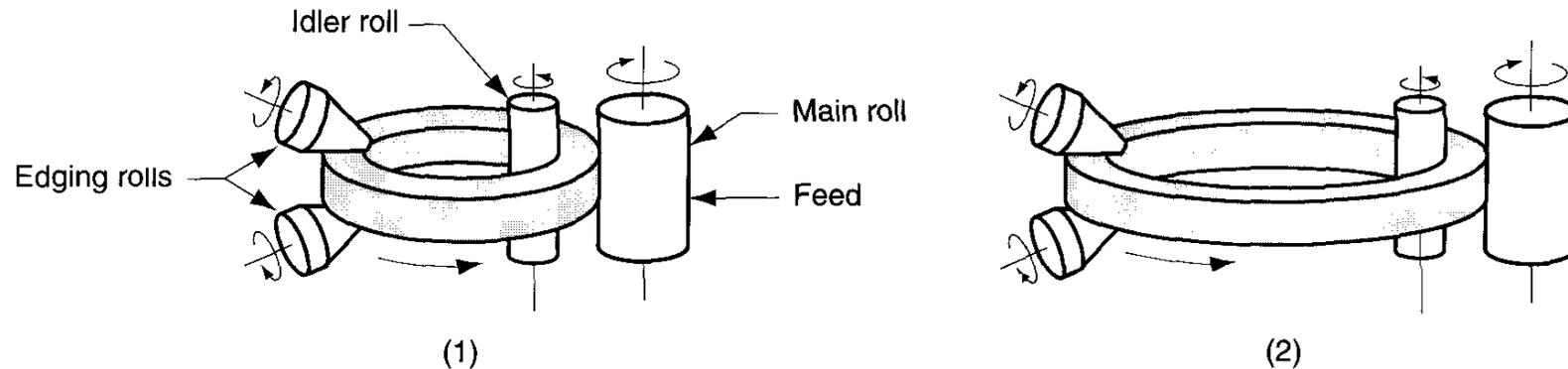


Machined thread



Rolled thread

Ring Rolling



- To make a larger and thinner ring from the original ring
- Usually a hot rolling process for large rings and cold rolling for small rings
- Typical applications: bearing races, steel tires, rings for pressure vessel.



Referências

- BRESCIANI FILHO, Ettore (Coord.) **Conformação plástica dos metais**. 4. ed. Campinas: Ed. UNICAMP, 1991.
- CHIAVERINI, Vicente,. **Tecnologia mecânica: processos de fabricação e tratamento**. 2. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1986. v. 2.
- Dieter, G. E. **Metalurgia Mecânica**. Ed. Guanabara Dois, 2ª ed., 1.981.
- GROOVER, Mikell P.. **Fundamentals of modern manufacturing**. HOBOKEN: John Wiley e Sons, 1999. 1061p.
- **PROCESSO de fabricação: (aulas 01 a 08)**. São Paulo: Globo, [199-?]. 1 fita de vídeoVHS/NTSC, son., color.: (Telecurso 2000. Profissionalizante)
- <http://www.engmec.fesurv.br/Lamina%E7%E3o.pdf>
- http://www.cimm.com.br/portal/noticia/index_geral/?src=/material/conformacao
- <http://www.metalmundi.com/si/site/1107?idioma=portugues>