LAMINAÇÃO DE PRODUTOS PLANOS E NÃO-PLANOS DE AÇO

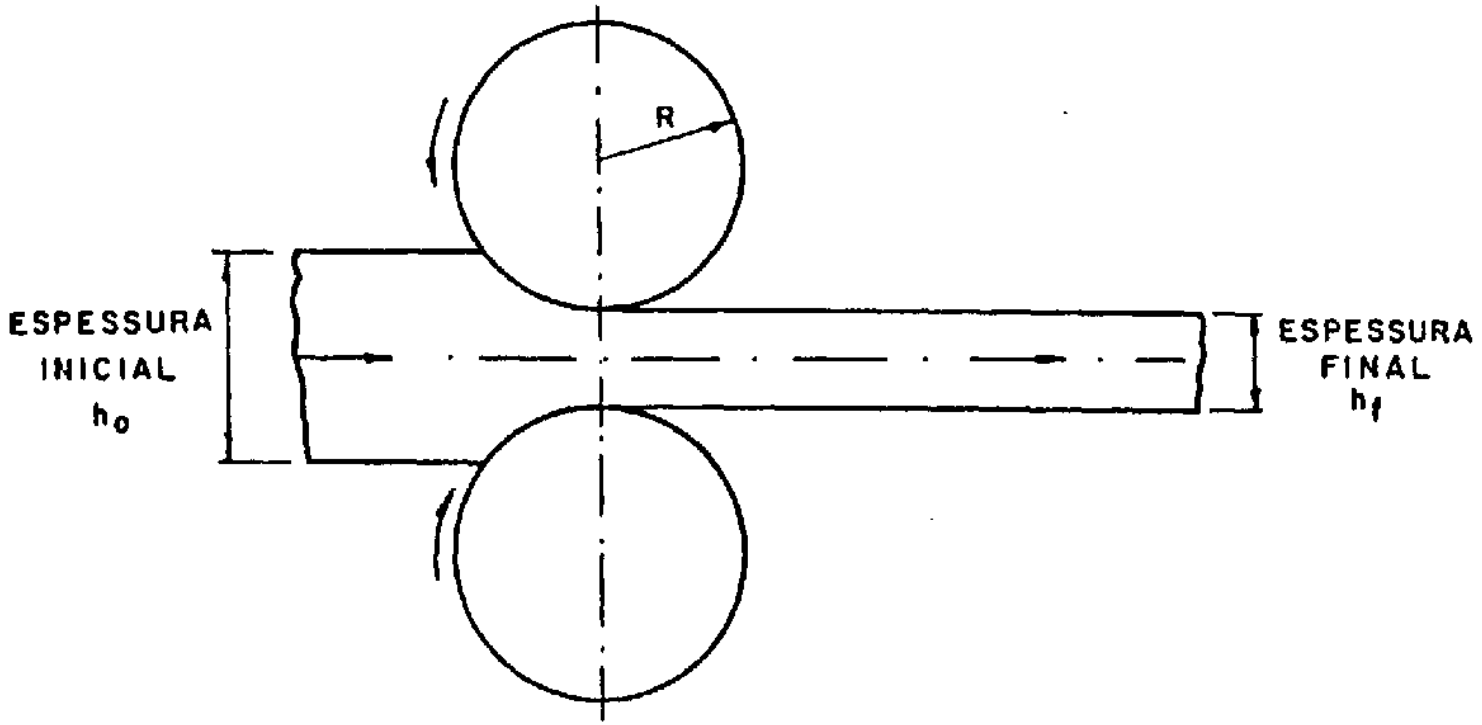
Antonio Augusto Gorni

Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais - ABM

© 2008 Antonio Augusto Gorni

www.gorni.eng.br

Laminação de Metais



Processo de conformação mecânica que consiste na **passagem de uma peça ou esboço entre dois cilindros que giram**, de forma a **reduzir a área de sua seção transversal**.

© 2008 Antonio Augusto Gorni

Tipos de Laminados

- **Laminados planos:** possuem seção transversal retangular, com largura pelo menos 4 vezes superior à espessura.

- **Laminados não-planos:** geralmente possuem seção transversal não- retangular: circular, quadrada, hexagonal, com formato de “U”, “I”, “T”, etc.

© 2008 Antonio Augusto Gorni

PRODUTOS PLANOS

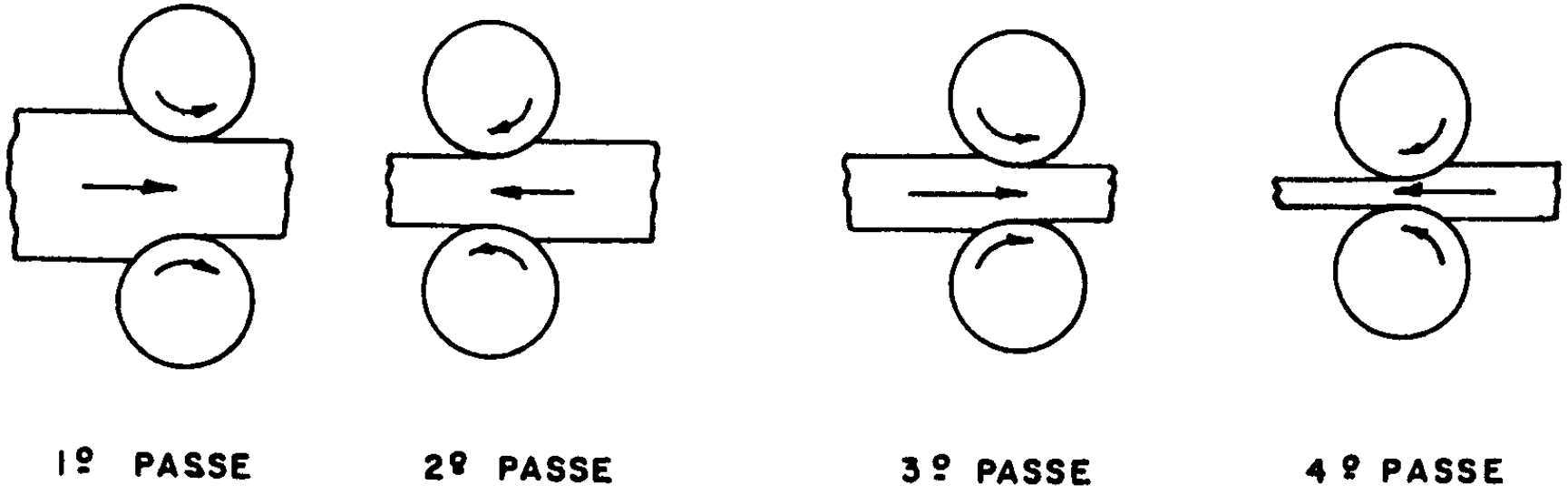
© 2008 Antonio Augusto Gorni

Produtos Planos

- **Chapa Grossa:** espessura superior a 5,0 mm e largura superior a 500 mm produzida por laminação a quente.
- **Chapa Fina a Quente:** espessura entre 1,2 mm e 5,0 mm, e largura superior a 500 mm, produzida por laminação a quente.
- **Chapa Fina a Frio:** espessura entre 0,38 mm e 5,0 mm, e largura superior a 500 mm, produzida por laminação a frio.
- **Folha:** espessura menor que 0,38 mm, e largura superior a 500 mm, produzida por laminação a frio.

© 2008 Antonio Augusto Gorni

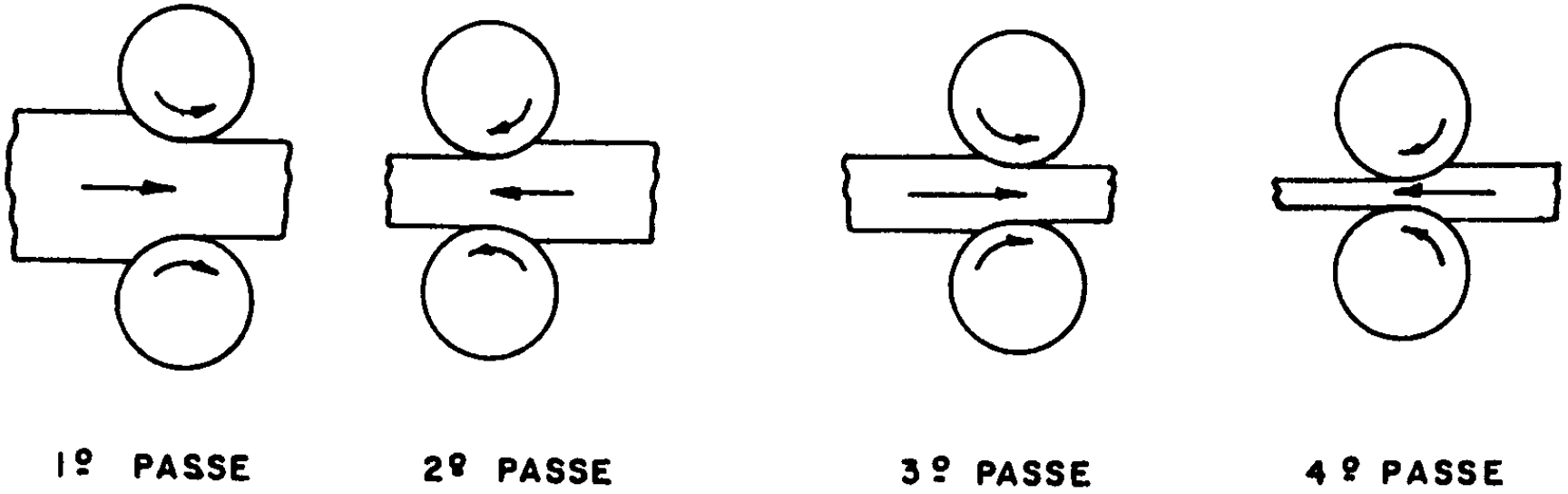
Laminação Reversível



Geralmente o processo de laminação consiste em **múltiplas passagens do material** entre os cilindros de laminação. Ou seja, o laminador aplica um **esquema de passes** ao esboço.

© 2008 Antonio Augusto Gorni

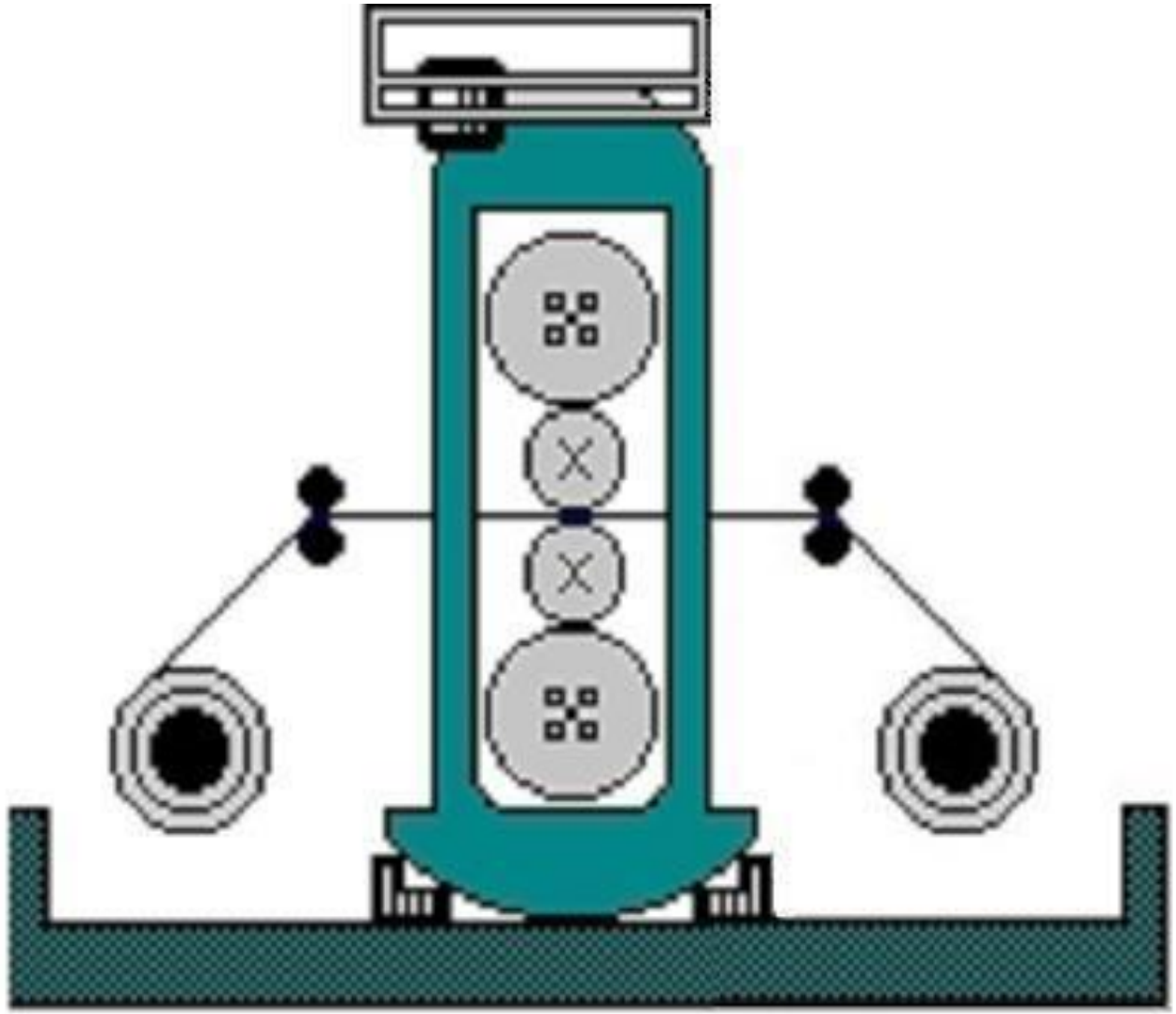
Laminação Reversível



Neste caso trata-se de um laminador reversível de chapas, o qual possui **distância variável entre os cilindros**, que diminui de um passe para outro.

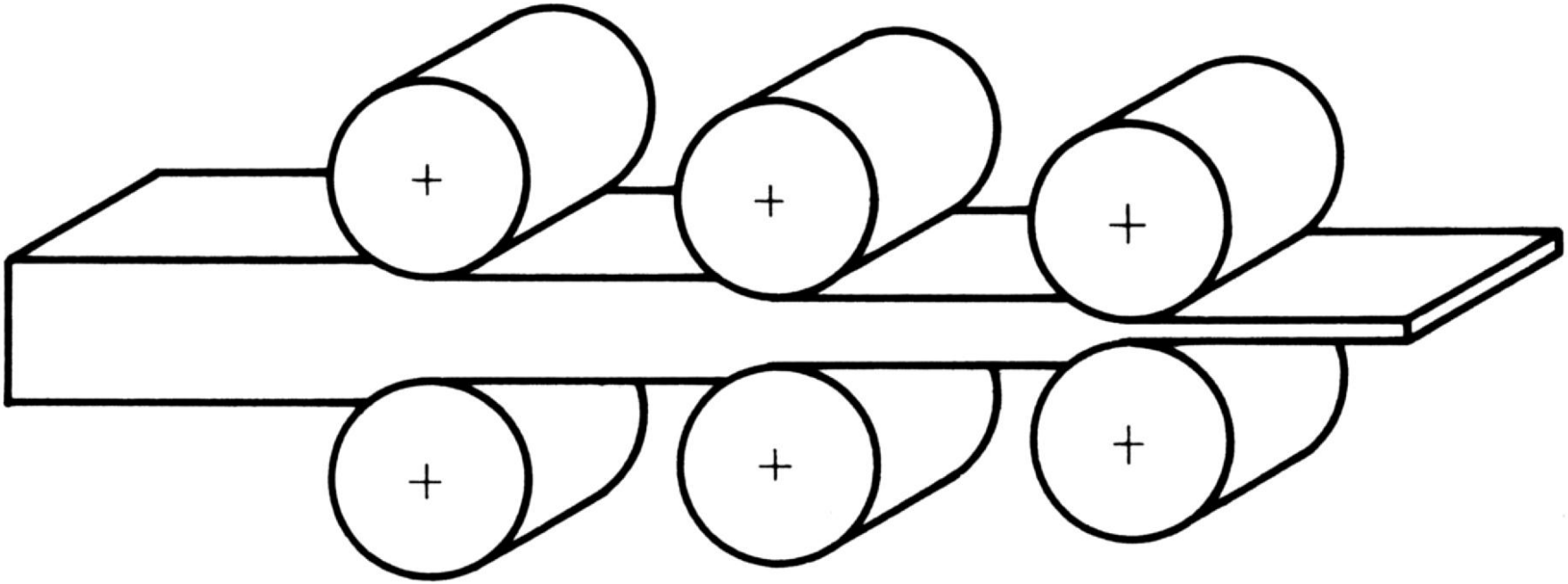
© 2008 Antonio Augusto Gorni

Laminação Reversível



© 2008 Antonio Augusto Gorni

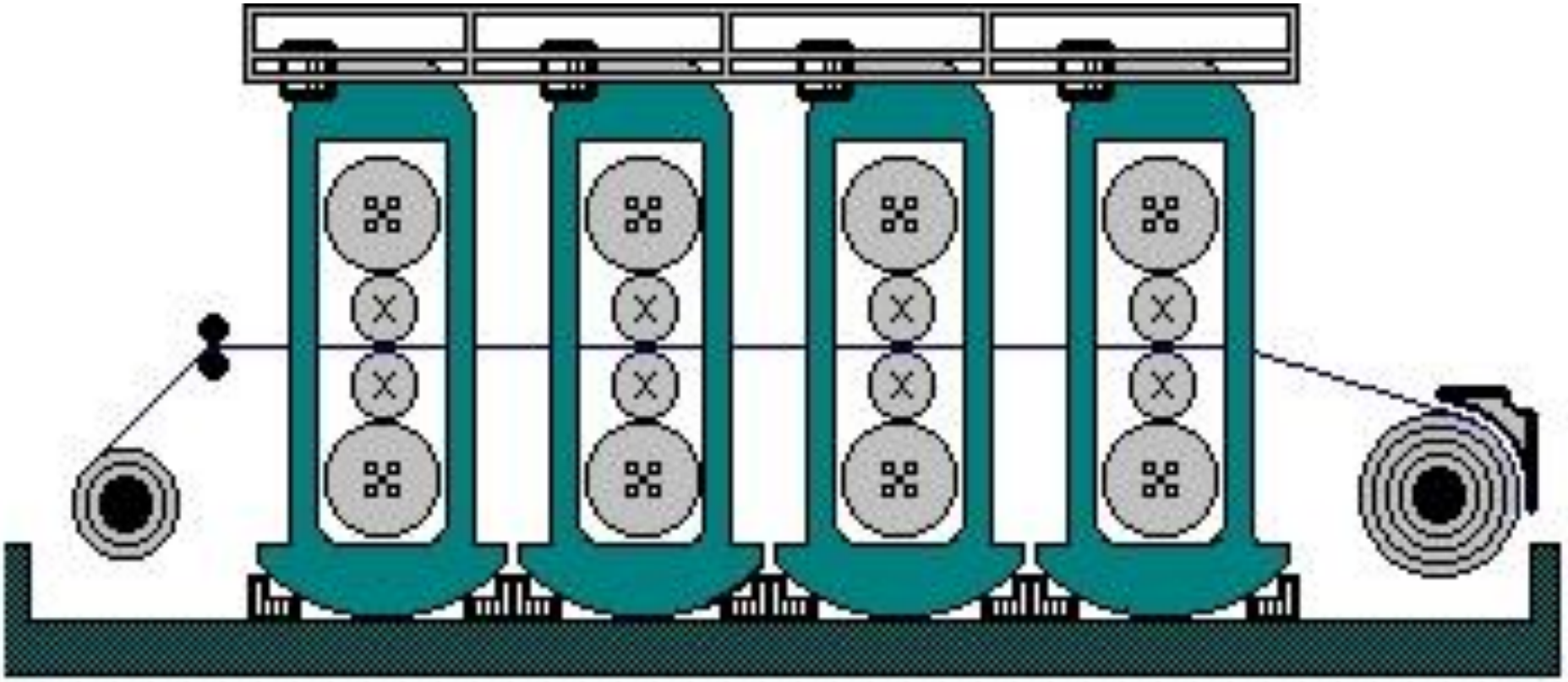
Laminação Contínua



Aqui os vários passes são aplicados por um **trem contínuo de laminação**, composto de três cadeiras de laminação não-reversíveis**.** Recomendado para alto volume de produção.

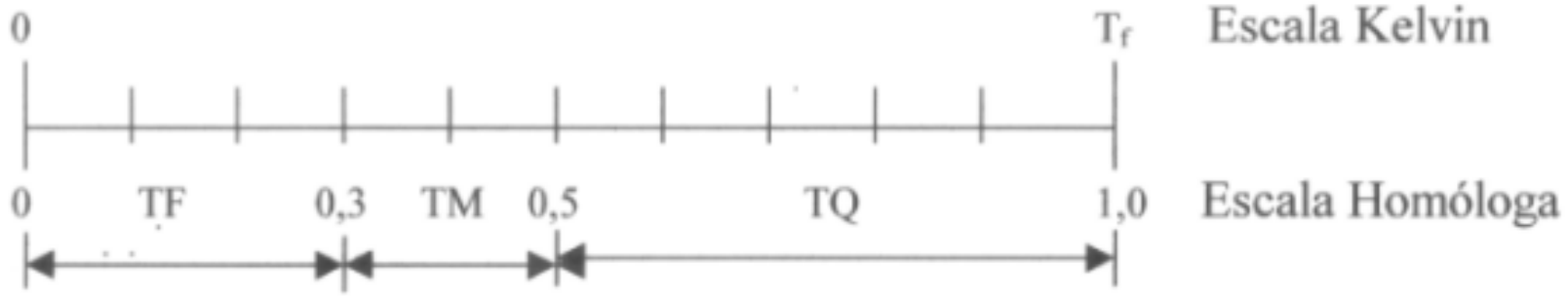
© 2008 Antonio Augusto Gorni

Laminação Contínua



© 2008 Antonio Augusto Gorni

Temperatura de Laminação



- Transformação a frio: **não** ocorrem processos de **restauração** entre os passes de laminação.
- Transformação a morno: ocorrem processos de **recuperação** entre os passes de laminação.
- Transformação a quente: ocorrem processos de **recristalização** entre os passes de laminação.

© 2008 Antonio Augusto Gorni

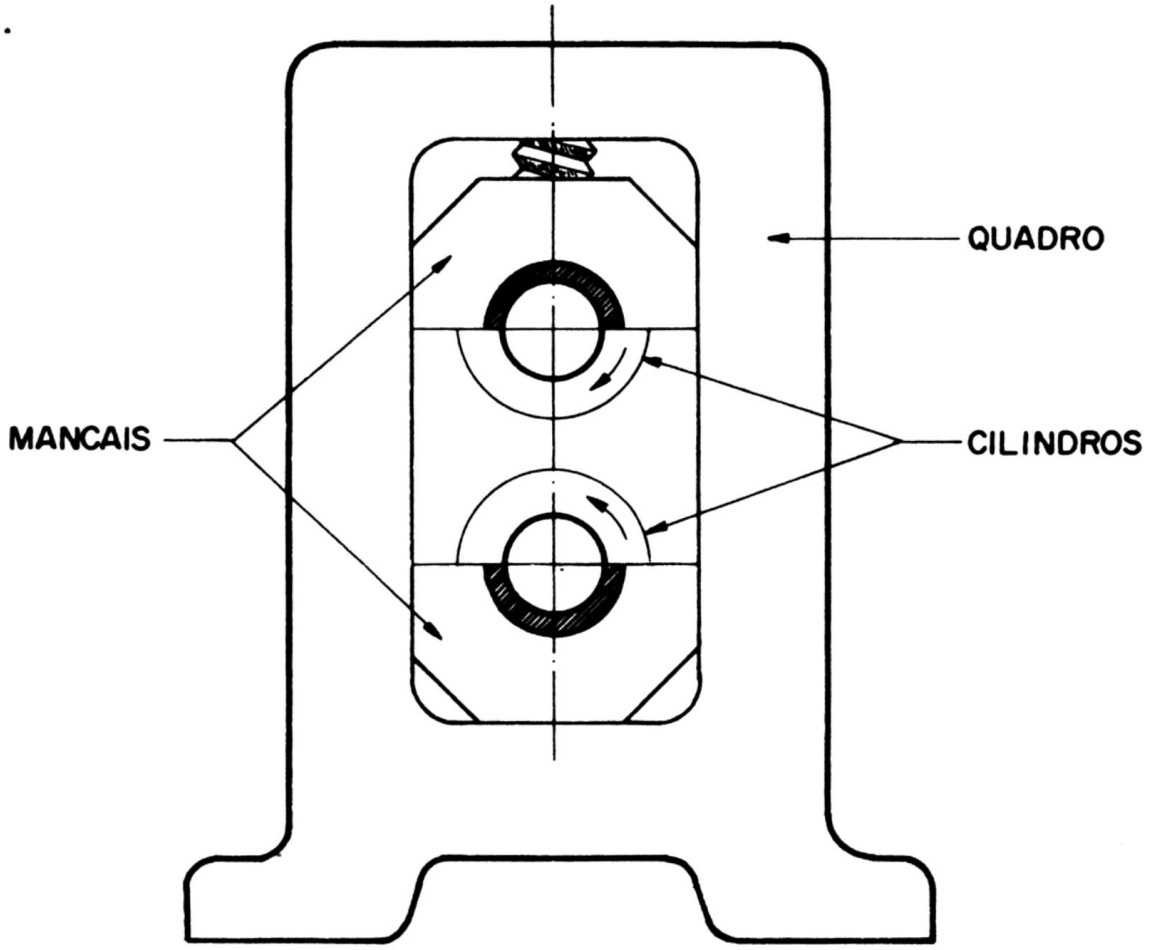
Laminação a Quente e a Frio

- **Laminação a quente:** a laminação se faz com o metal acima da **temperatura homóloga**. *Ideal para grandes deformações, pois o material encontra-se muito macio; qualidade superficial do laminado final é grosseira.*

- **Laminação a frio:** a laminação se faz com o metal sob temperatura ambiente. *Ideal para materiais que devam apresentar boa qualidade superficial e alta precisão de bitola; esforço de laminação é muito alto.*

© 2008 Antonio Augusto Gorni

Órgãos e Peças de Laminadores



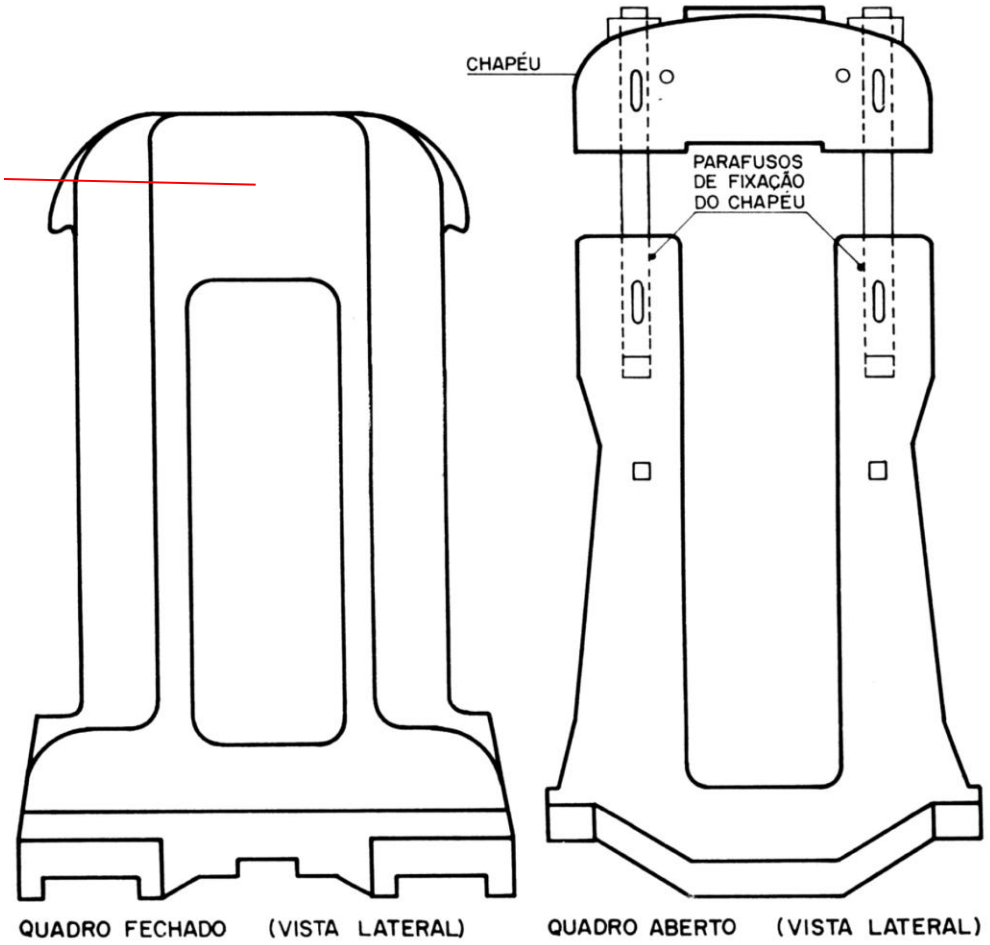
Laminador Duo

© 2008 Antonio Augusto Gorni

www.gorni.eng.br

Órgãos e Peças de Laminadores

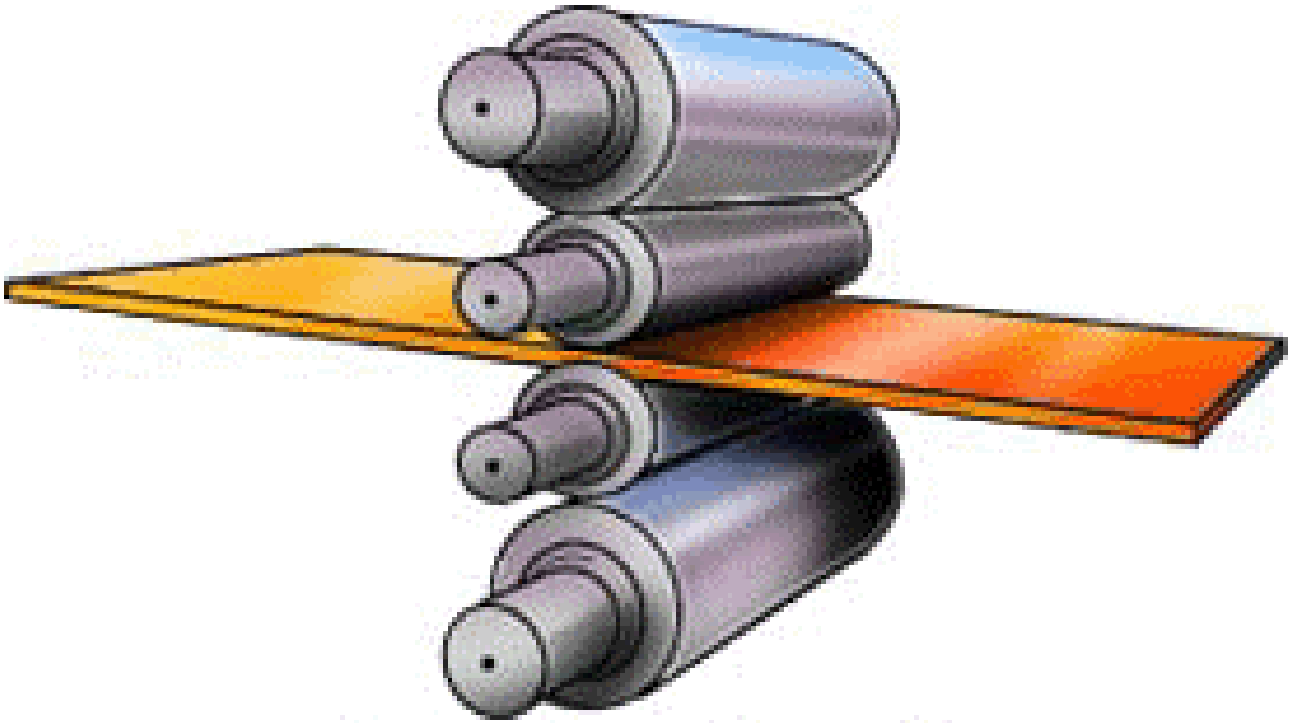
Mais rígida, mas troca de cilindros é mais complicada



Cadeiras Fechada e Aberta, feitas de aço ou FoFo.

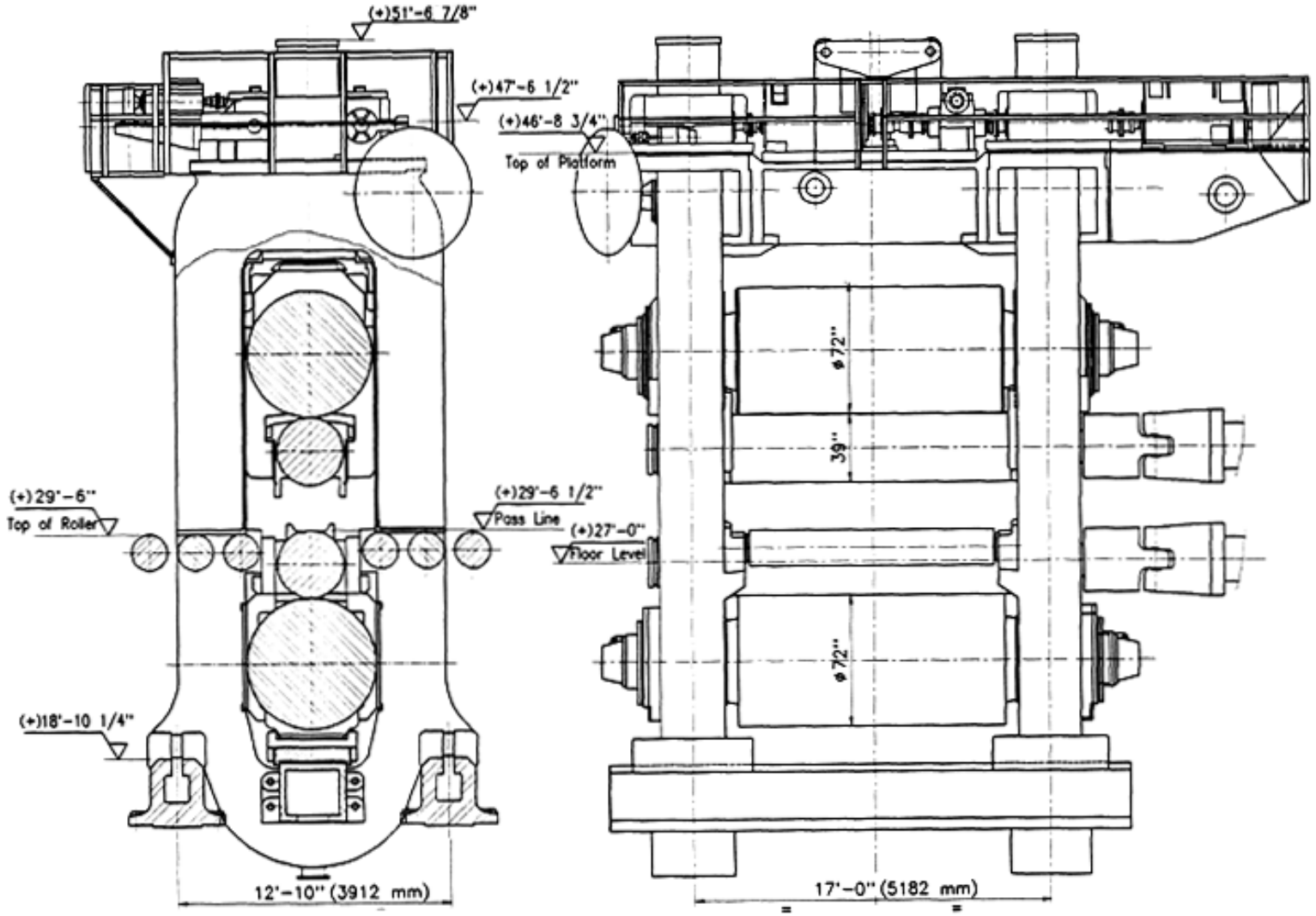
© 2008 Antonio Augusto Gorni

Laminador Quádruo para Produtos Planos



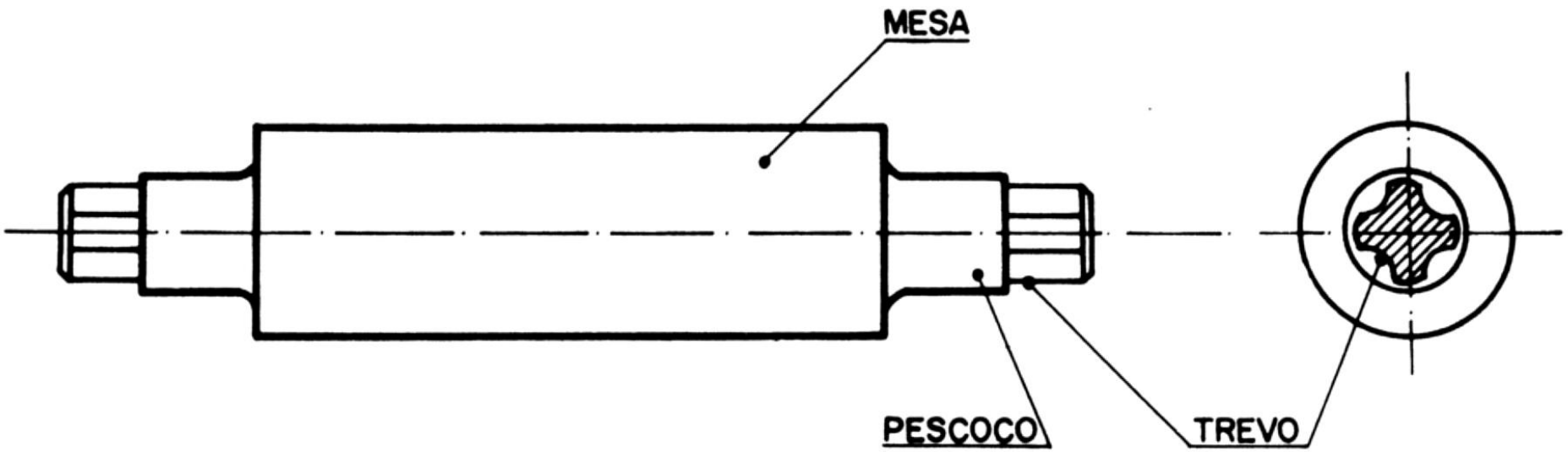
© 2008 Antonio Augusto Gorni

Órgãos e Peças de Laminadores



© 2008 Antonio Augusto Gorni

Cilindros de Laminação

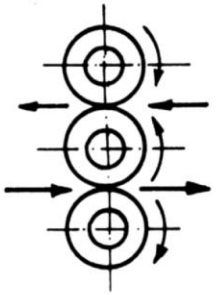


Podem ser feitos de aço (alta liga, adamite, alto Cr, rápido...) ou ferro fundido.

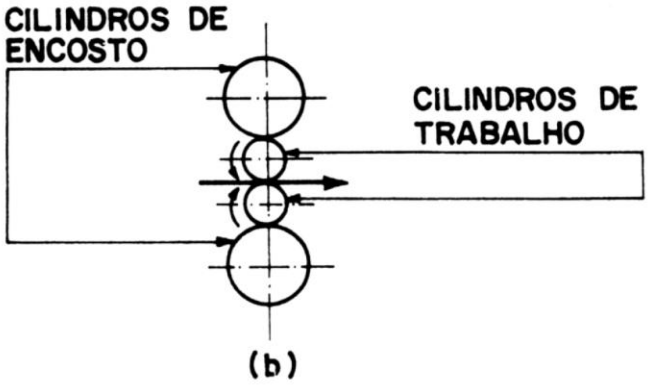
© 2008 Antonio Augusto Gorni

Configurações de Laminadores

Trio



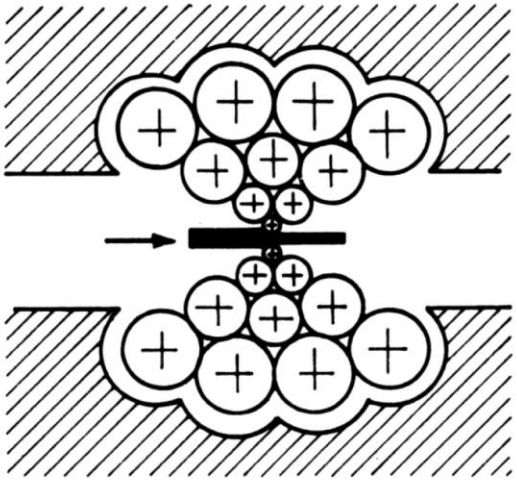
(a)



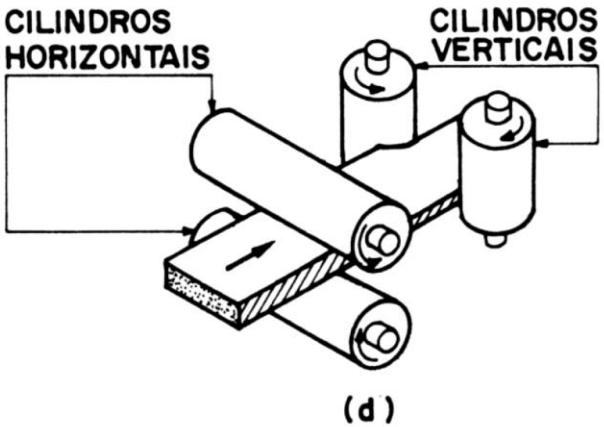
(b)

Quádruo

Sendzimir



(c)

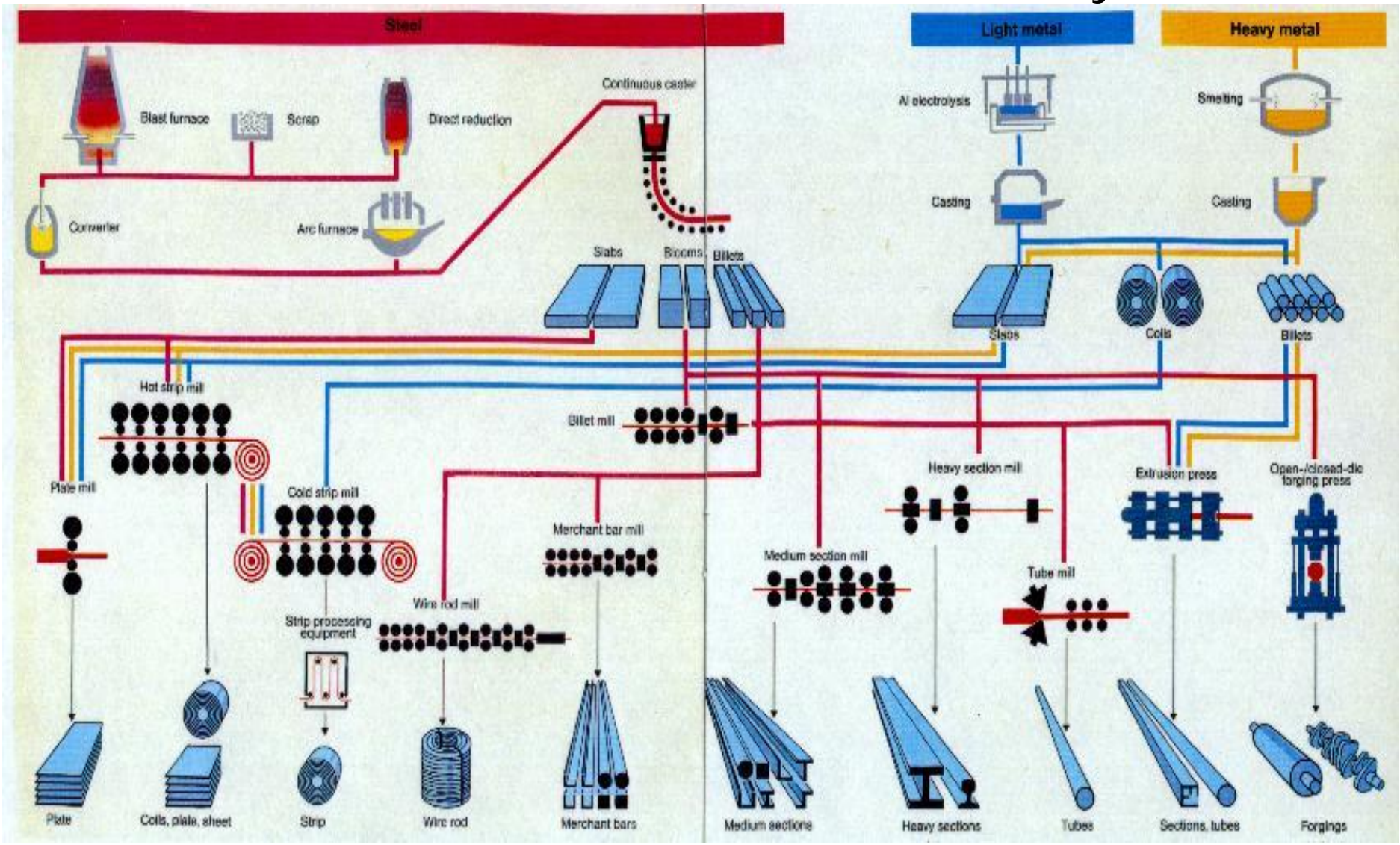


(d)

Universal

© 2008 Antonio Augusto Gorni

Linhas Industriais de Laminação

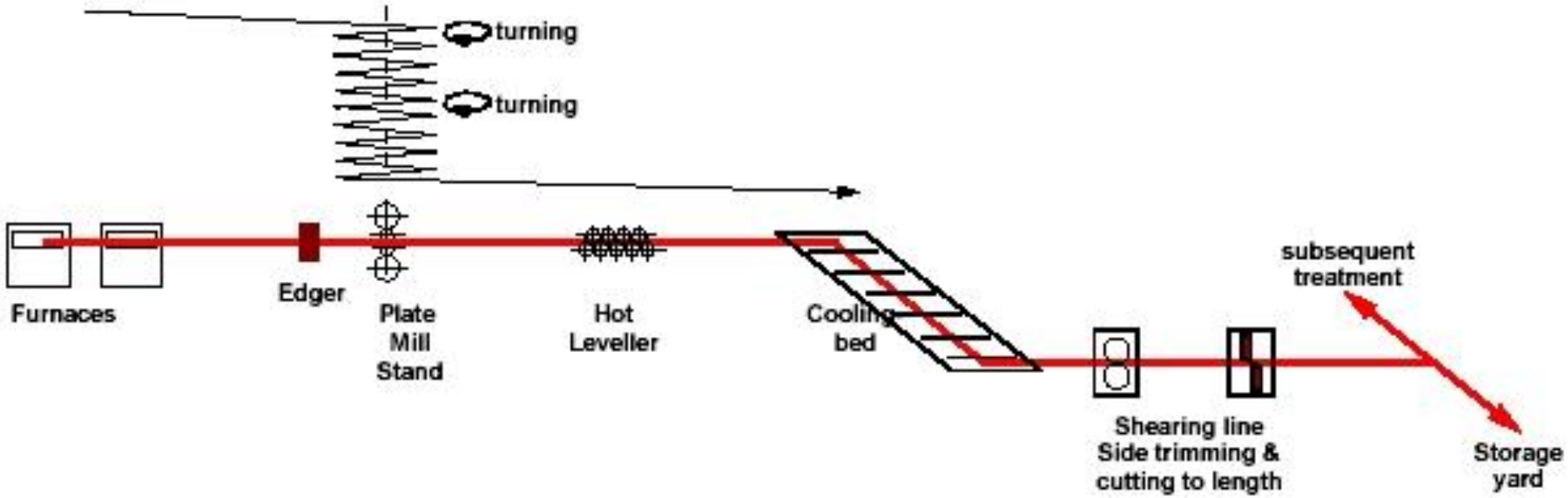


© 2008 Antonio Augusto Gorni

www.gorni.eng.br

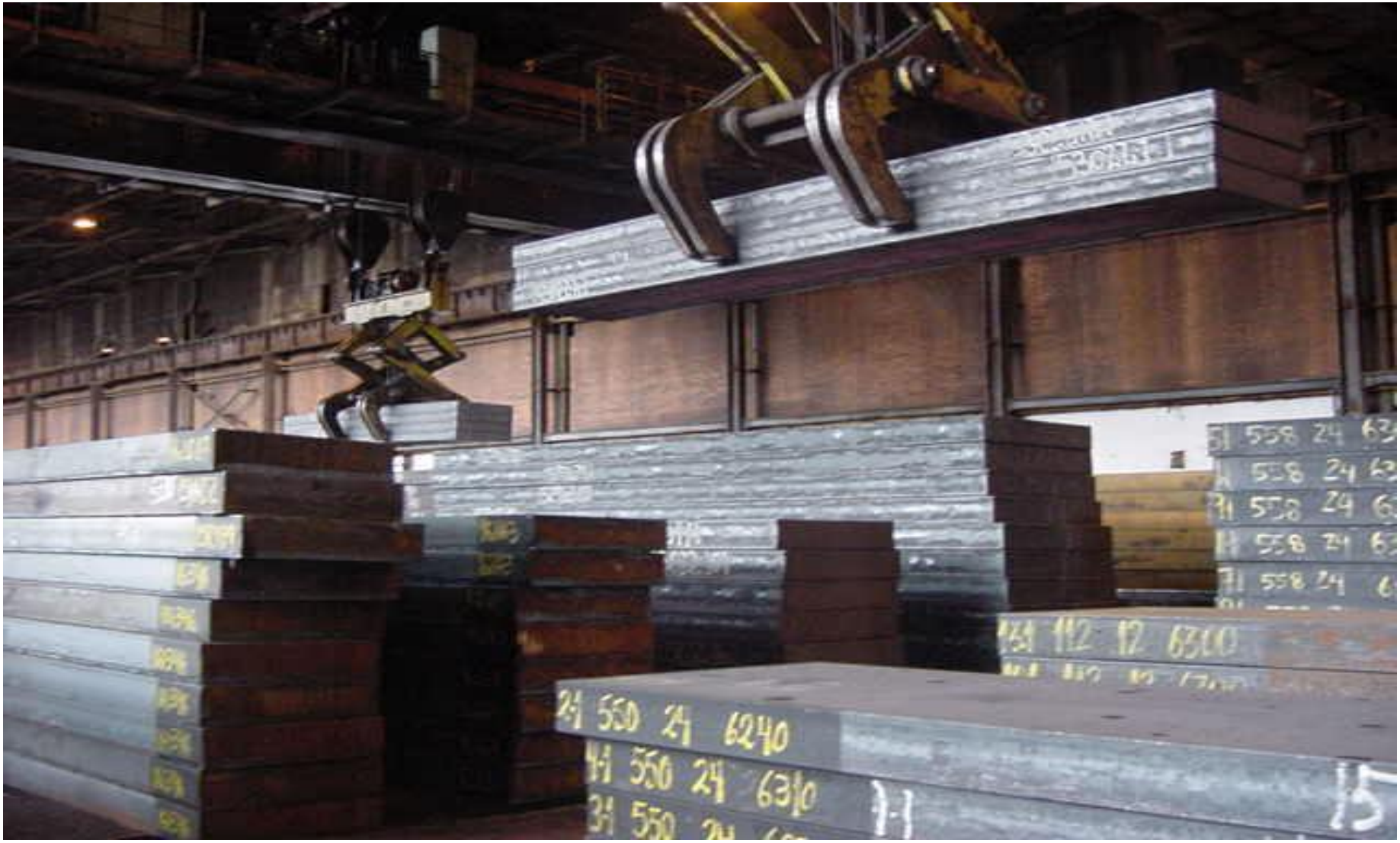
ABM

Laminação de Chapas Grossas



© 2008 Antonio Augusto Gorni

Laminação de Chapas Grossas - Pátio de Placas

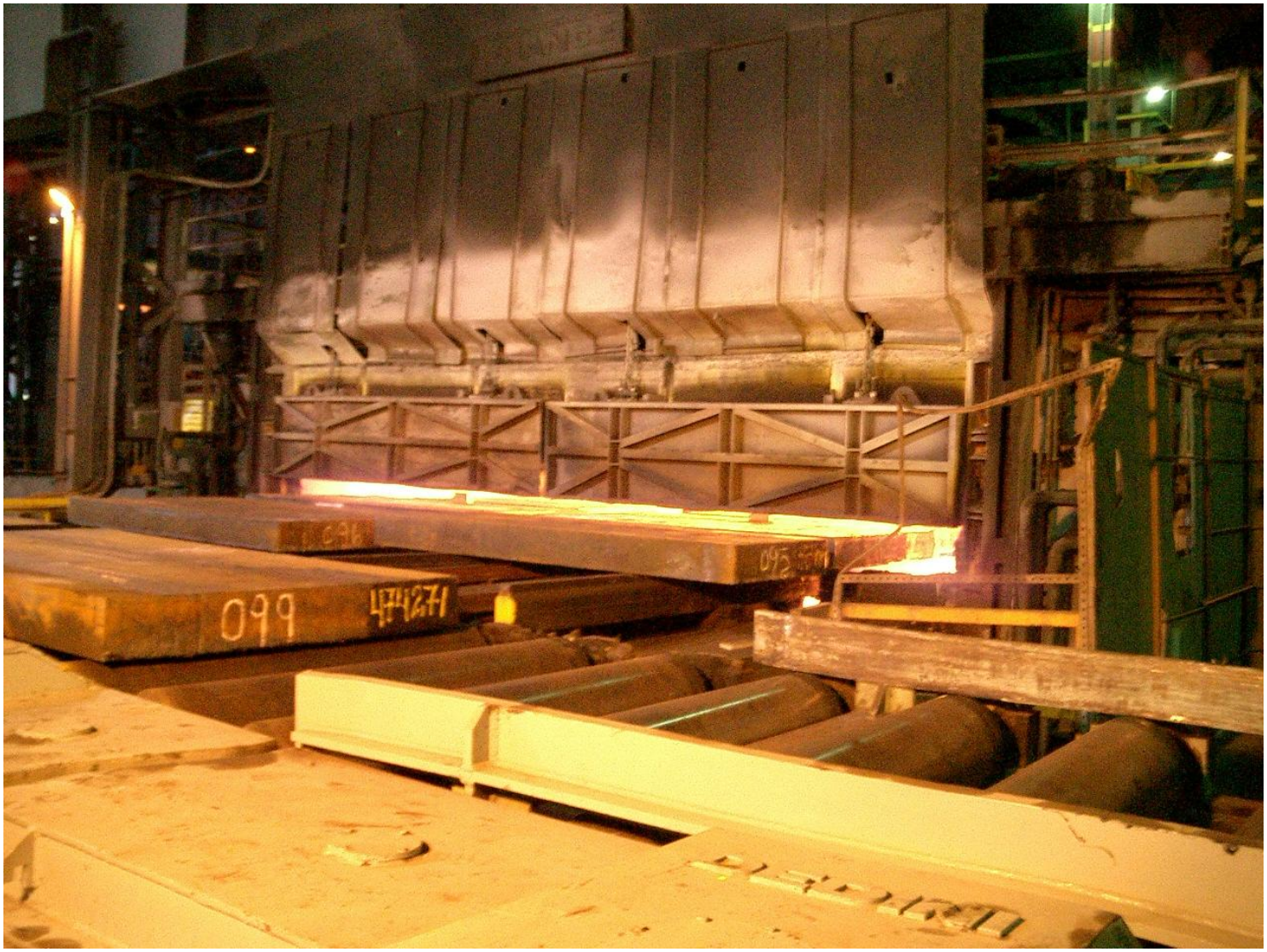


© 2008 Antonio Augusto Gorni

www.gorni.eng.br

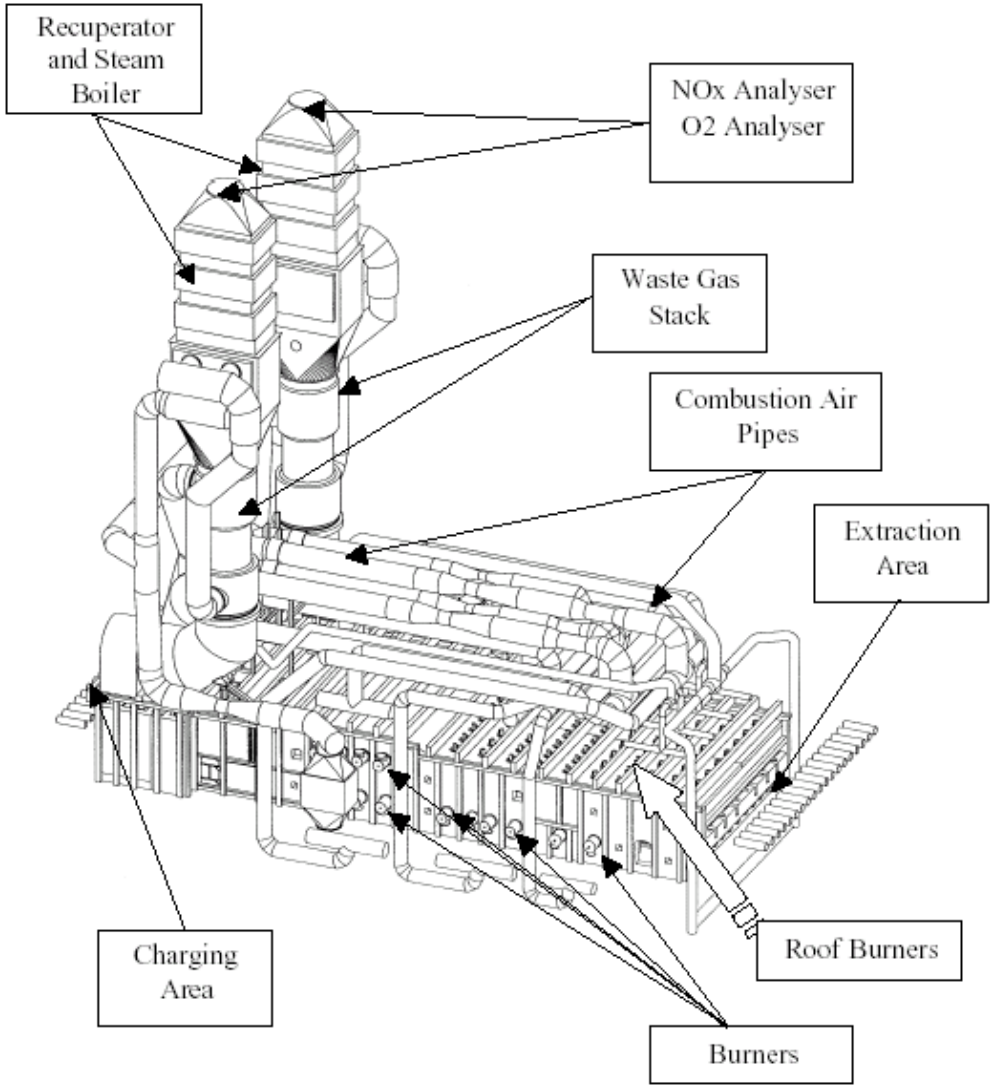
ABM

Laminação de Chapas Grossas - Enfornamento



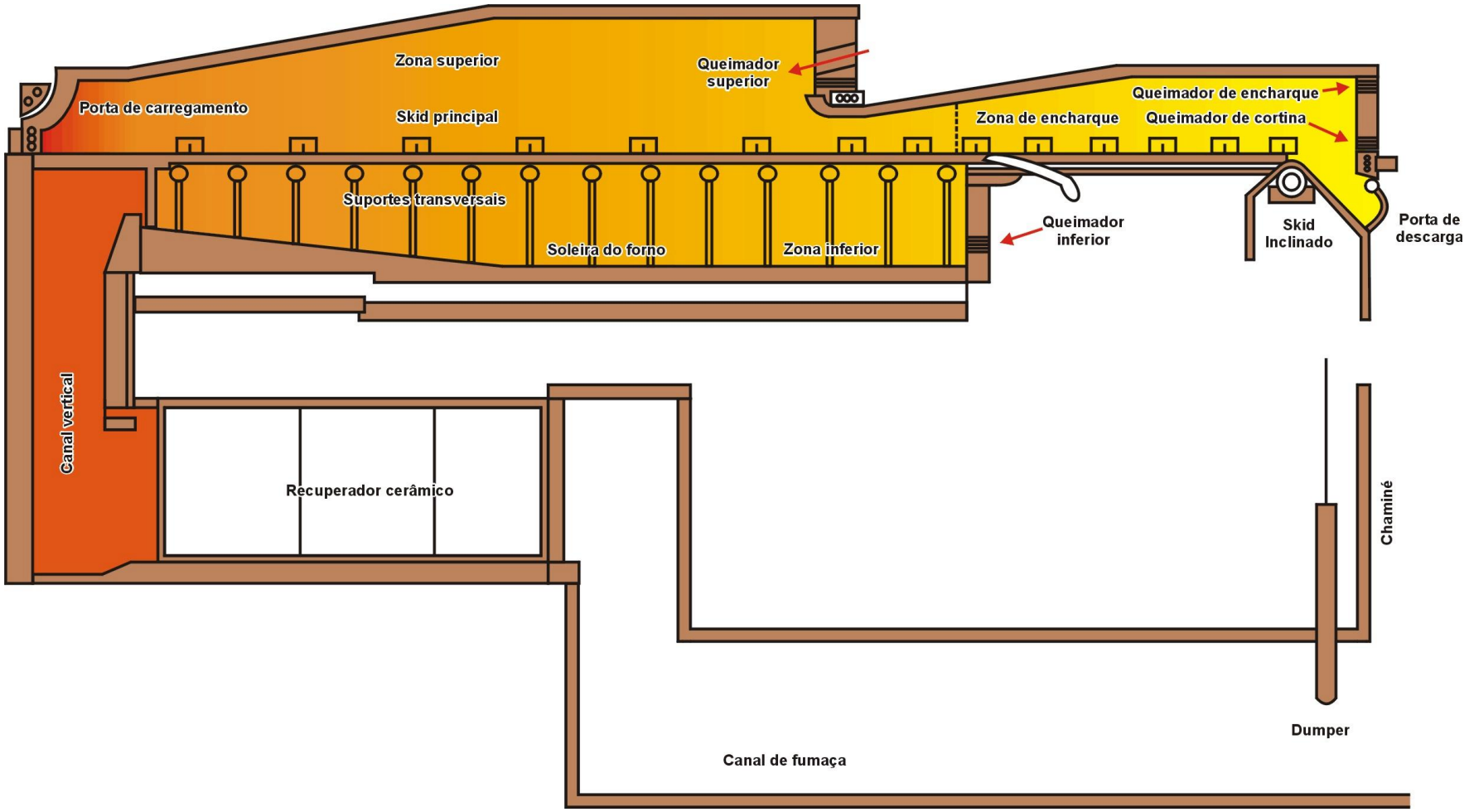
© 2008 Antonio Augusto Gorni

Forno de Reaquecimento



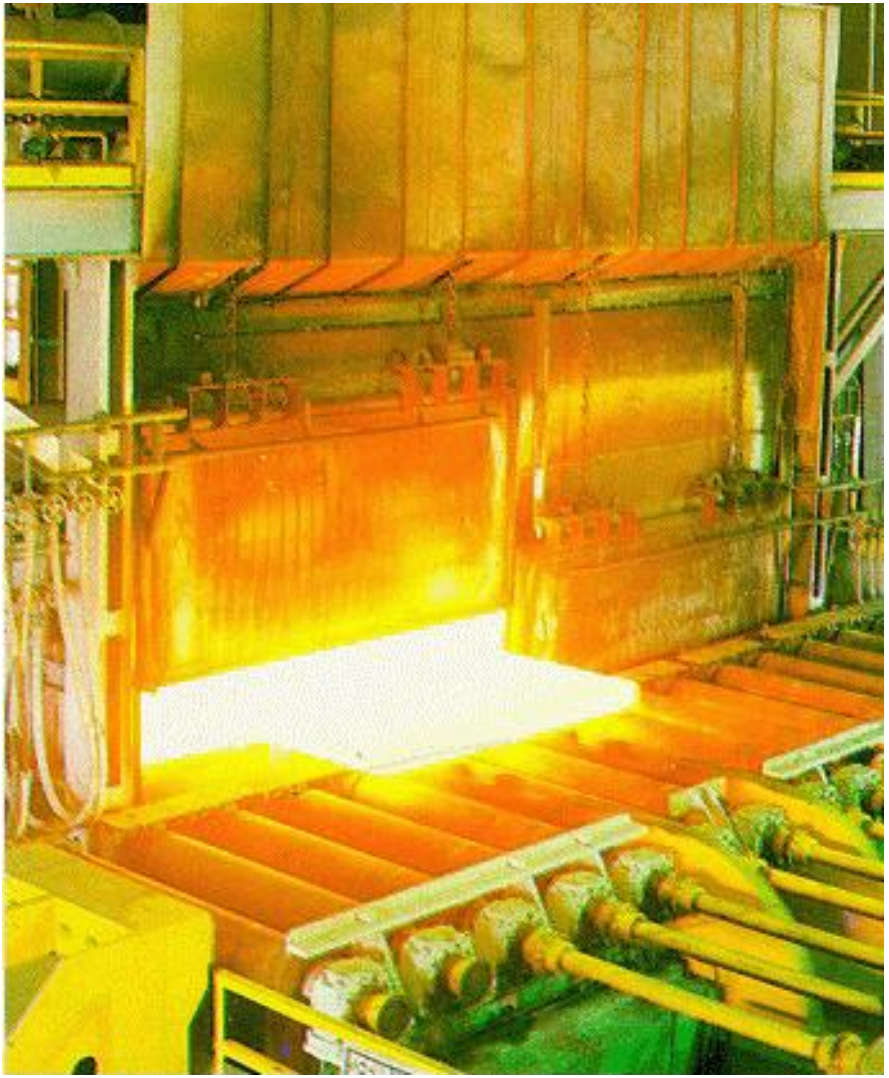
© 2008 Antonio Augusto Gorni

Forno de Reaquecimento



© 2008 Antonio Augusto Gorni

Laminação de Chapas Grossas - Início

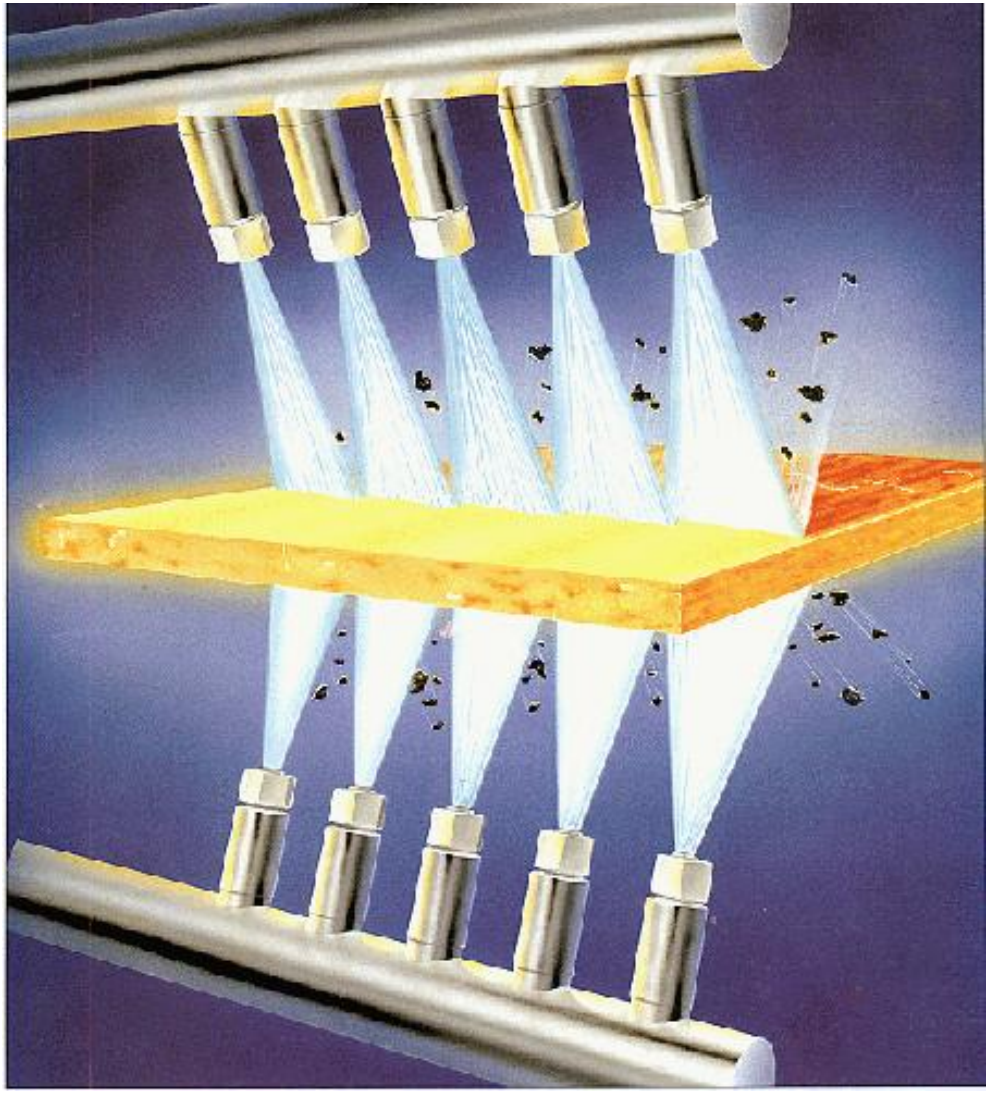


© 2008 Antonio Augusto Gorni

Laminação de Chapas Grossas - Descarepação

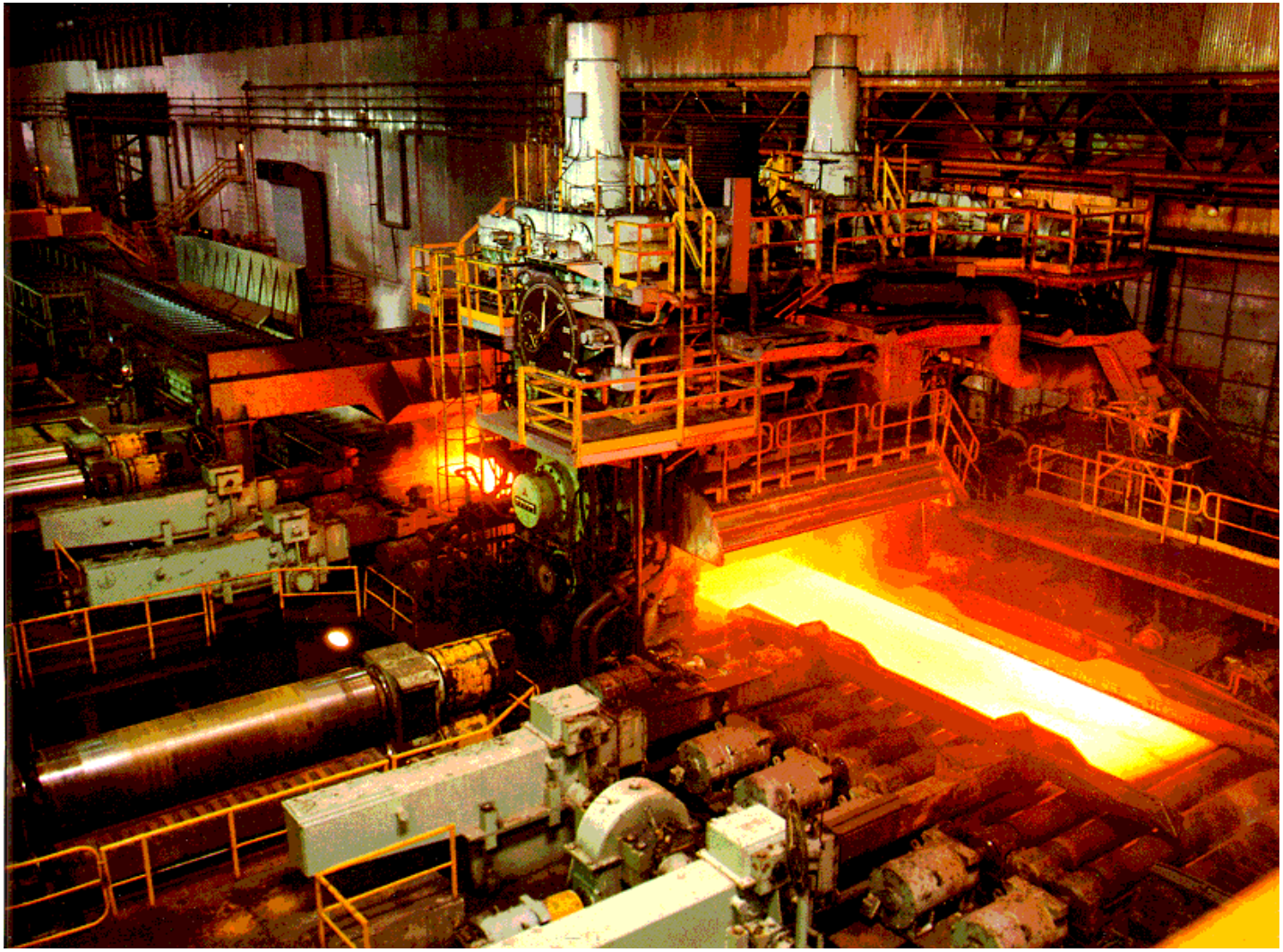
© 2008 Antonio Augusto Gorni

Laminação de Chapas Grossas - Descarepação



© 2008 Antonio Augusto Gorni

Laminação de Chapas Grossas

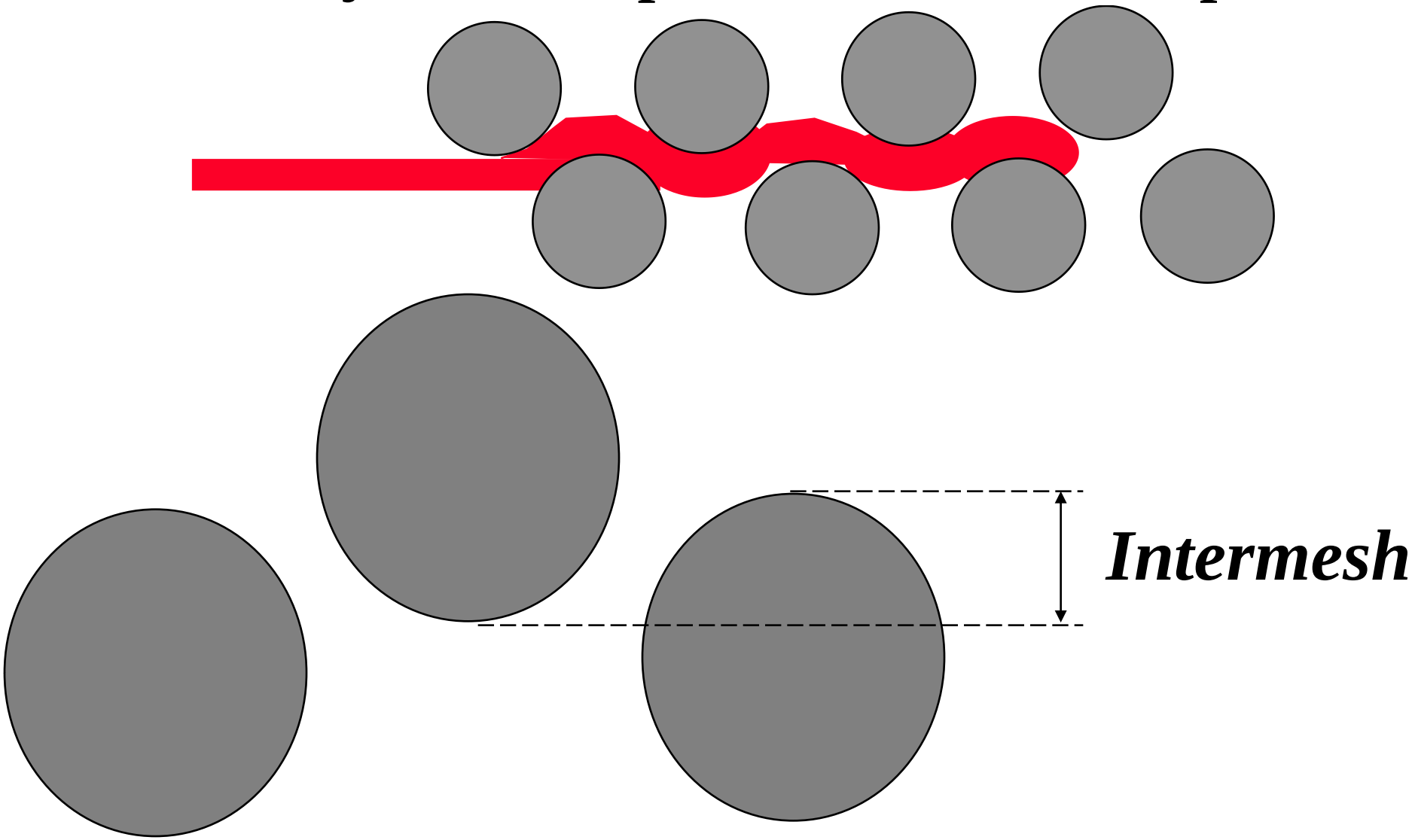


© 2008 Antonio Augusto Gorni

Laminação de Chapas Grossas - Desempeno

© 2008 Antonio Augusto Gorni

Laminação de Chapas Grossas - Desempeno



© 2008 Antonio Augusto Gorni

Laminação de Chapas Grossas - Resfriamento

© 2008 Antonio Augusto Gorni

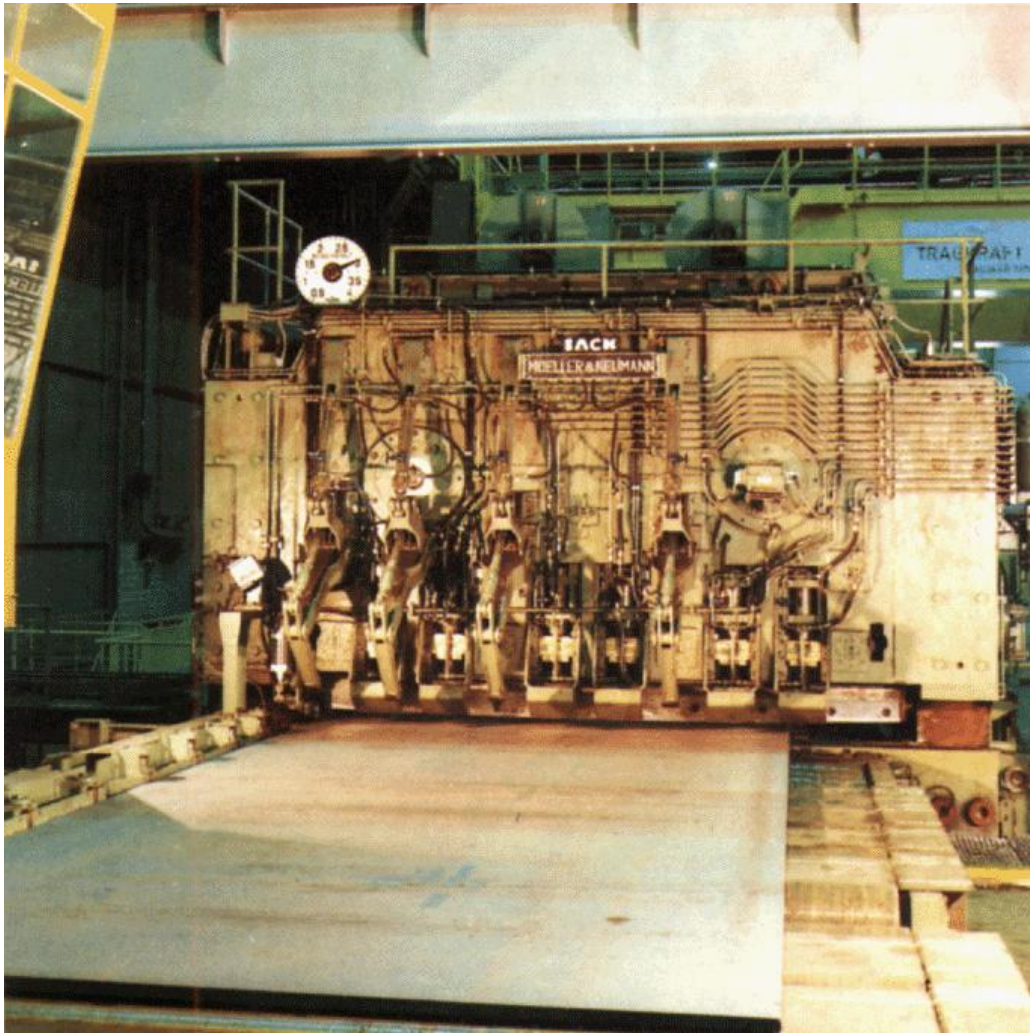
Laminação de Chapas Grossas - Leito

© 2008 Antonio Augusto Gorni

Laminação de Chapas Grossas - Acabamento

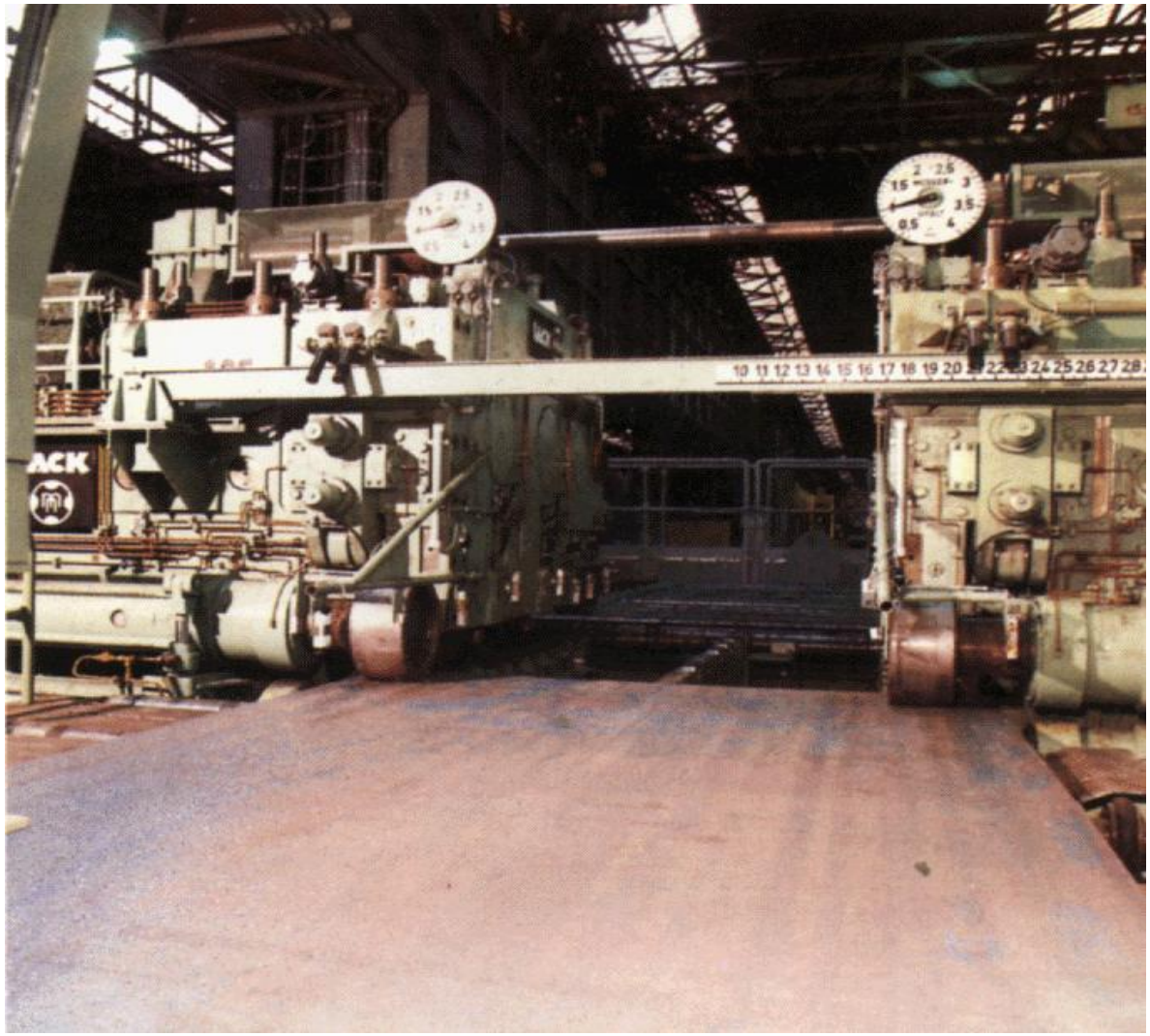
© 2008 Antonio Augusto Gorni

Tesoura Divisora e de Pontas



© 2008 Antonio Augusto Gorni

Tesoura Lateral Dupla



© 2008 Antonio Augusto Gorni

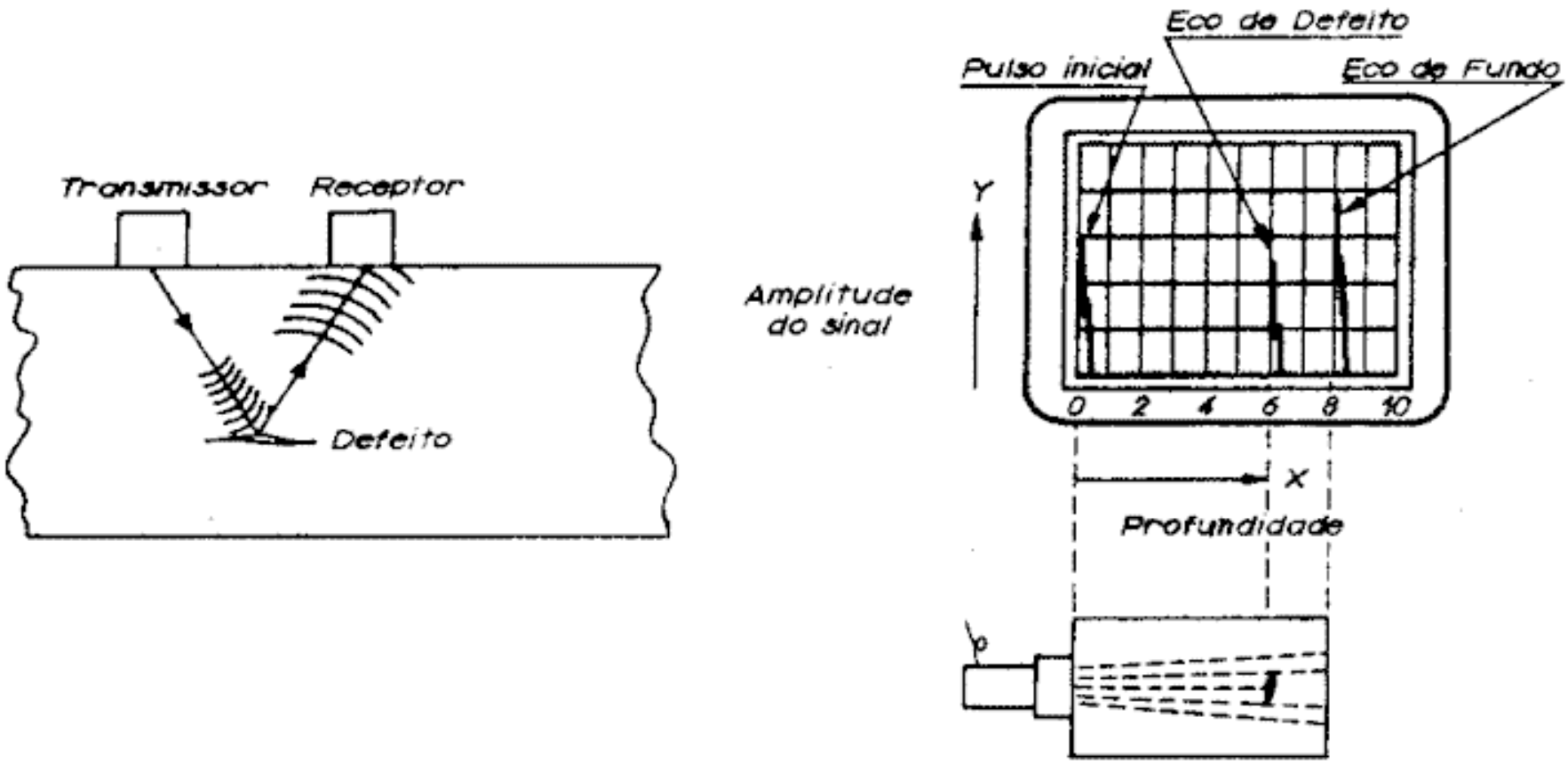
Identificação por Impressão com Tinta

© 2008 Antonio Augusto Gorni

Desempenadeira a Frio

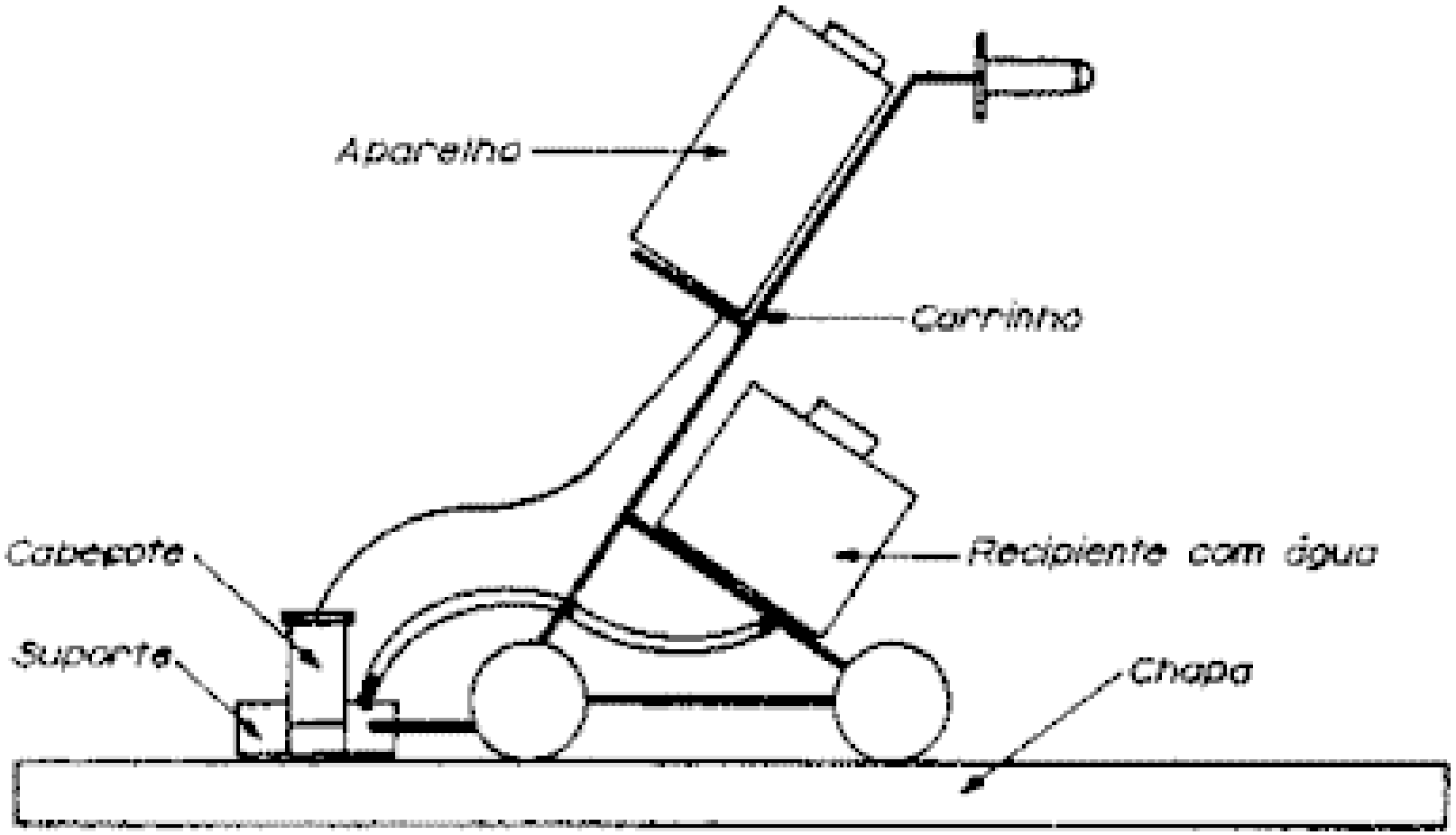
© 2008 Antonio Augusto Gorni

Sanidade Interna - Ensaio de Ultra-Som



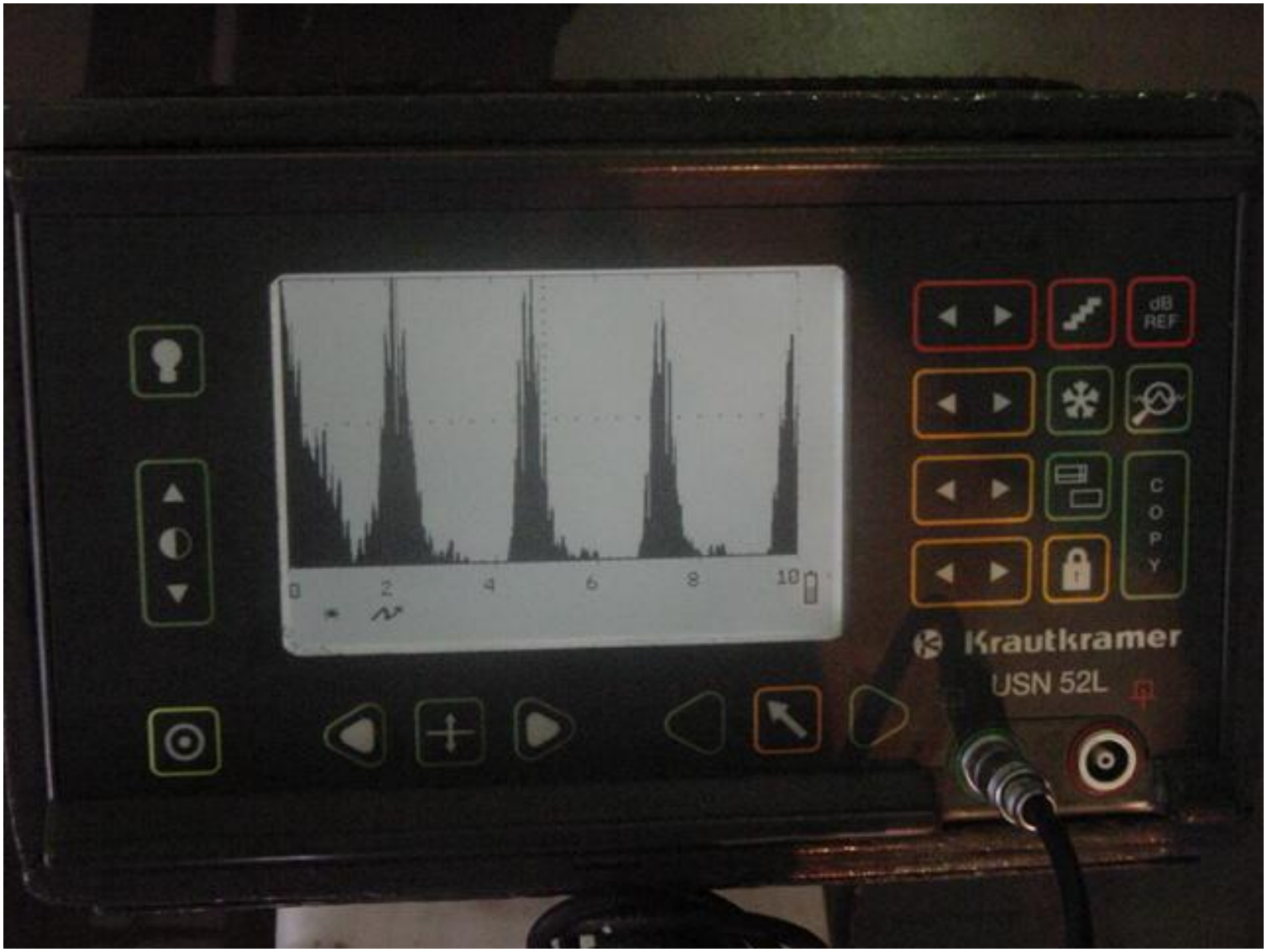
© 2008 Antonio Augusto Gorni

Equipamento para Ultra-Som Manual



© 2008 Antonio Augusto Gorni

© 2008 Antonio Augusto Gorni

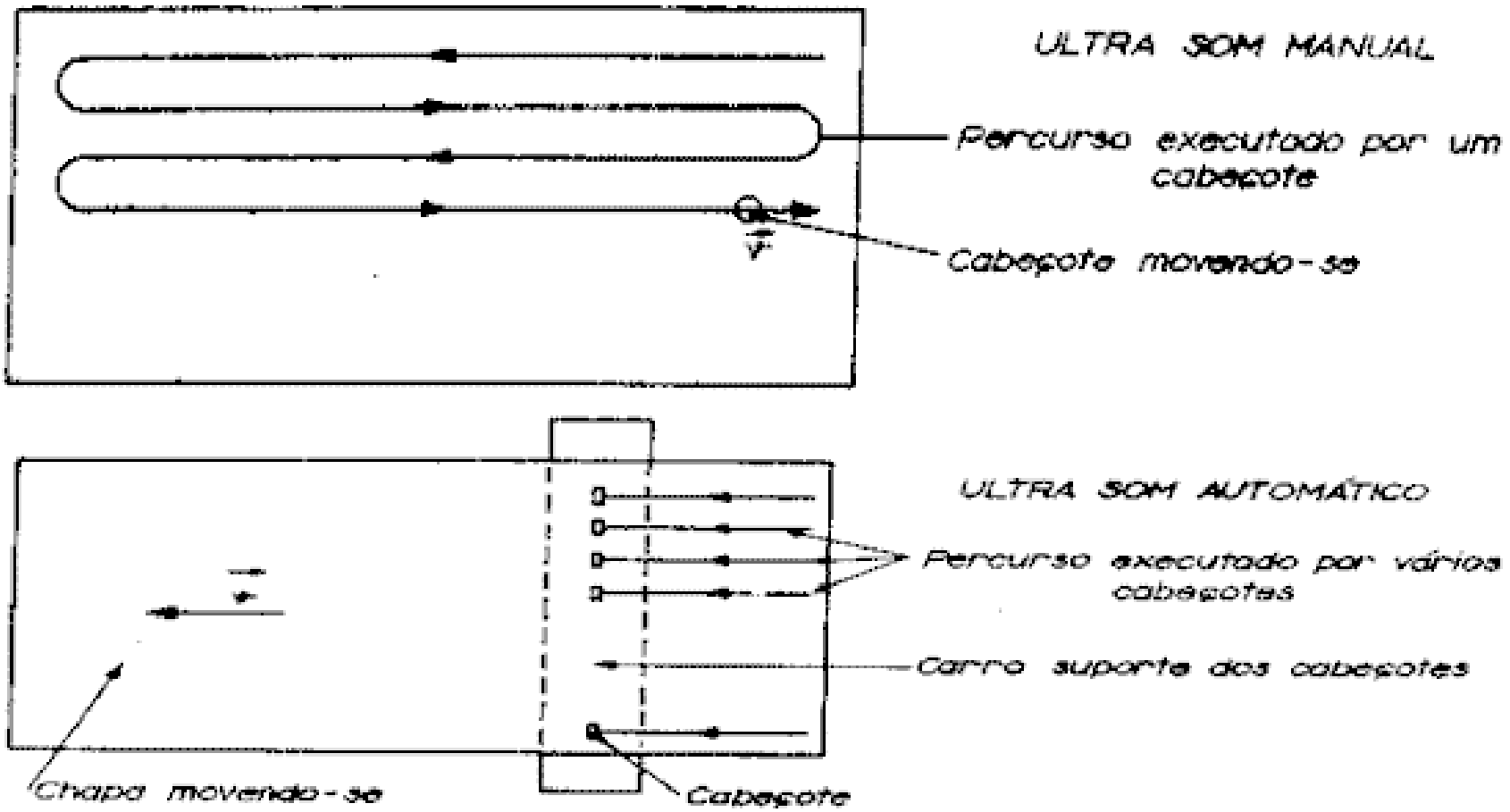


© 2008 Antonio Augusto Gorni

www.gorni.eng.br

ABM

Esquema de Varredura para o Ultra-Som

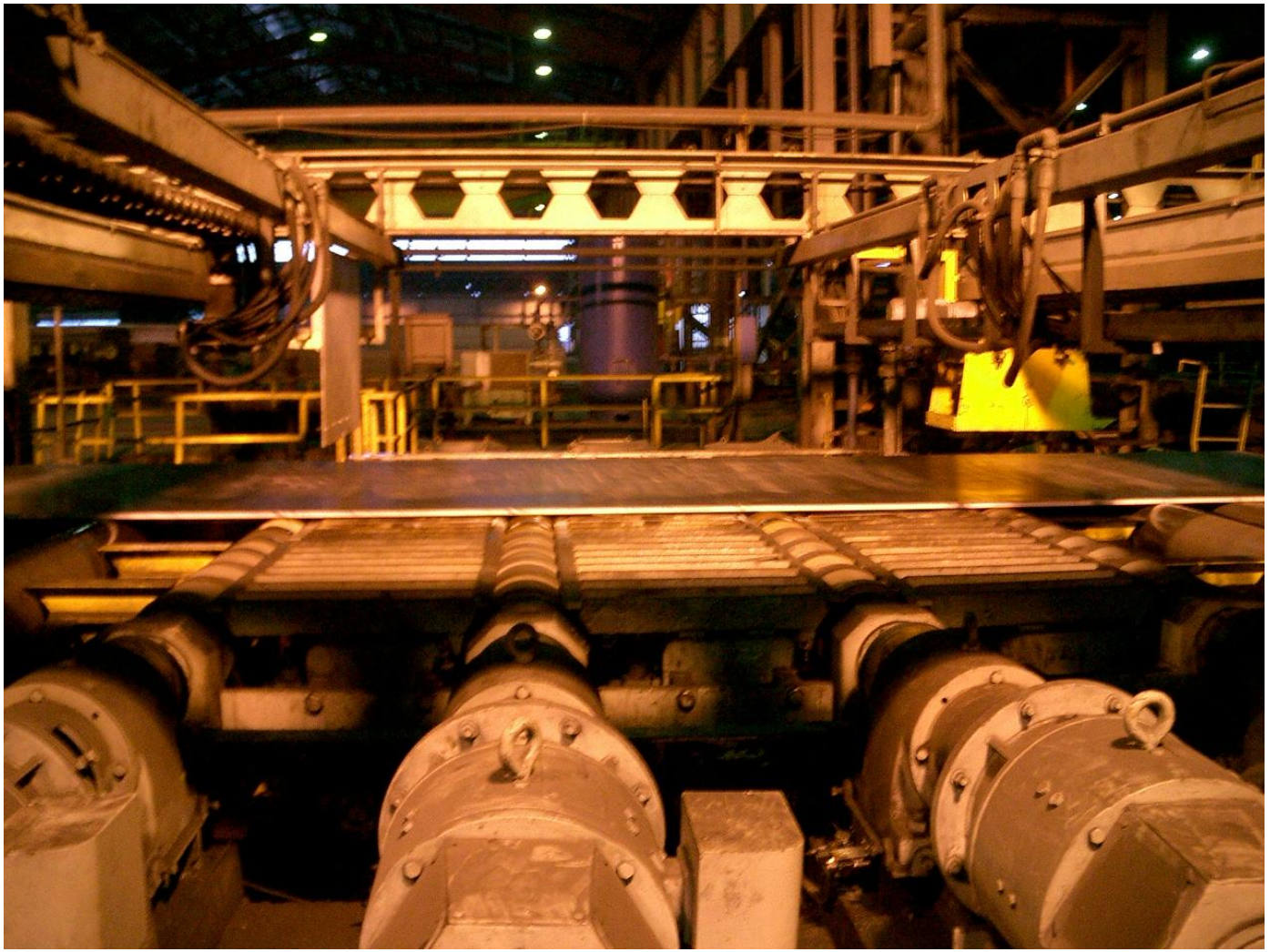


© 2008 Antonio Augusto Gorni

Ensaio de Ultra-Som

© 2008 Antonio Augusto Gorni

Ultra-Som Automático: Teste do Corpo da CG



© 2008 Antonio Augusto Gorni

Ultra-Som Automático: Teste das Bordas da CG

© 2008 Antonio Augusto Gorni

Tratamento Térmico

- Alguns materiais devem possuir propriedades mecânicas que somente podem ser conseguidas com uma etapa adicional de processamento cha-mada **tratamento térmico**.

- Há basicamente três tratamentos térmicos para chapas grossas:

- Normalização

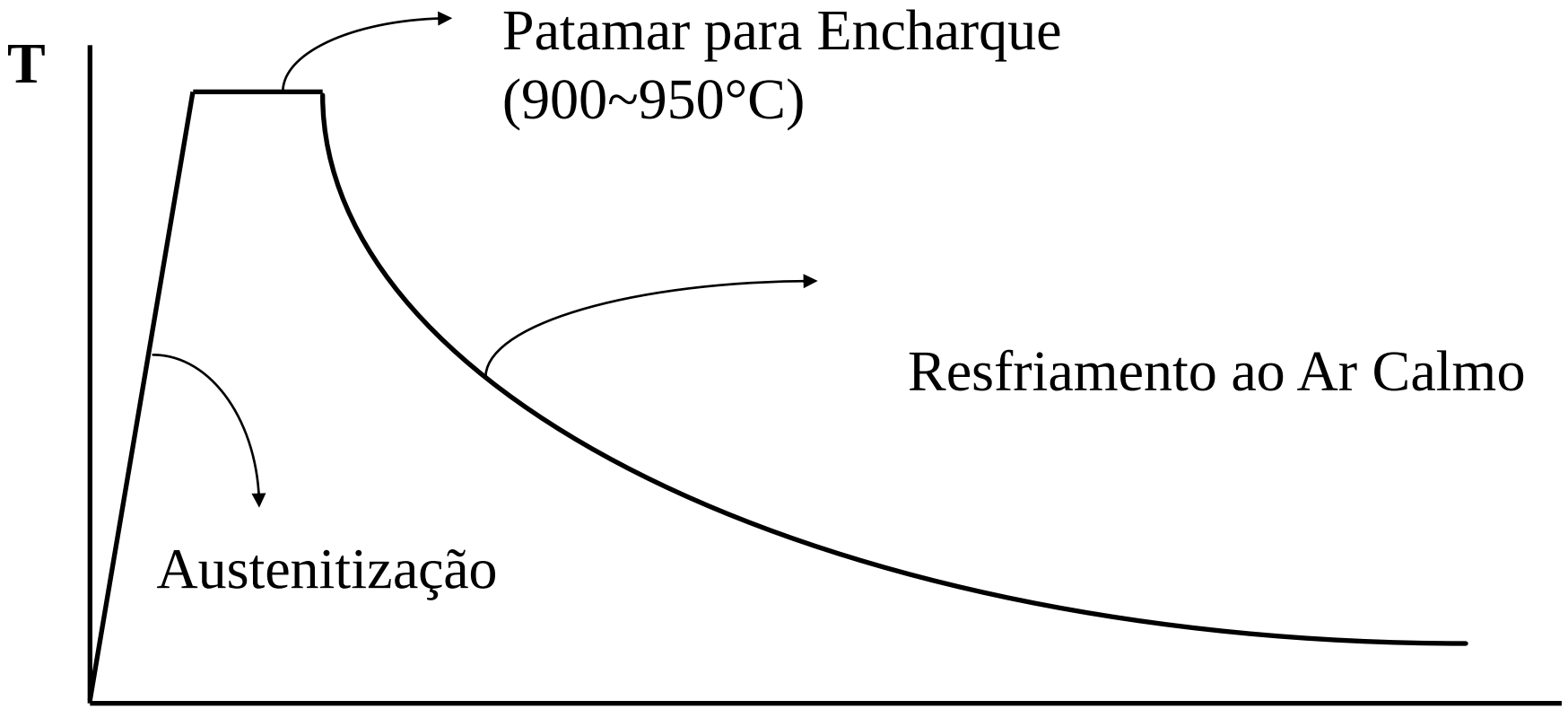
- Têmpera

- Revenido

© 2008 Antonio Augusto Gorni

Tratamento Térmico - Normalização

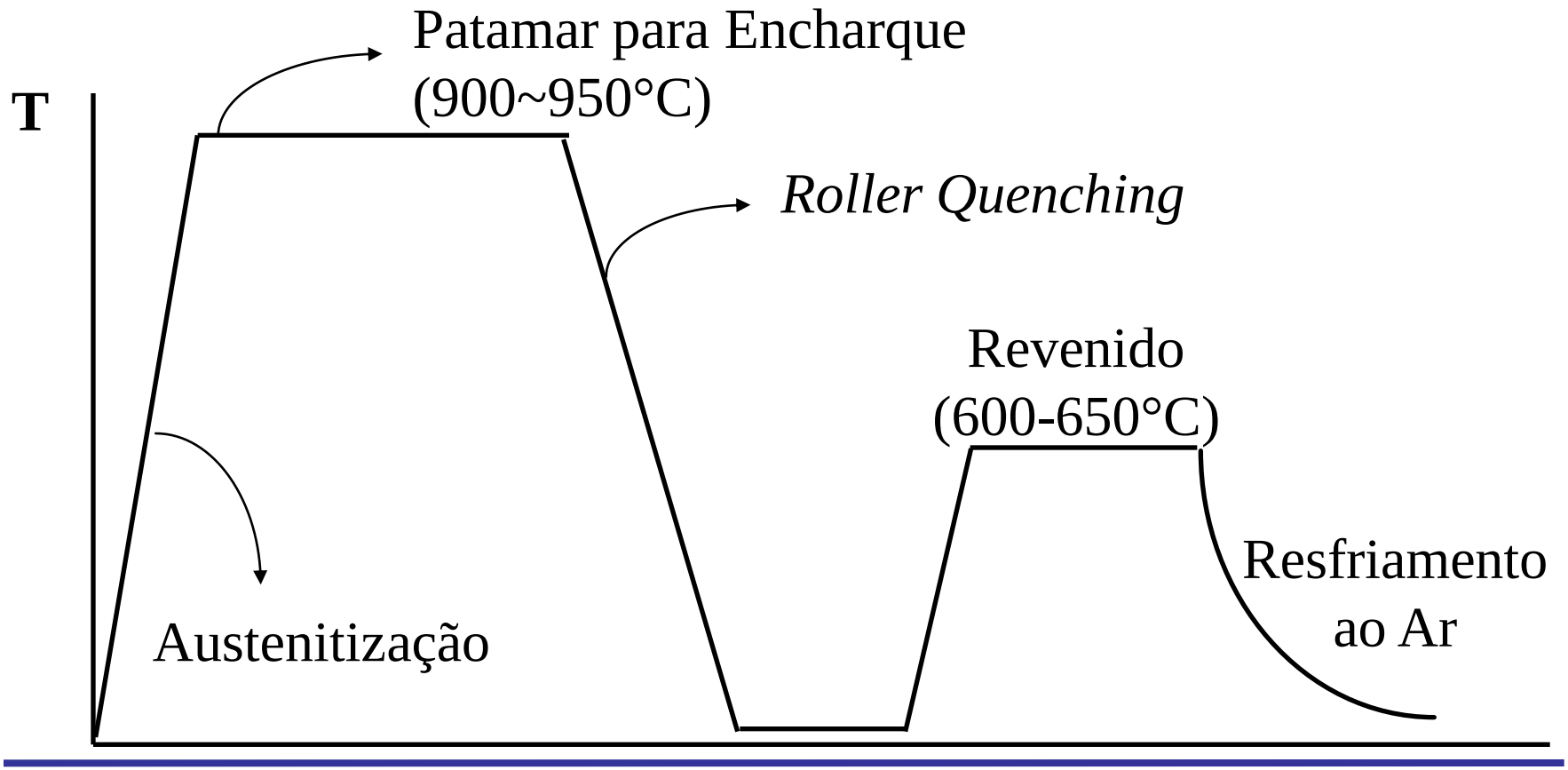
- Aplicado em chapas que devem apresentar pro-priedades mecânicas uniformes e boa tenacidade.



© 2008 Antonio Augusto Gorni

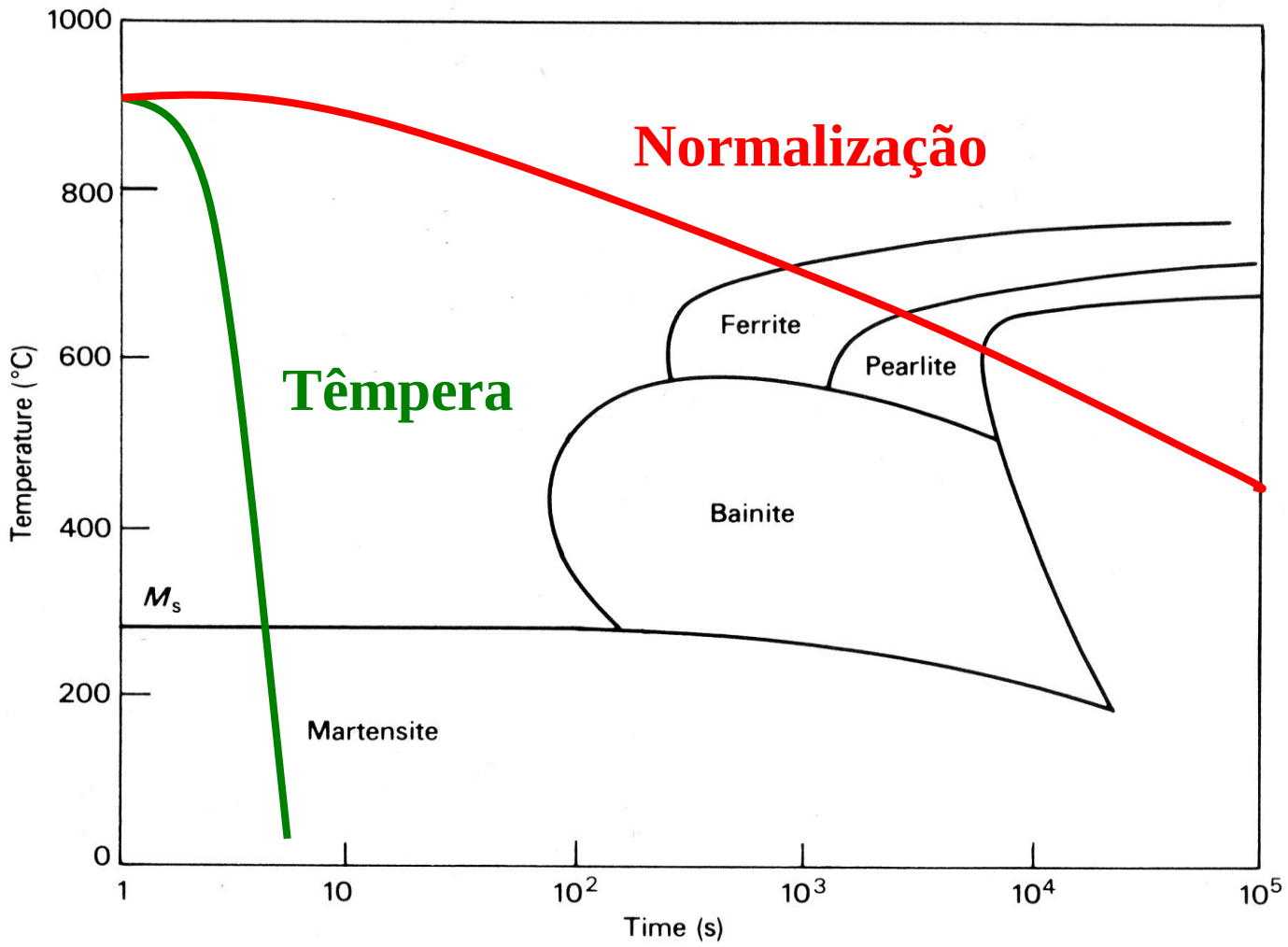
Tratamento Térmico - Têmpera eRevenido

- Aplicado em chapas que devem apresentar alta resistência mecânica ou à abrasão.



© 2008 Antonio Augusto Gorni

Transformação da Austenita



© 2008 Antonio Augusto Gorni

Jateamento de Chapas

© 2008 Antonio Augusto Gorni

www.gorni.eng.br

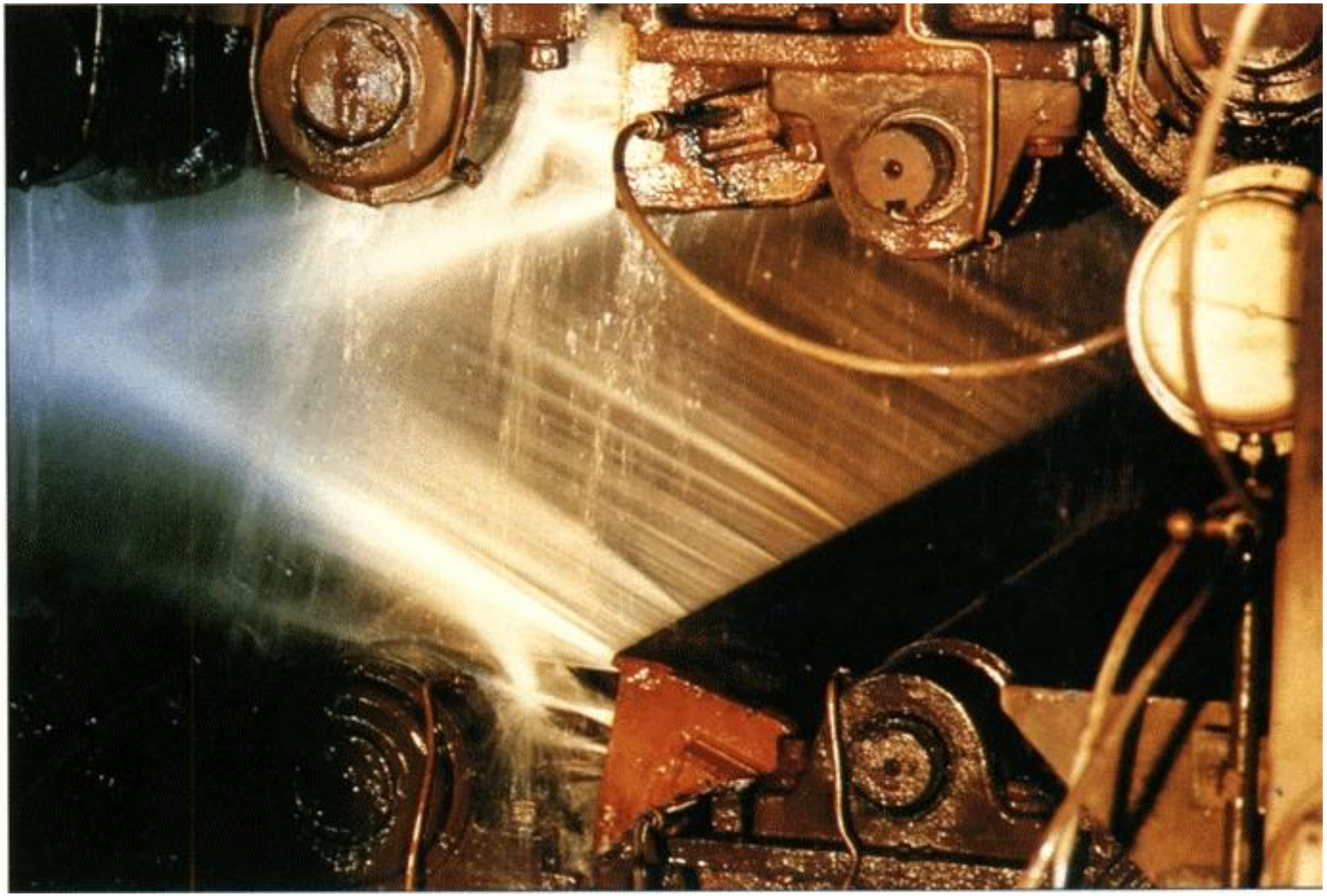
Chapas Grossas - Forno de TT

© 2008 Antonio Augusto Gorni

Chapas Grossas - Forno de TT - Têmpera

© 2008 Antonio Augusto Gorni

Chapas Grossas - Forno de TT - *Roller Quench*



© 2008 Antonio Augusto Gorni

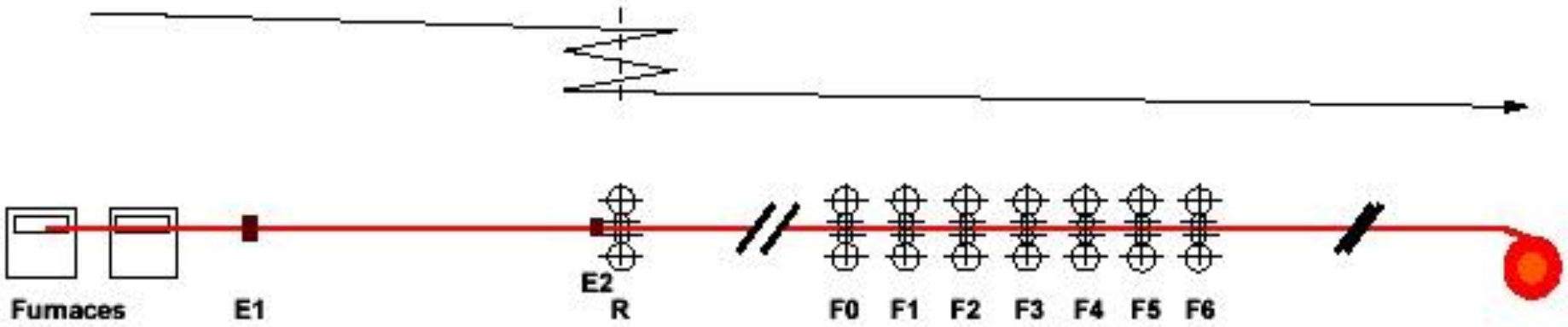
Chapas Grossas - Forno de TT - Mesa de Saída

© 2008 Antonio Augusto Gorni

Chapas Grossas - Embarque

© 2008 Antonio Augusto Gorni

Laminação de Tiras a Quente



© 2008 Antonio Augusto Gorni

Laminação de Tiras a Quente - Pátio de Placas

© 2008 Antonio Augusto Gorni

Laminação de Tiras a Quente - Desenfornamento

© 2008 Antonio Augusto Gorni

Laminação de Tiras a Quente - Desenfornamento

© 2008 Antonio Augusto Gorni

Laminação de Tiras a Quente - Descarepação

© 2008 Antonio Augusto Gorni

Laminação de Tiras a Quente - Esboçamento

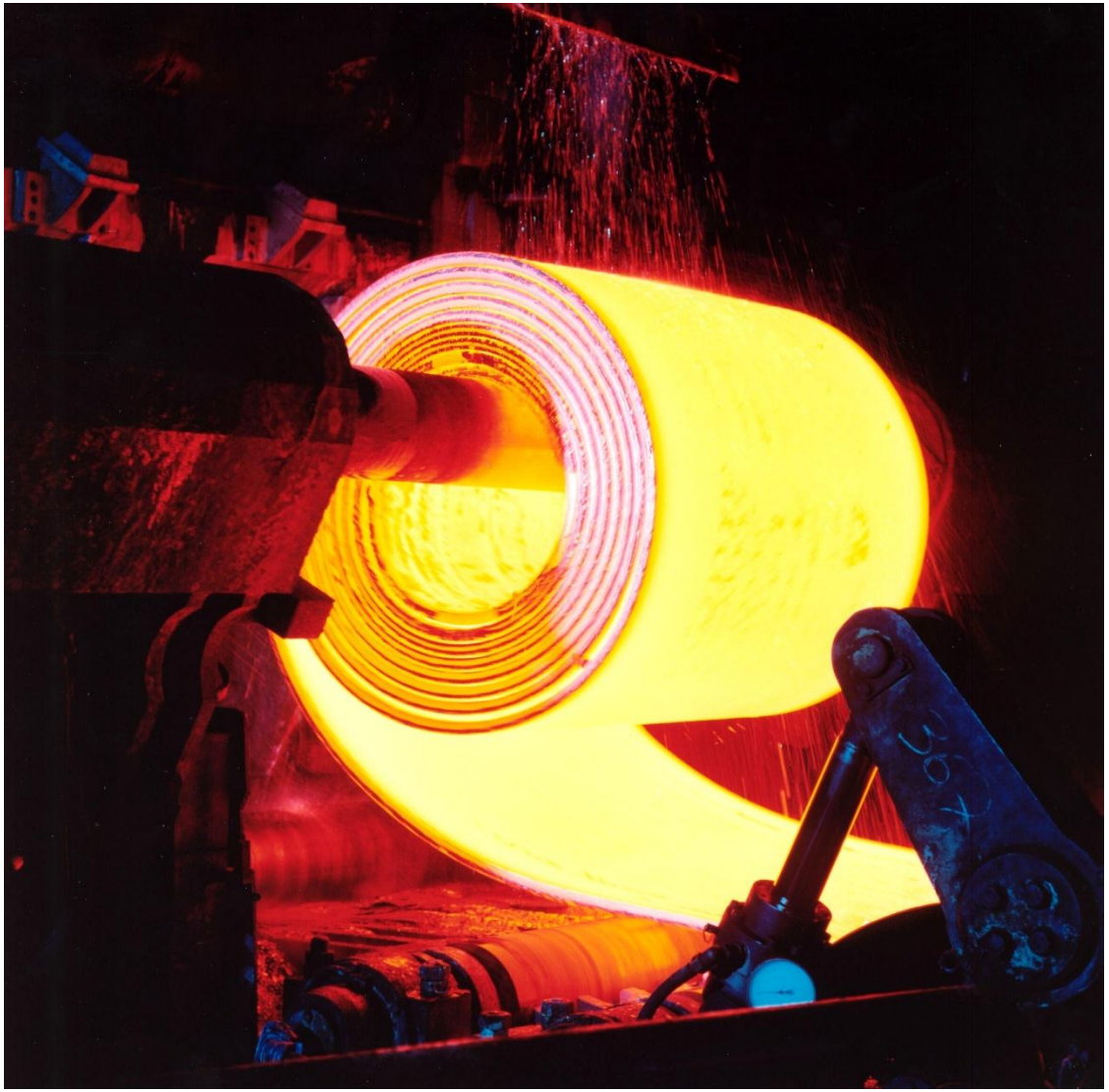
© 2008 Antonio Augusto Gorni

Laminação de Tiras a Quente - Painéis Isolantes

© 2008 Antonio Augusto Gorni

www.gorni.eng.br

Laminação de Tiras a Quente - Coilbox



© 2008 Antonio Augusto Gorni

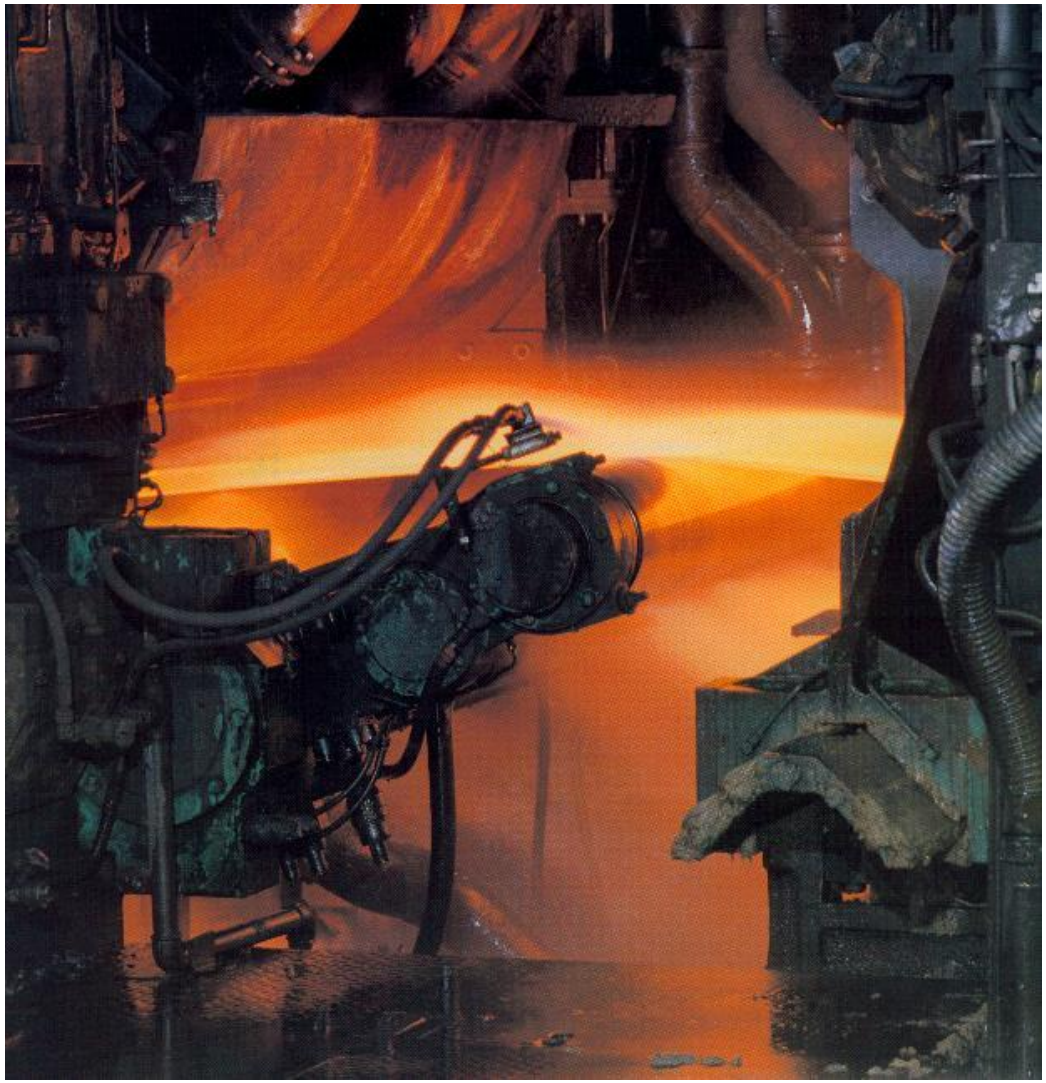
Laminação de Tiras a Quente - Trem Acabador

© 2008 Antonio Augusto Gorni

www.gorni.eng.br

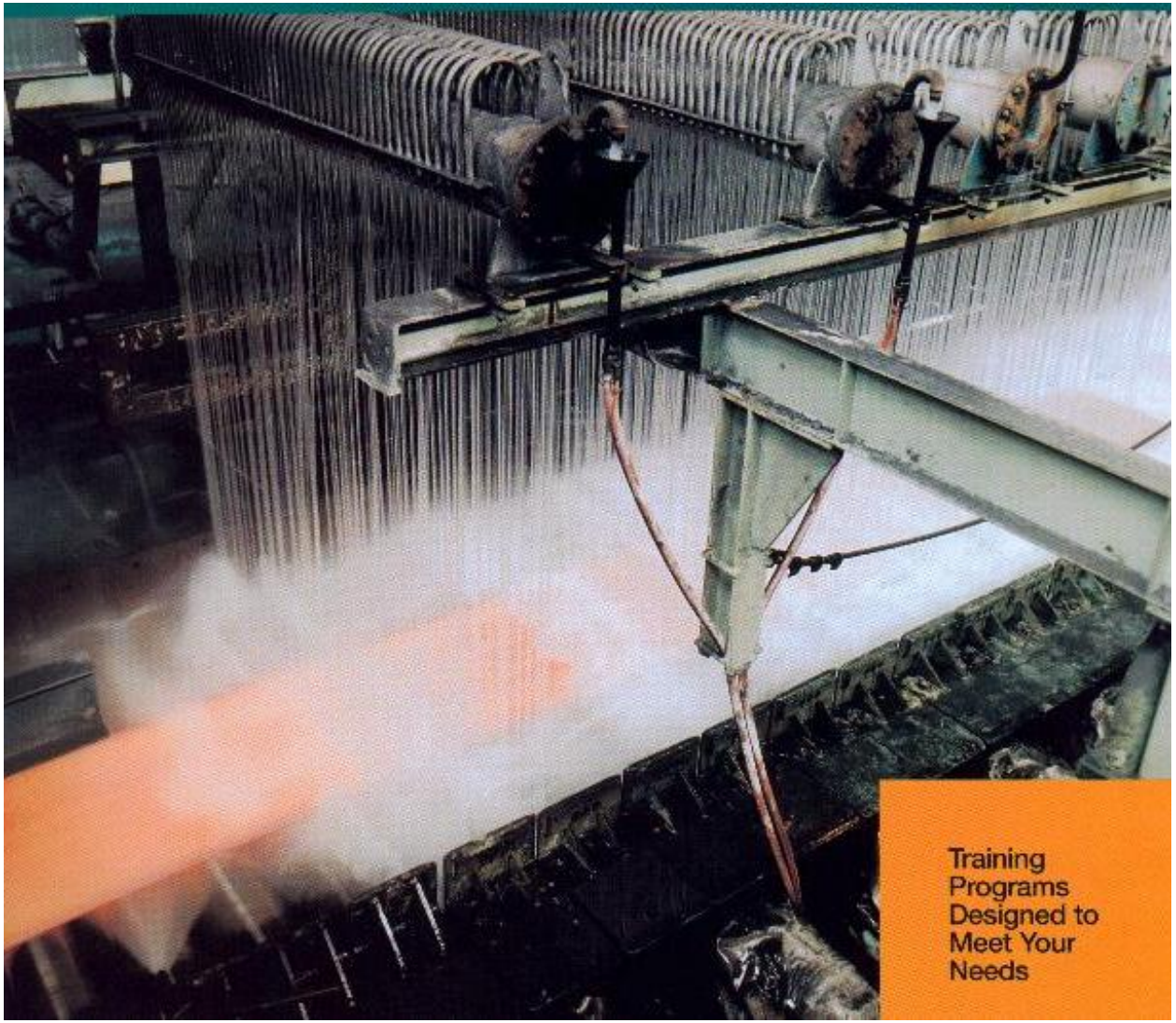
ABM

Laminação de Tiras a Quente - Trem Acabador



© 2008 Antonio Augusto Gorni

Laminação de Tiras a Quente - Resfriamento

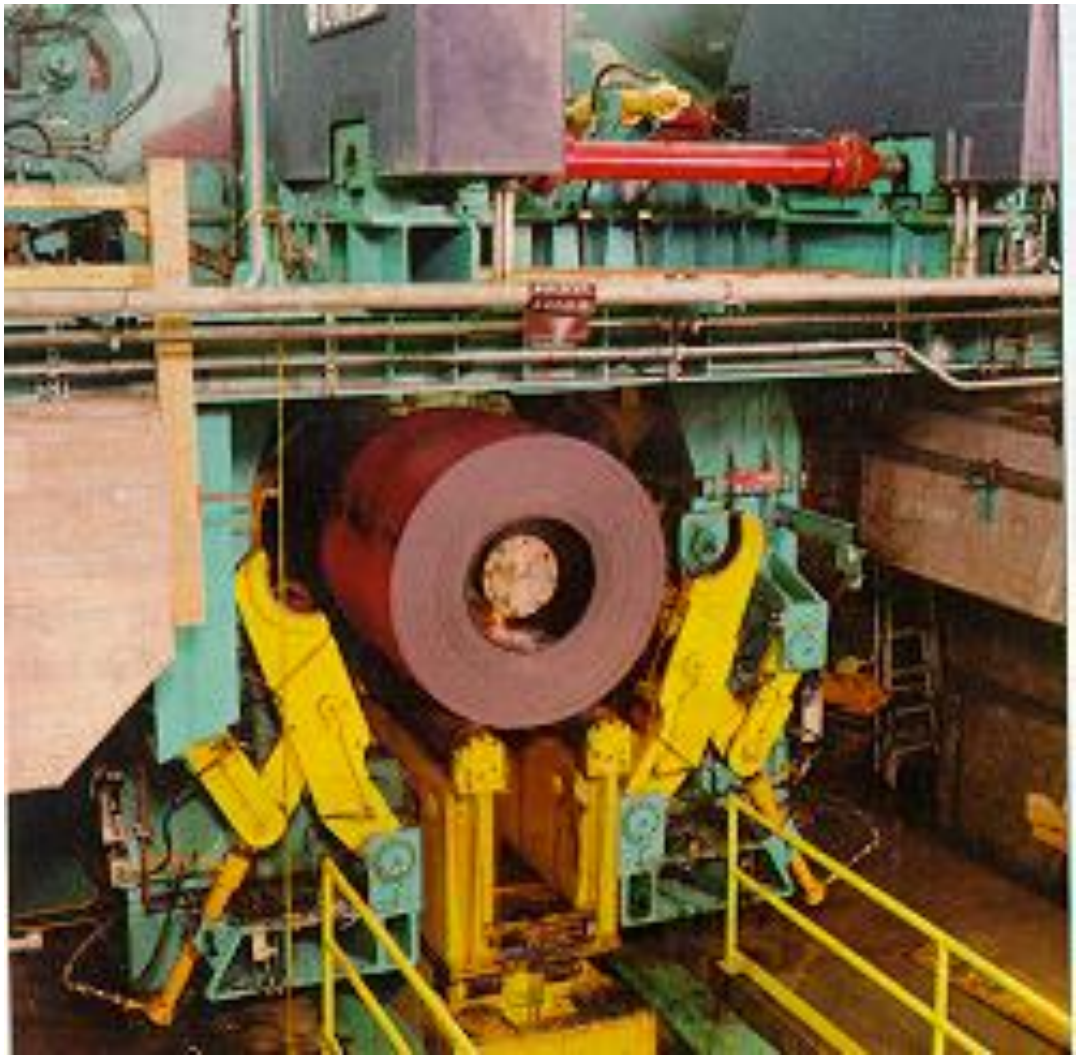


© 2008 Antonio Augusto Gorni

Laminação de Tiras a Quente - Rumo Bobinadora

© 2008 Antonio Augusto Gorni

Laminação de Tiras a Quente - Bobinadora



© 2008 Antonio Augusto Gorni

Laminação de Tiras a Quente - Saída BQ

© 2008 Antonio Augusto Gorni

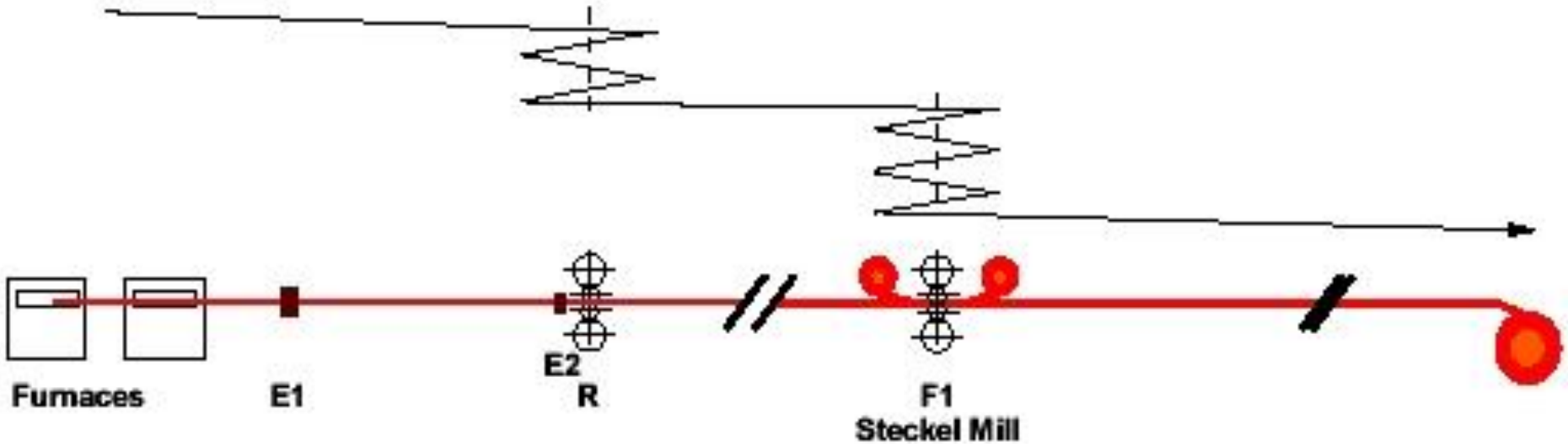
Laminação de Tiras a Quente - Bobinadora

© 2008 Antonio Augusto Gorni

Laminação de Tiras a Quente - Oficina Cilindros

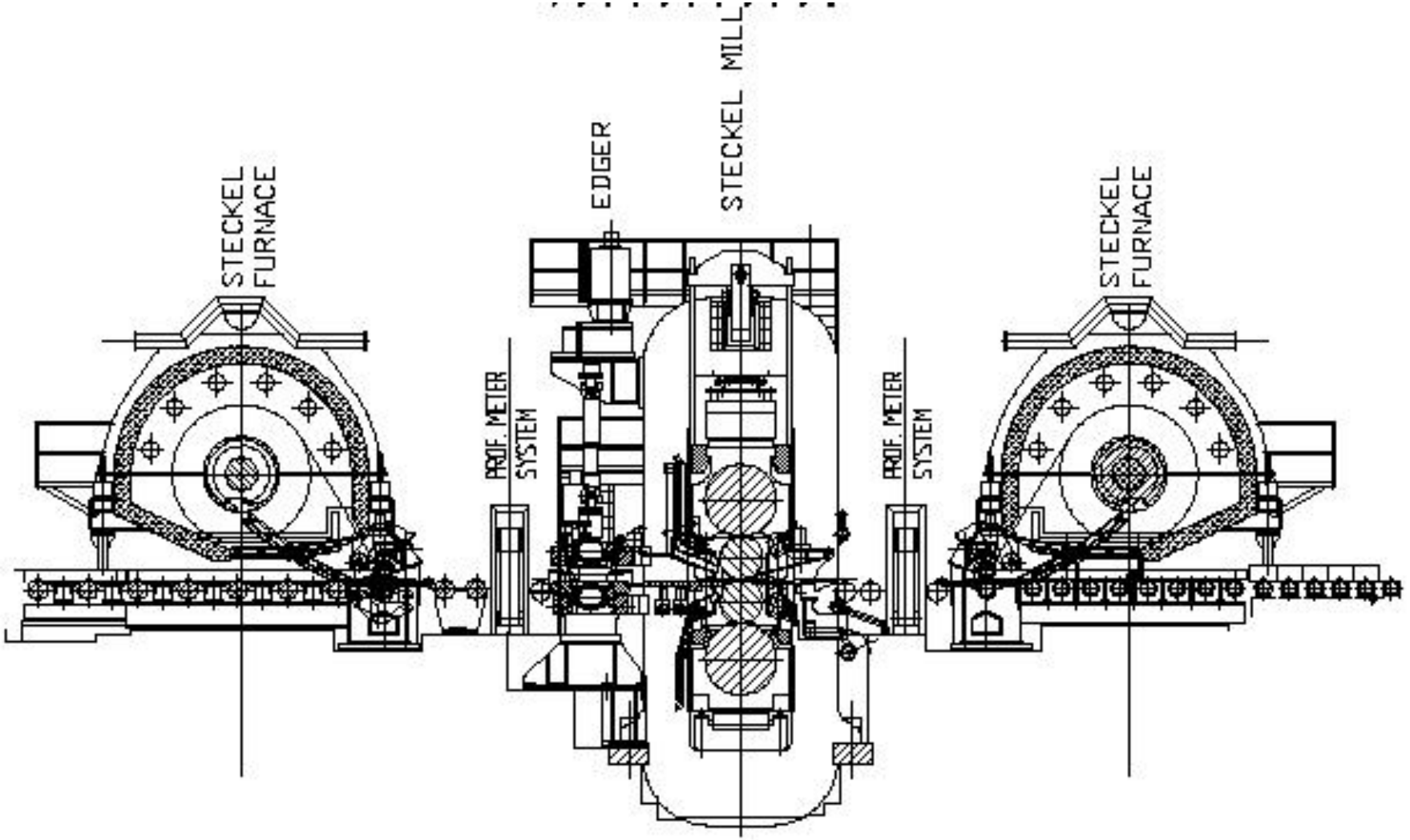
© 2008 Antonio Augusto Gorni

Laminação Steckel



© 2008 Antonio Augusto Gorni

Laminação Steckel



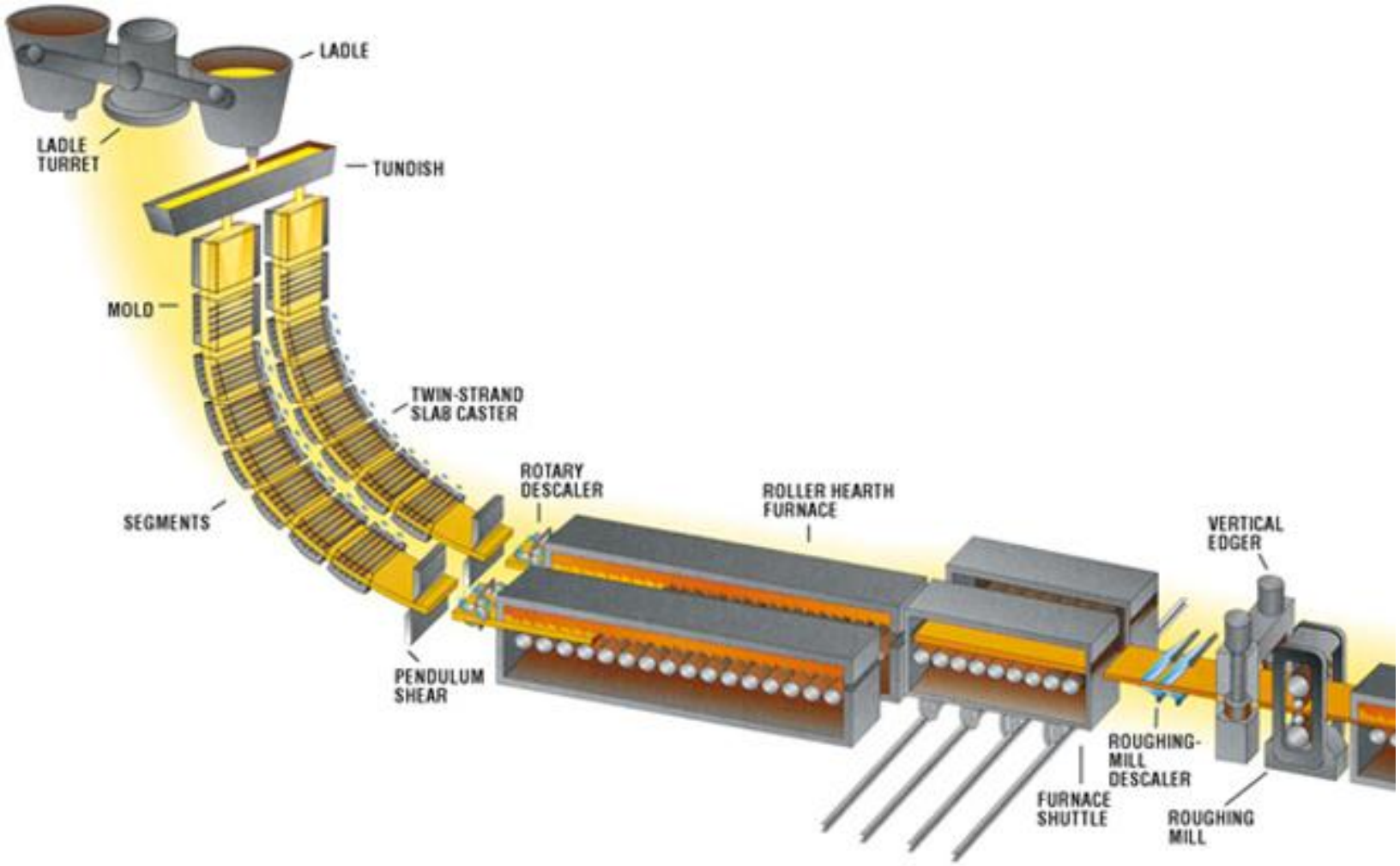
© 2008 Antonio Augusto Gorni

www.gorni.eng.br

Laminação Steckel

© 2008 Antonio Augusto Gorni

C.S.P. - Continuous Strip Processing

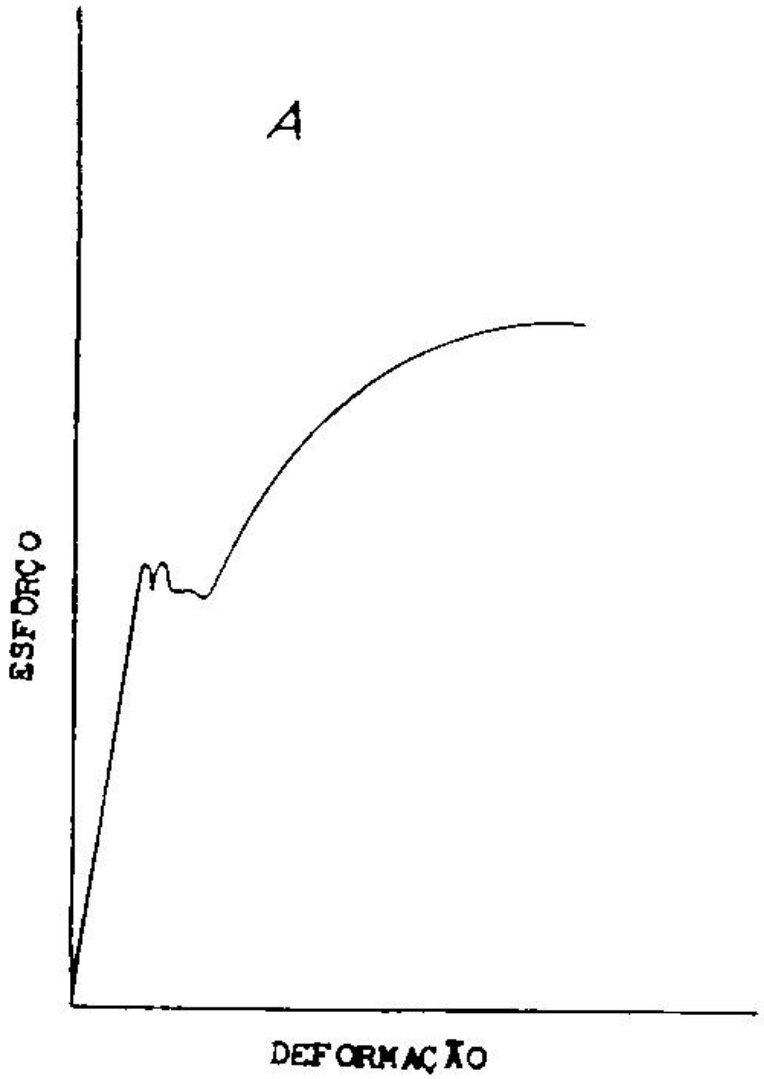


© 2008 Antonio Augusto Gorni

C.S.P. - Continuous Strip Processing

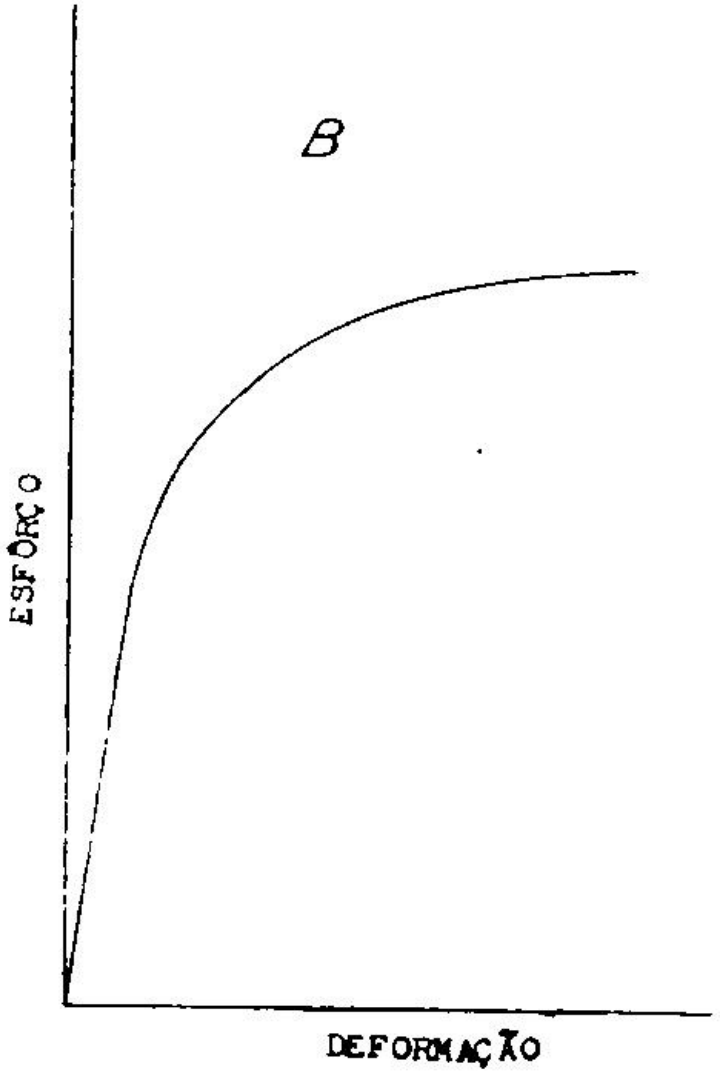
© 2008 Antonio Augusto Gorni

Patamar de Escoamento - Laminado a Quente



© 2008 Antonio Augusto Gorni

Escoamento Contínuo - 1 a 2% Deformação

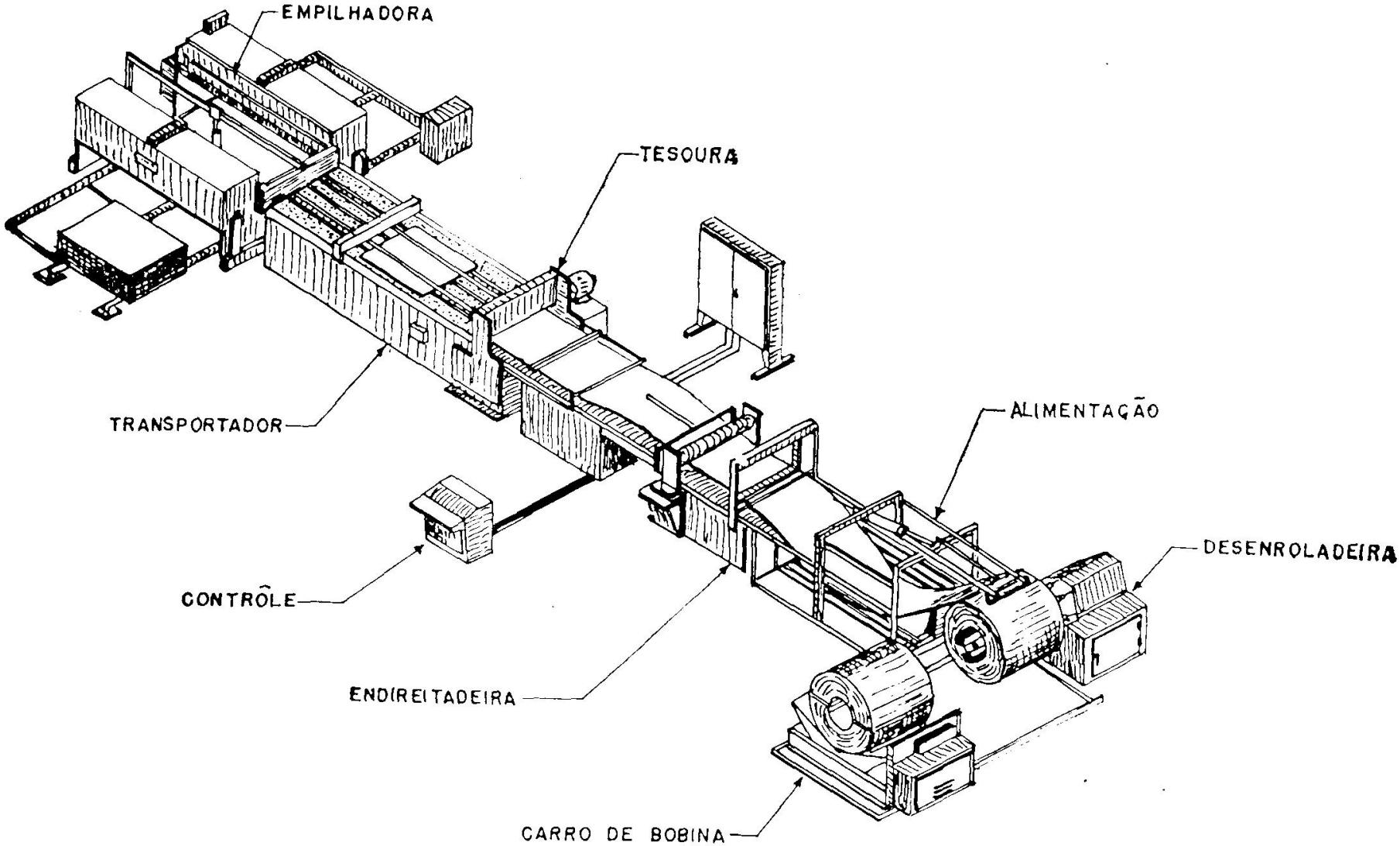


© 2008 Antonio Augusto Gorni

Bobinas a Quente: Laminador de Acabamento

© 2008 Antonio Augusto Gorni

Bobinas a Quente: Linha de Inspeção e Corte

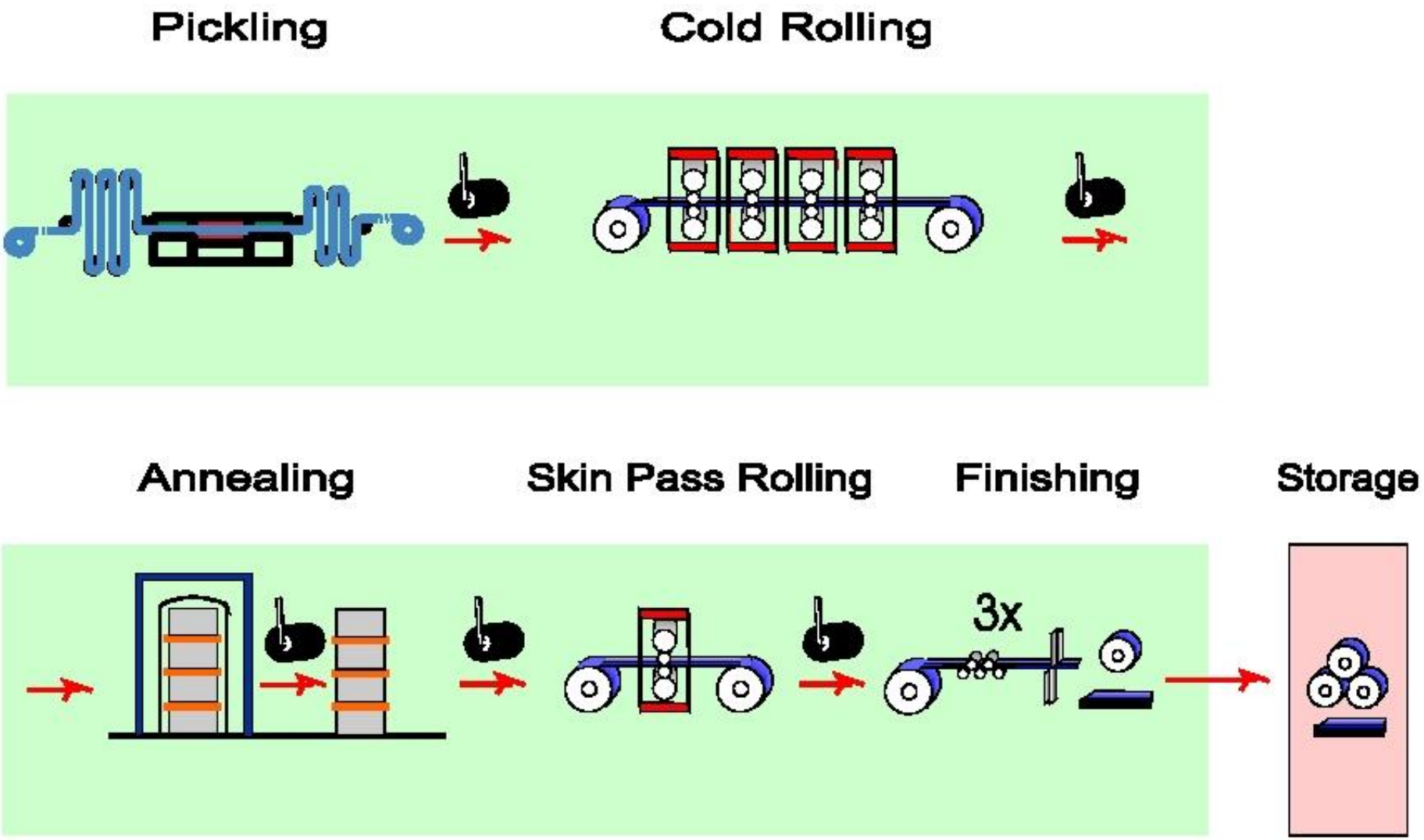


© 2008 Antonio Augusto Gorni

Bobina a Quente/Chapa Fina a Quente

© 2008 Antonio Augusto Gorni

Laminação de Tiras a Frio

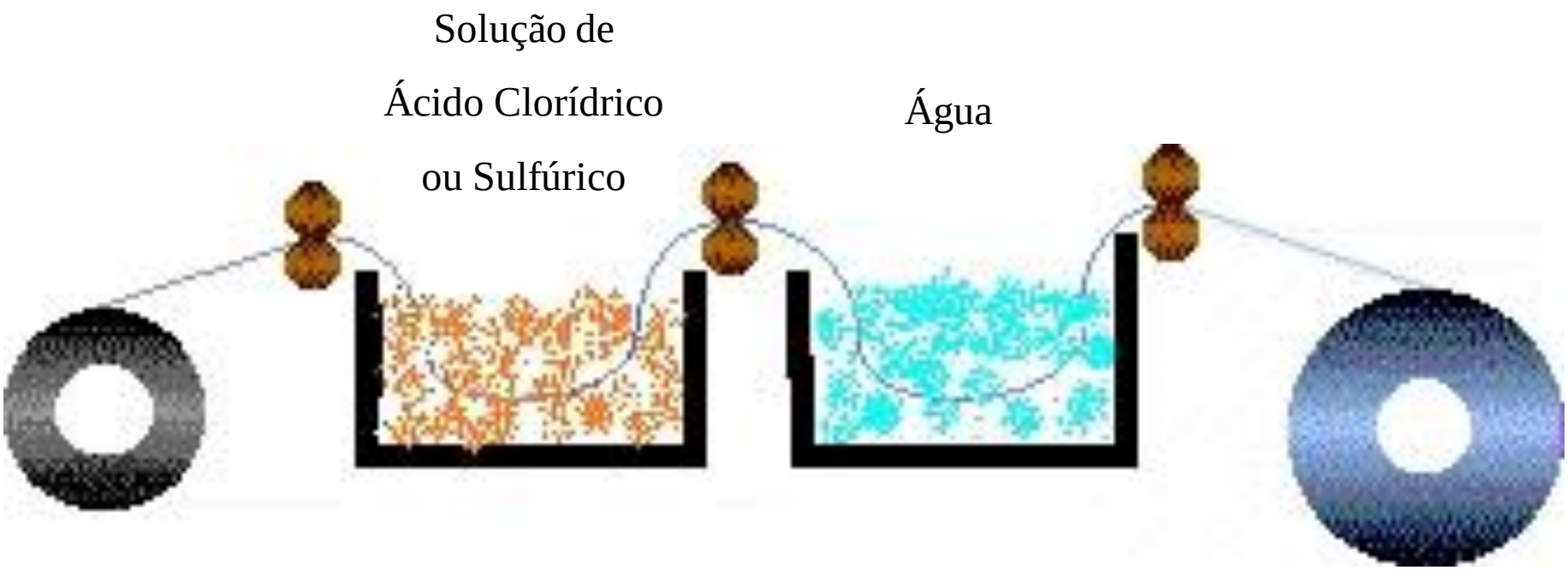


© 2008 Antonio Augusto Gorni

Carepa Superficial dos Laminados a Quente

© 2008 Antonio Augusto Gorni

Decapagem: Remoção da Carepa



© 2008 Antonio Augusto Gorni

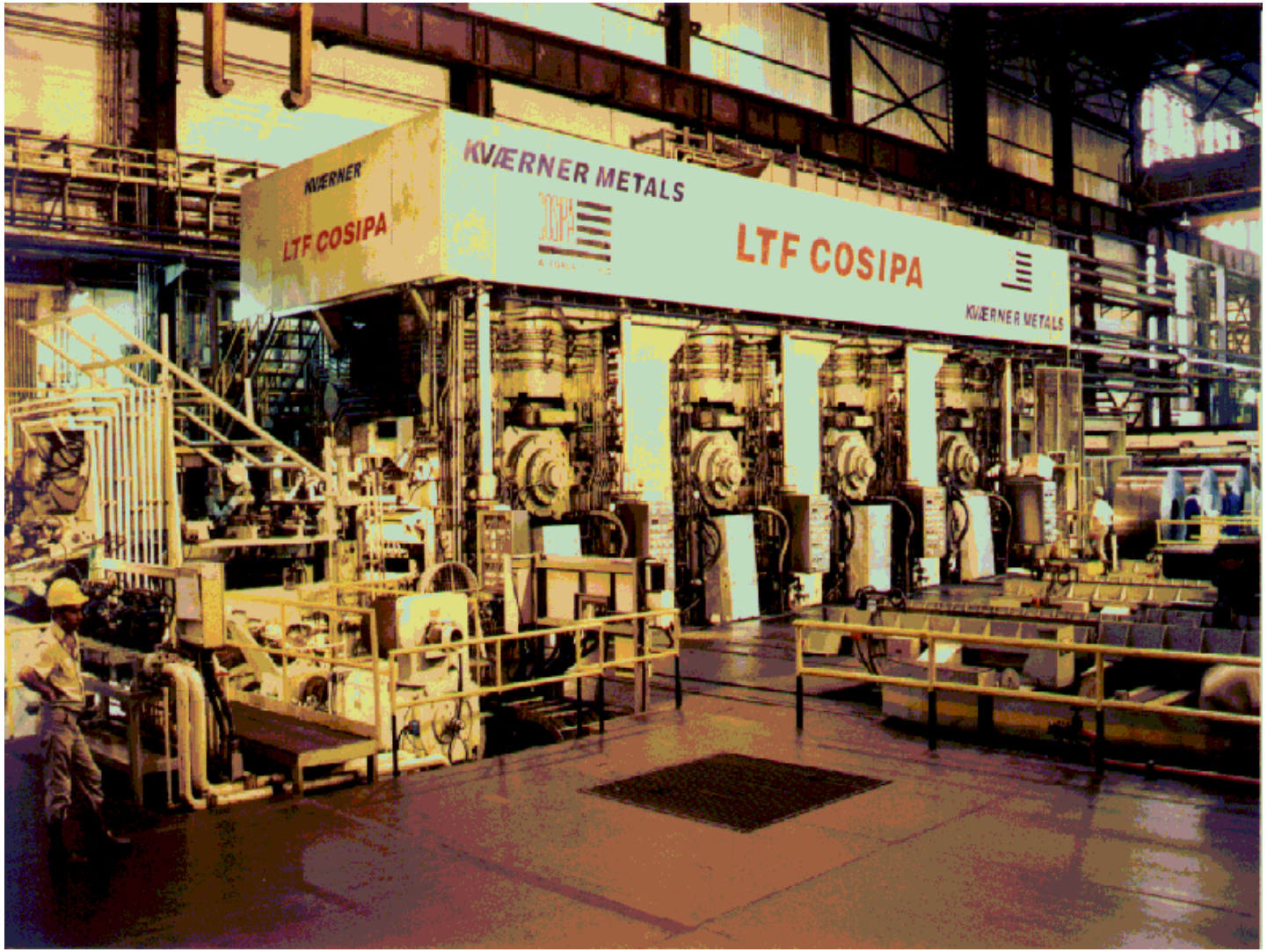
Decapagem

© 2008 Antonio Augusto Gorni

Regeneração de Ácido Clorídrico

© 2008 Antonio Augusto Gorni

Laminação de Tiras a Frio



© 2008 Antonio Augusto Gorni

www.gorni.eng.br

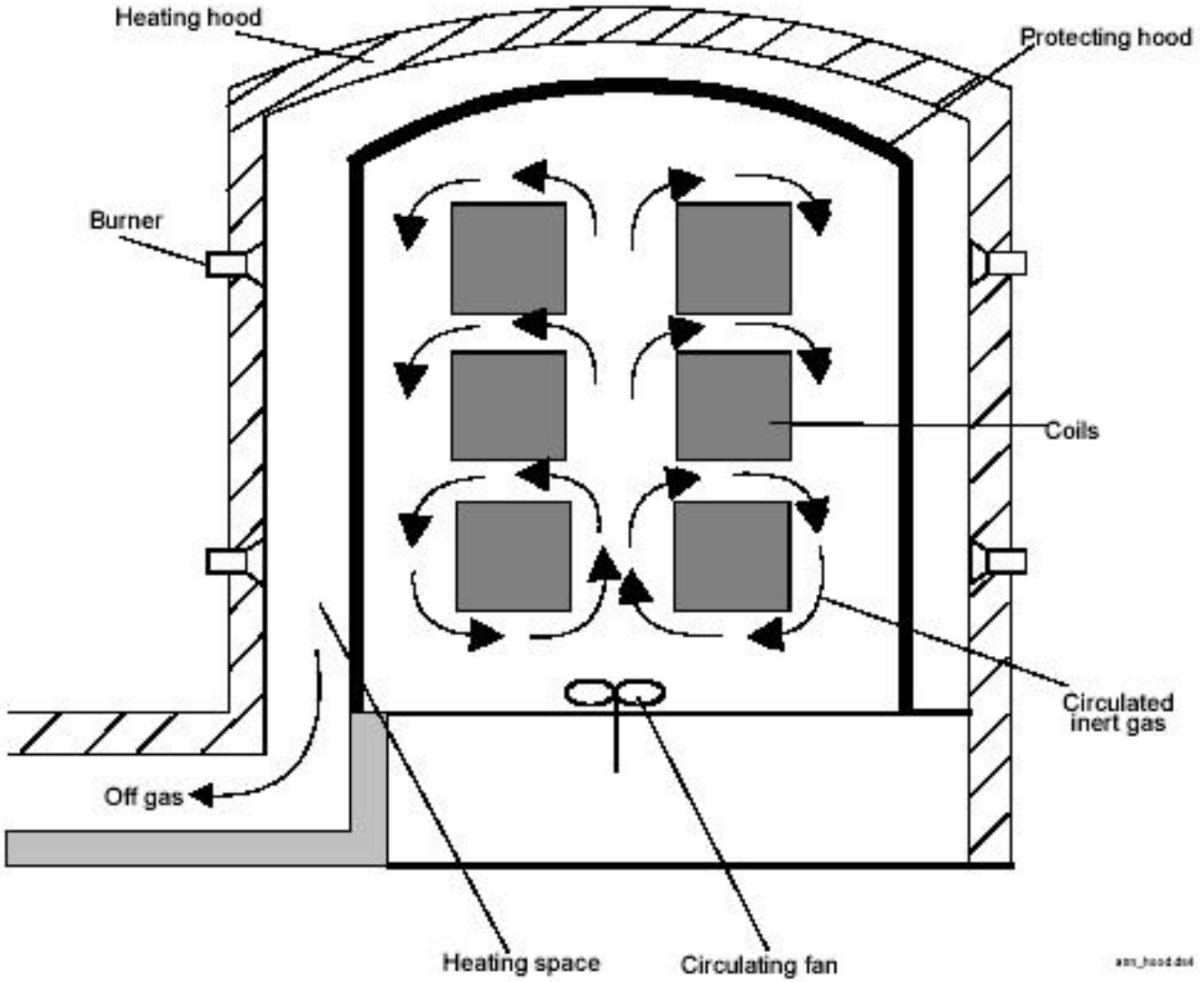
Fornos de Recozimento em Caixa

© 2008 Antonio Augusto Gorni

Fornos de Recozimento em Caixa

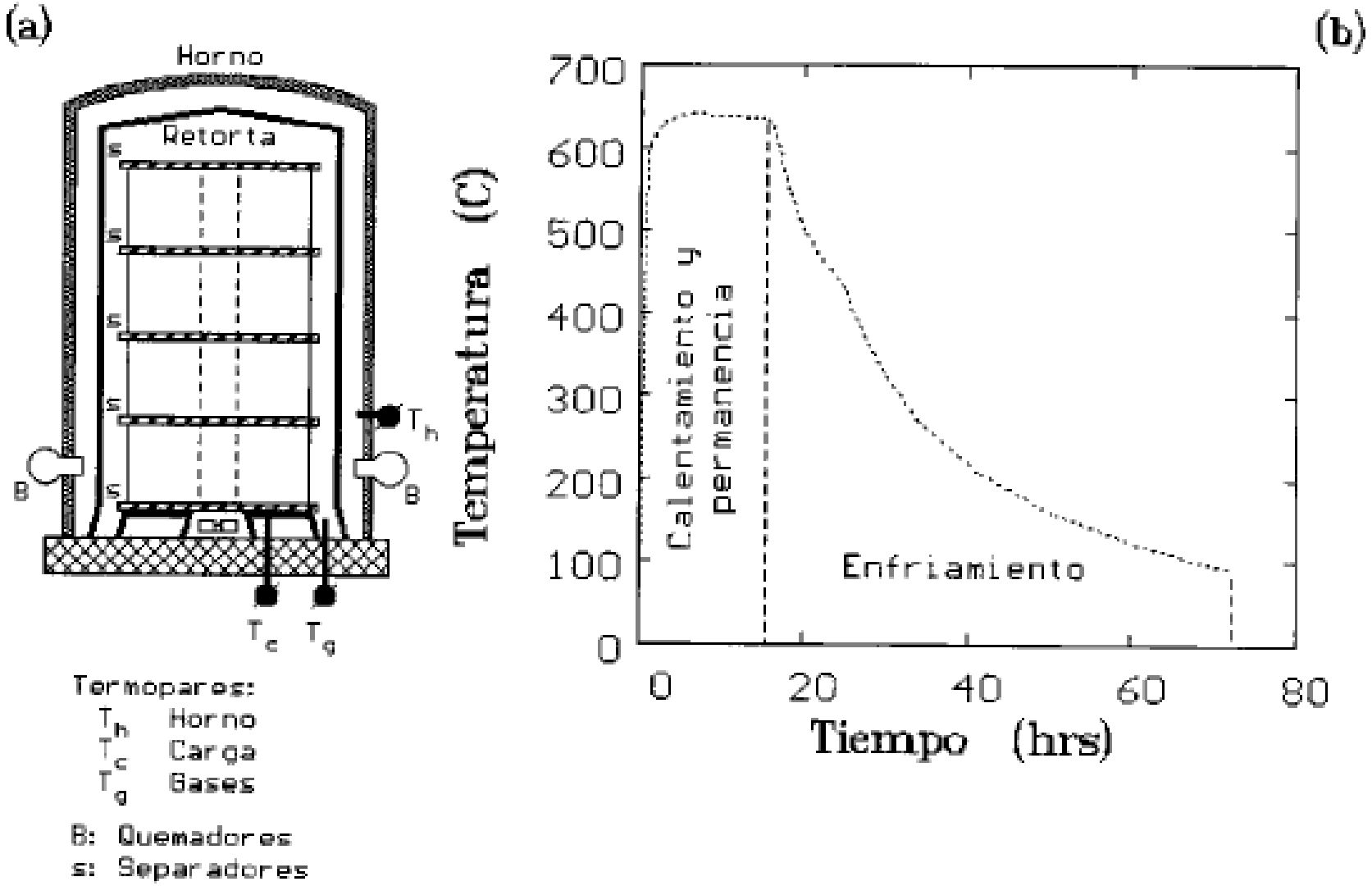
© 2008 Antonio Augusto Gorni

Fornos de Recozimento em Caixa



© 2008 Antonio Augusto Gorni

Fornos de Recozimento em Caixa

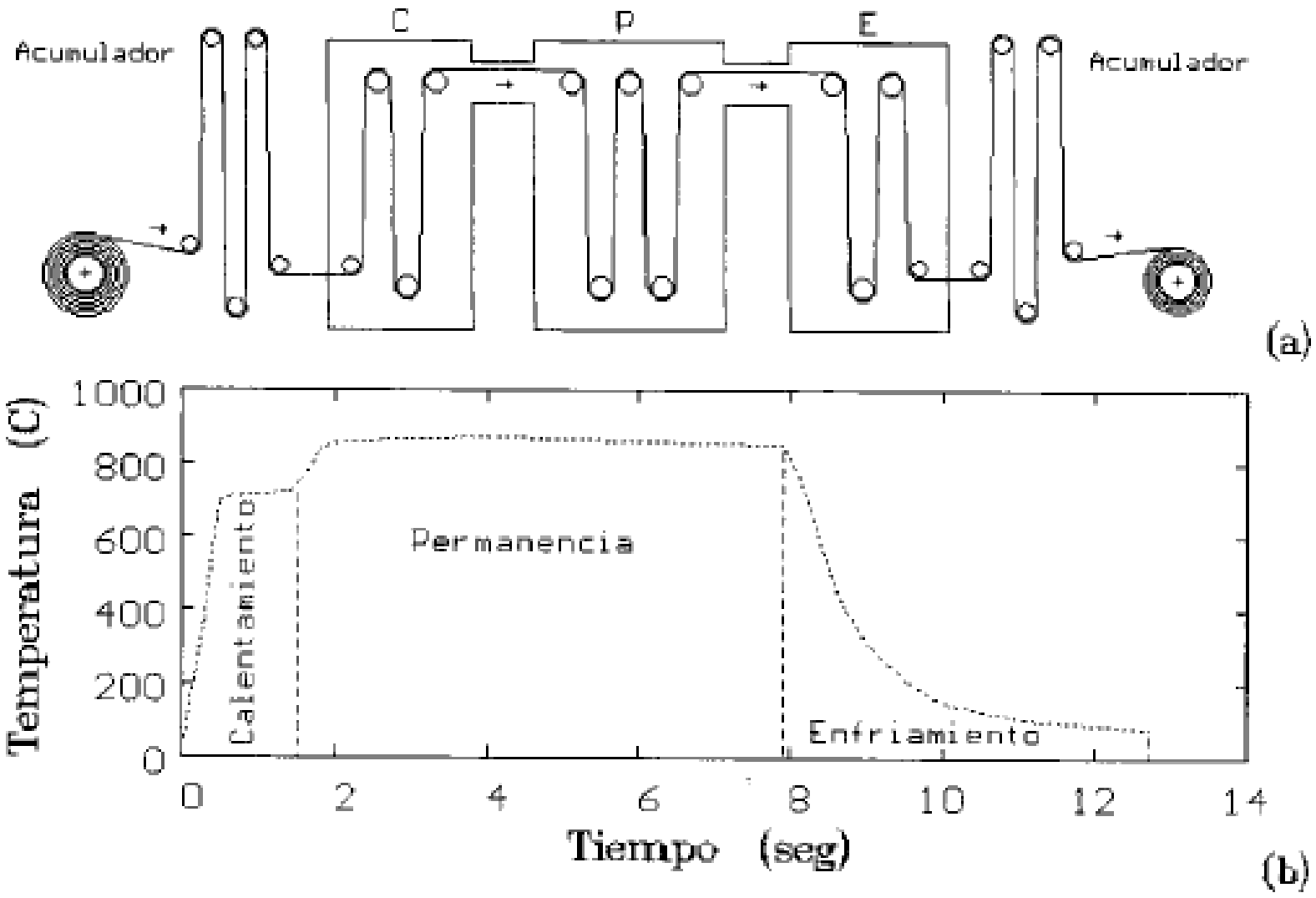


© 2008 Antonio Augusto Gorni

Linha de Recozimento Contínuo

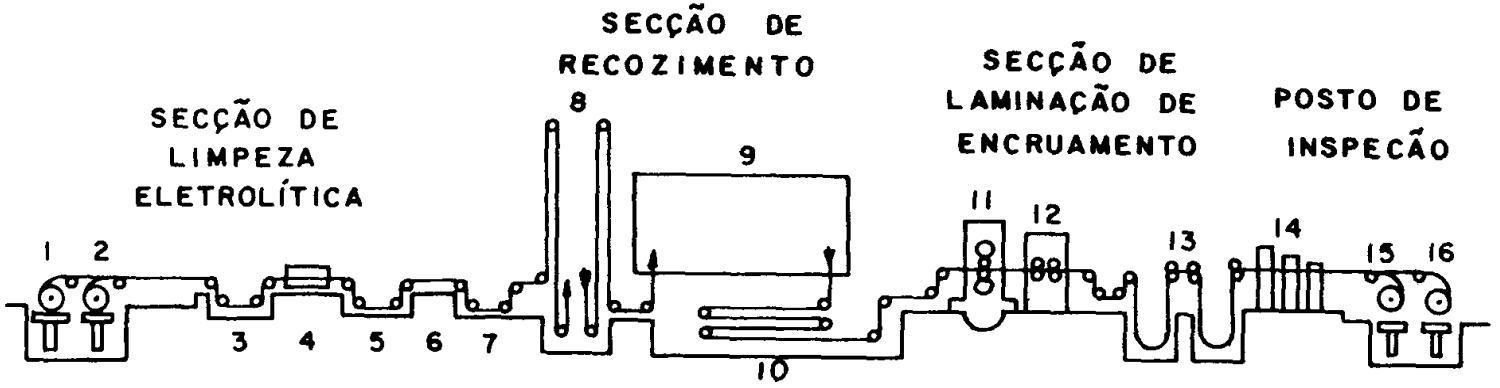
© 2008 Antonio Augusto Gorni

Linha de Recozimento Contínuo



© 2008 Antonio Augusto Gorni

Linha de Recozimento Contínuo



1, 2 = BOBINAS DE ALIMENTAÇÃO

3 = TANQUE DE SODA CÁUSTICA

4 = LAVADOR DE ESCOVA nº 1

5 = TANQUE ELETROLÍTICO

6 = LAVADOR DE ESCOVA nº 2

7 = TANQUE DE LAVAGEM

8 = TORRE DE DESENROLAR

9 = FORNO

10 = CARRO DE DESENROLAR

11 = LAMINADOR DE ENCRUAMENTO

12 = DESEMPENADEIRA

13 = APARADEIRA LATERAL

14 = OLEADEIRA

15 = BOBINADORAS

© 2008 Antonio Augusto Gorni

Revestimento Superficial - Galvanização

© 2008 Antonio Augusto Gorni

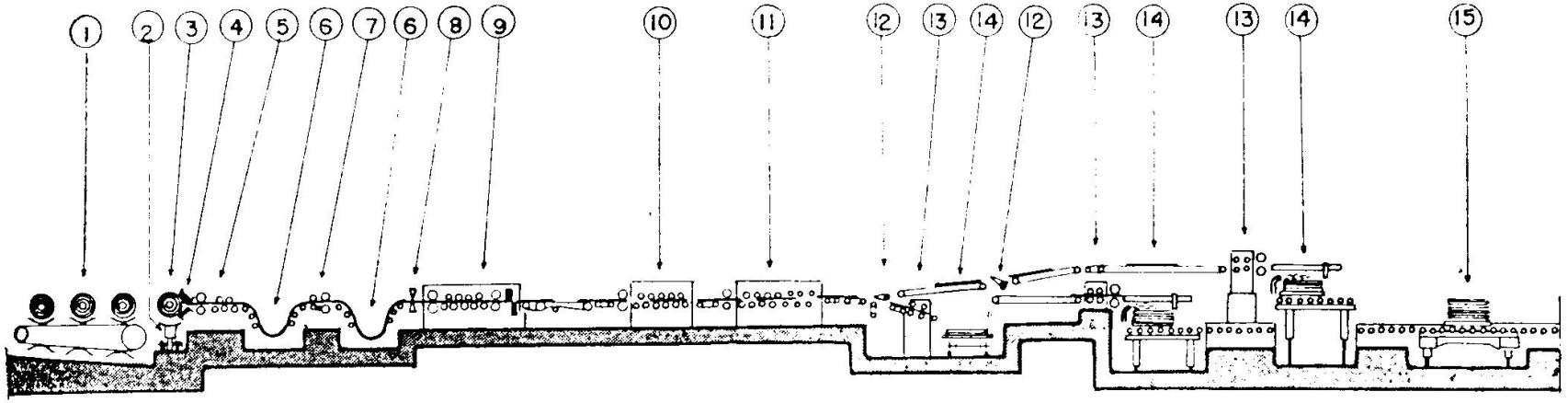
Laminador de Encruamento

© 2008 Antonio Augusto Gorni

Laminador de Encruamento

© 2008 Antonio Augusto Gorni

Linhas de Inspeção, Desempeno e Corte



1. Transportadora
2. Elevador de bobina
3. Desenroladeira
4. Alimentador
5. Roletes de empuxo
6. Poço de acumulação
7. Tesoura
8. Medidor de espessura
9. Tesoura volante
10. Aplainadora pesada
11. Aplainadora leve
12. Desviador
13. Oleamento
14. Empilhador
15. Balança

© 2008 Antonio Augusto Gorni

Bobinas Finas a Frio

© 2008 Antonio Augusto Gorni

Bobinas Finas a Frio - Embalagem

© 2008 Antonio Augusto Gorni

www.gorni.eng.br

ABM

Chapas Finas a Frio - Fardos

© 2008 Antonio Augusto Gorni

PRODUTOS NÃO-PLANOS

© 2008 Antonio Augusto Gorni

Tipos de Produtos Acabados Não-Planos

- **Fio-Máquina:** produto intermediário de seção circular usado na fabricação de arames, fios, rebites, pinos, etc., geralmente fornecido na forma de rolos.
- **Barra:** laminado com seção transversal constante e com forma geométrica simples (quadrada, retangular, oval, sextavada...).
- **Vergalhão:** barra redonda laminada a quente com amplas tolerâncias dimensionais e de qualidade superficial, sendo geralmente usada para reforço de concreto armado.
- **Tubo Sem Costura**: produto oco de seção constante e parede uniforme.

© 2008 Antonio Augusto Gorni

Tipos de Produtos Acabados Não-Planos

- **Perfil:** laminado com seção transversal de forma geométrica simples ou composta de formas geométricas simples.
  - Perfil Leve: dimensões nominais menores que 80 mm
  - Perfil Médio: dimensões nominais entre 80 e 200 mm
  - Perfil Pesado: dimensões nominais acima de 200 mm
- **Viga:** perfil com seção transversal em forma de H, I, U...
- **Trilho:** perfil com seção transversal especial usado como pista para rolamento de veículos ferroviários.

© 2008 Antonio Augusto Gorni

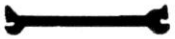
ABM

Tipos de Produtos Não-Planos

TIPO DE PRODUTO	DESIGNAÇÃO DO TIPO DE PRODUTO	DESENHO REPRESENTATIVO	NORMA DE PADRONIZAÇÃO (ABNT)
PERFIS COMUNS	HPL		PB - 572 PERFIL H DE ABAS PARALELAS
	HPM		
	HPP		
	IP		PB - 573 PERFIL I DE ABAS PARALELAS
	I		PB - 125 PERFIL I DE ABAS INCLINADAS
	L (CAI)		PB - 128 CANTONEIRAS DE ABAS IGUAIS
	L (CAD)		PB - 129 CANTONEIRAS DE ABAS DESIGUAIS
	L (CAED)		PB - 575 CANTONEIRAS DE ABAS E ESPESSURAS DESIGUAIS
	T		(ESTÁ EM FASE DE PROJETO NA ABNT) PERFIL T
	U		PB - 127 PERFIL U DE ABAS INCLINADAS

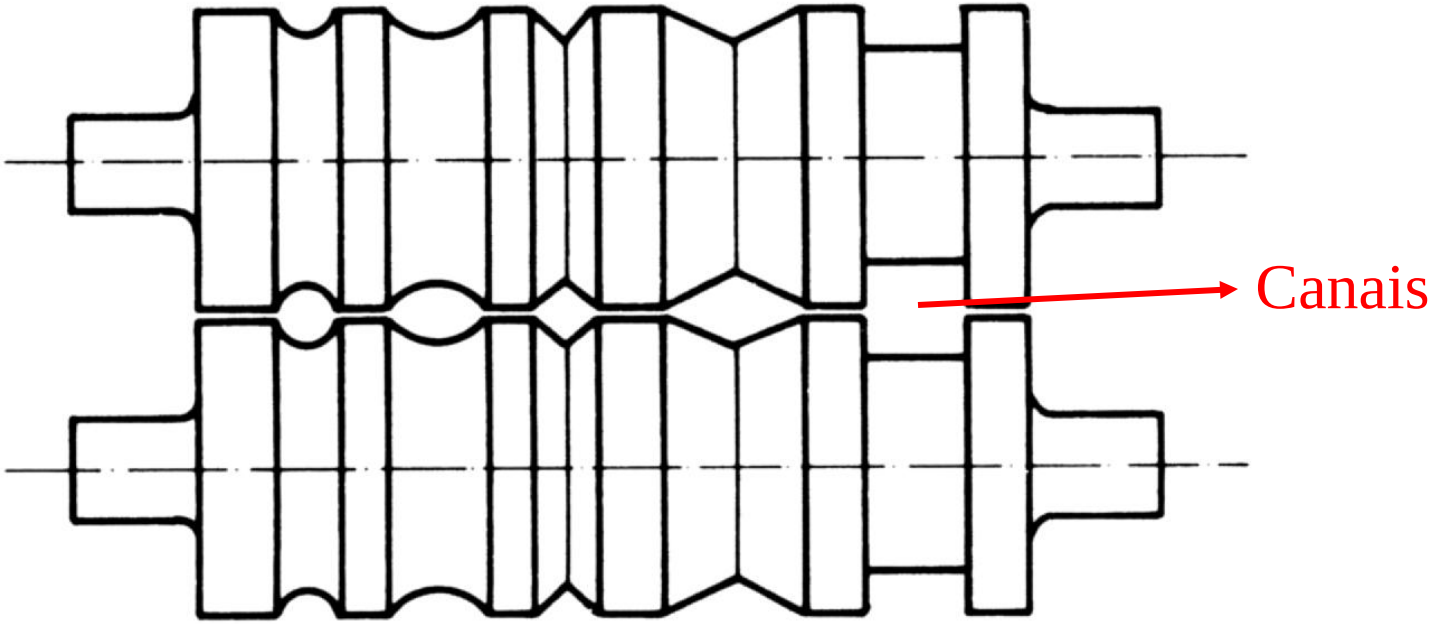
© 2008 Antonio Augusto Gorni

Tipos de Produtos Não-Planos

TIPO DE PRODUTO	DESIGNAÇÃO DO TIPO DE PRODUTO	DESENHO REPRESENTATIVO	NORMA DE PADRONIZAÇÃO (ABNT)
BARRAS	Ø (RED)		PB-63 BARRA REDONDA
	□ (QUAD)		PB-62 BARRA QUADRADA
	▭		PB-320 BARRA CHATA
	⬡		PB-61 BARRA SEXTAVADA
TRILHOS	TR		PB-12 TRILHO
PERFIS ESPECIAIS	ER		(AINDA NÃO NORMALIZADO) ESTACA PRANCHA TIPO RETA
	EU		(AINDA NÃO NORMALIZADO) ESTACA PRANCHA TIPO U
	GUIA DE ELEVADOR		----------
	TJ		PB-598 TALA DE JUNÇÃO
	PA		PB-256 PLACA DE APOIO

© 2008 Antonio Augusto Gorni

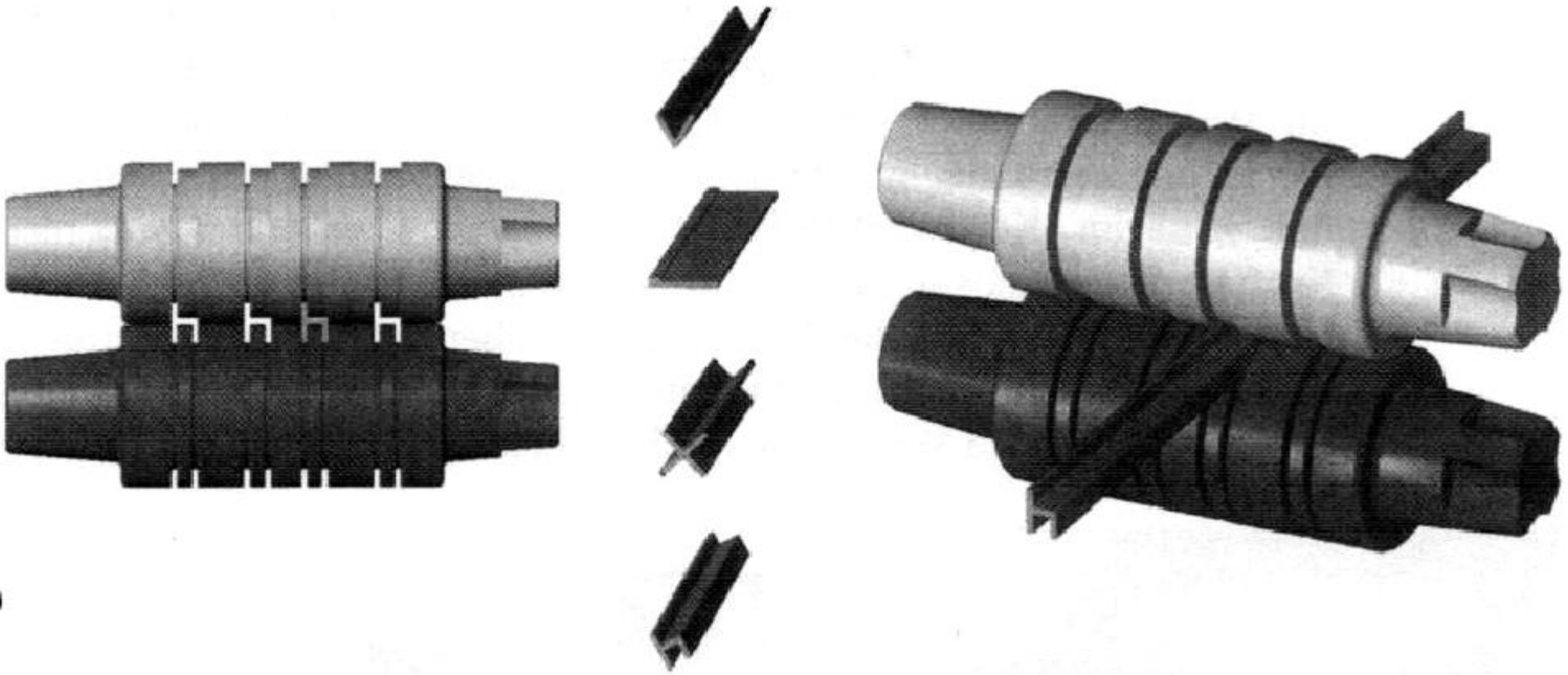
Laminação de Não-Planos



Nos laminadores de produtos não-planos a **distância entre os cilindros** de laminação é fixa. Os passes são definidos pela **variação do diâmetro** ao longo do comprimento da mesa dos cilindros. O processo é sempre **a quente**.

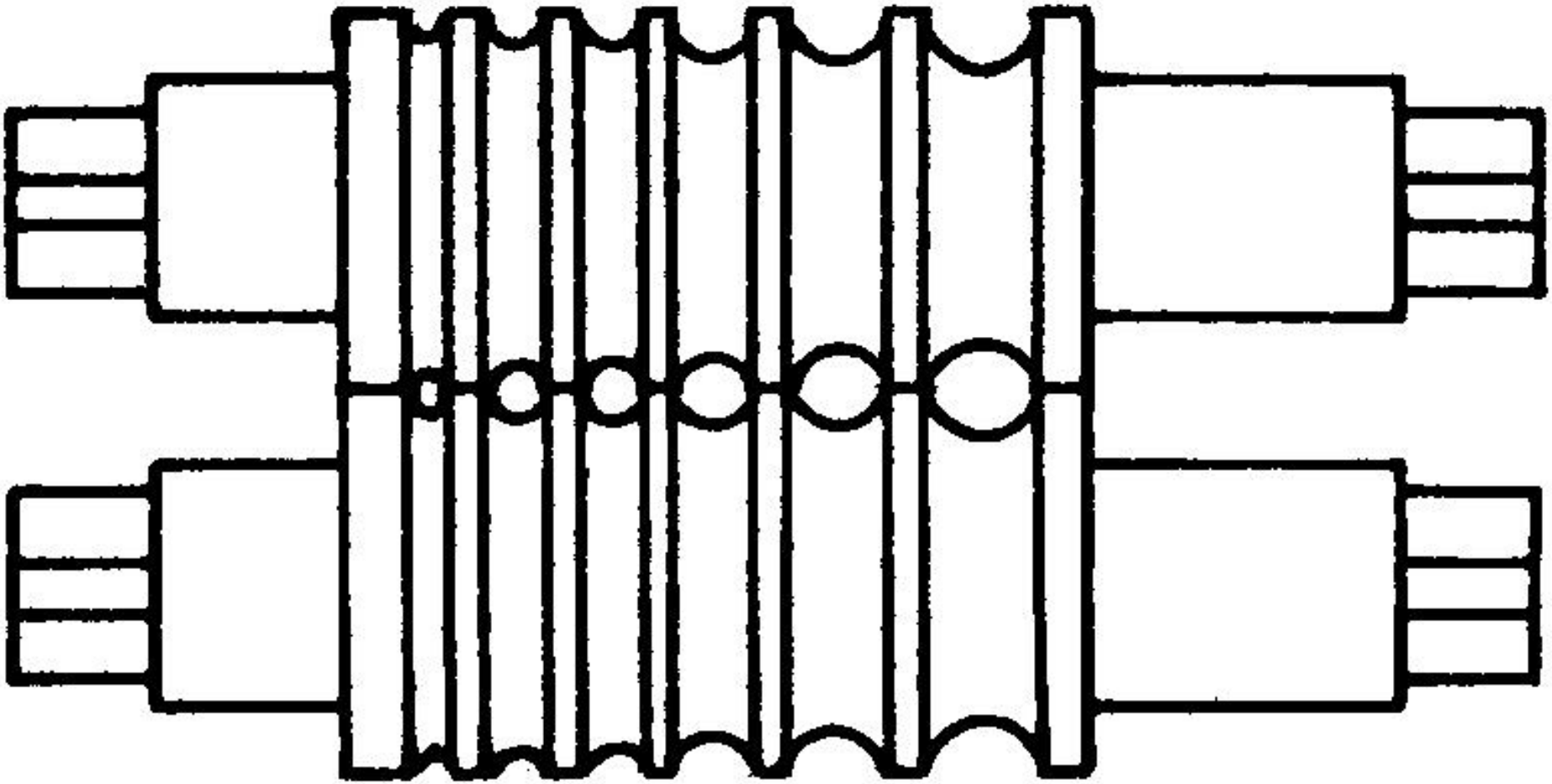
© 2008 Antonio Augusto Gorni

Laminação de Não-Planos



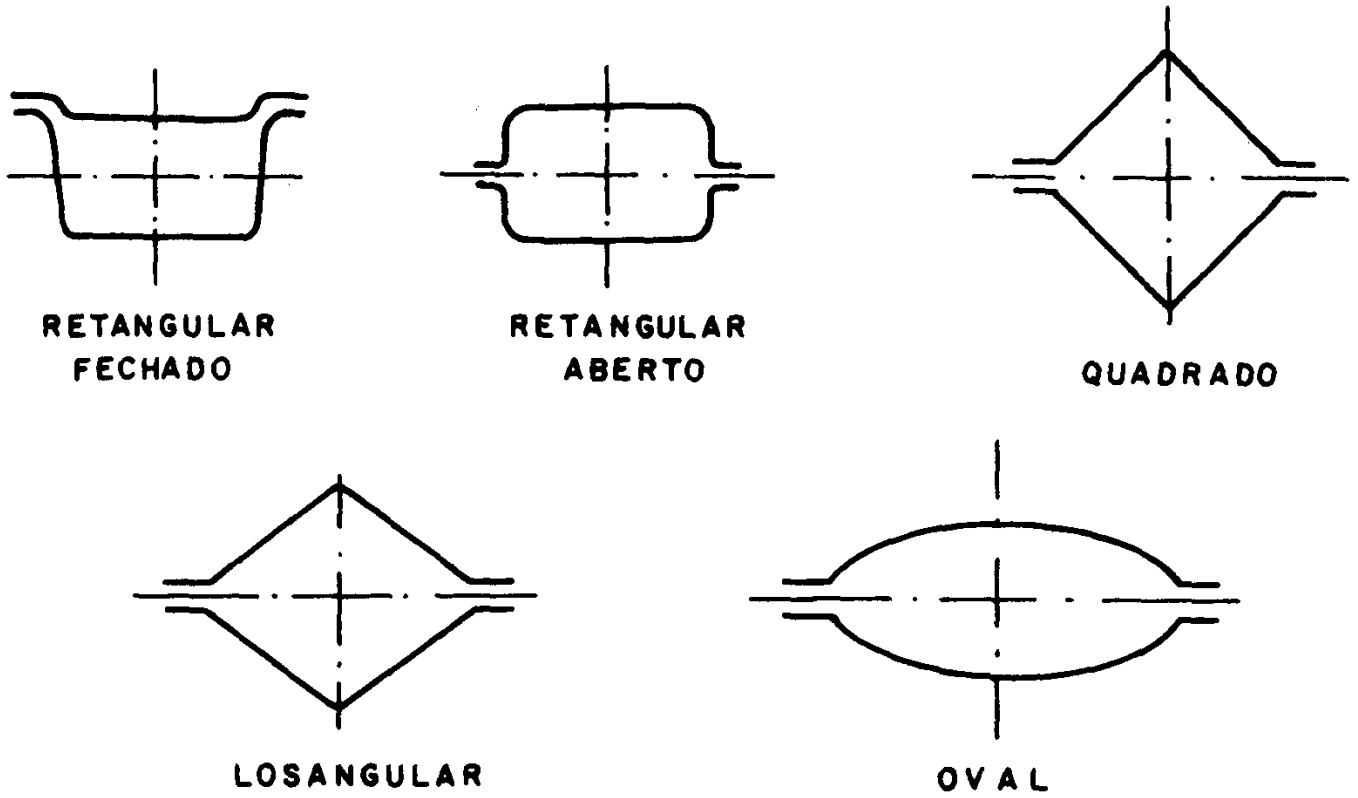
© 2008 Antonio Augusto Gorni

Laminação de Fios/Barras



© 2008 Antonio Augusto Gorni

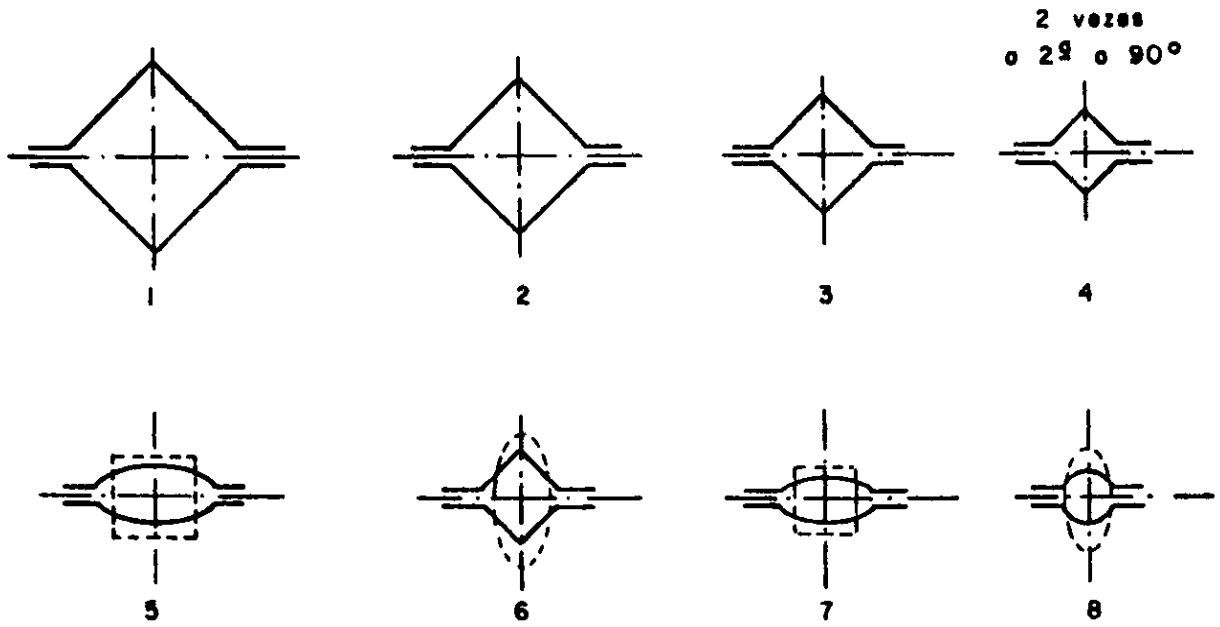
Laminação de Não-Planos



Geometrias de canais para passes de desbaste na laminação de barras

© 2008 Antonio Augusto Gorni

Laminação de Não-Planos



1 - 4 = PASSES DE DESBASTE LOSANGULARES

5 - 6 = PASSES FORMADORES OVAL - QUADRADO

7 = PASSE LÍDER OVAL

8 = PASSE DE ACABAMENTO REDONDO

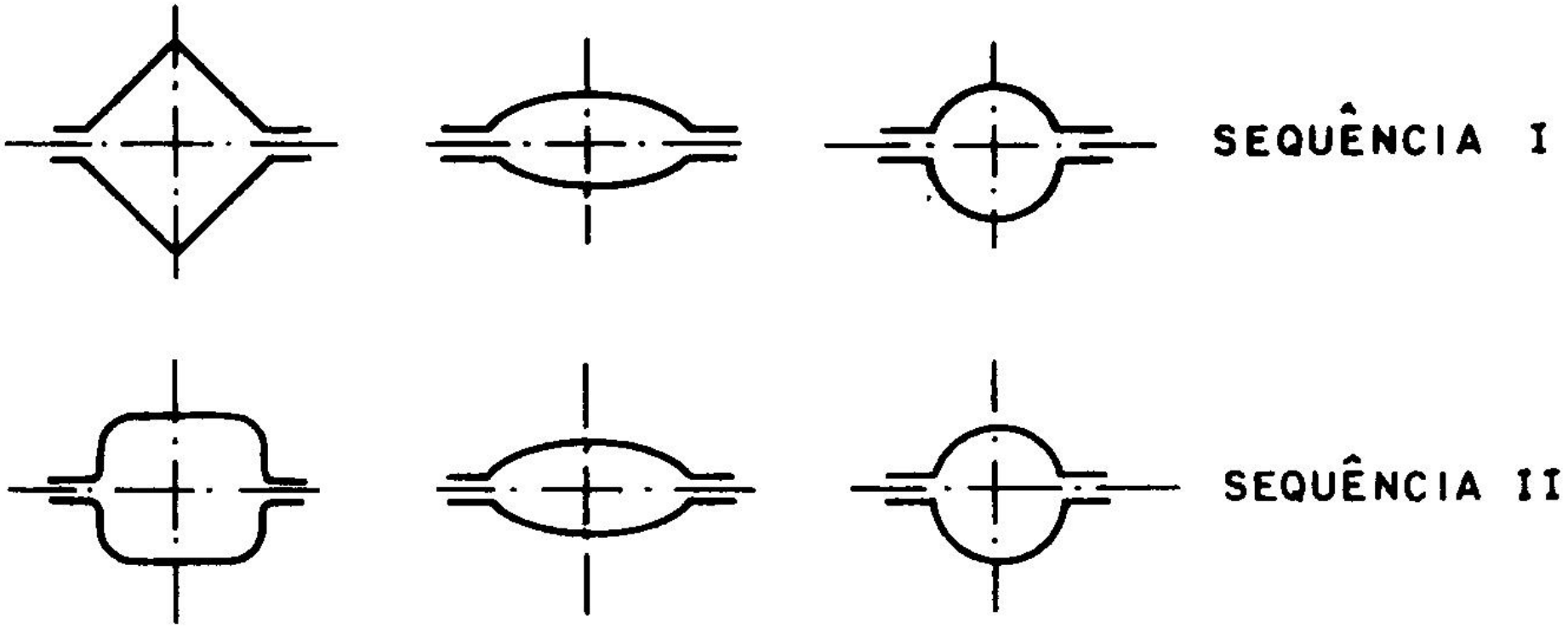
Esquema de Passes para Barra Circular

© 2008 Antonio Augusto Gorni

www.gorni.eng.br

ABM

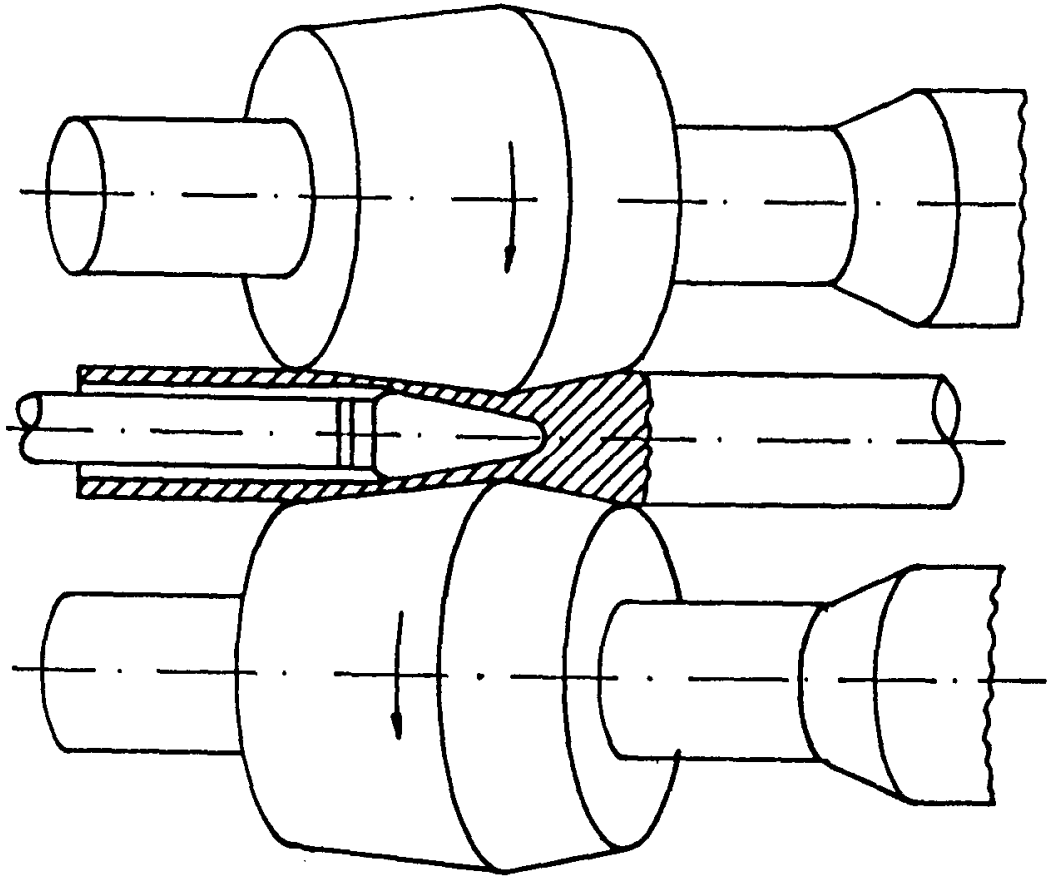
Laminação de Não-Planos



Esquema de Passes para Barra Circular

© 2008 Antonio Augusto Gorni

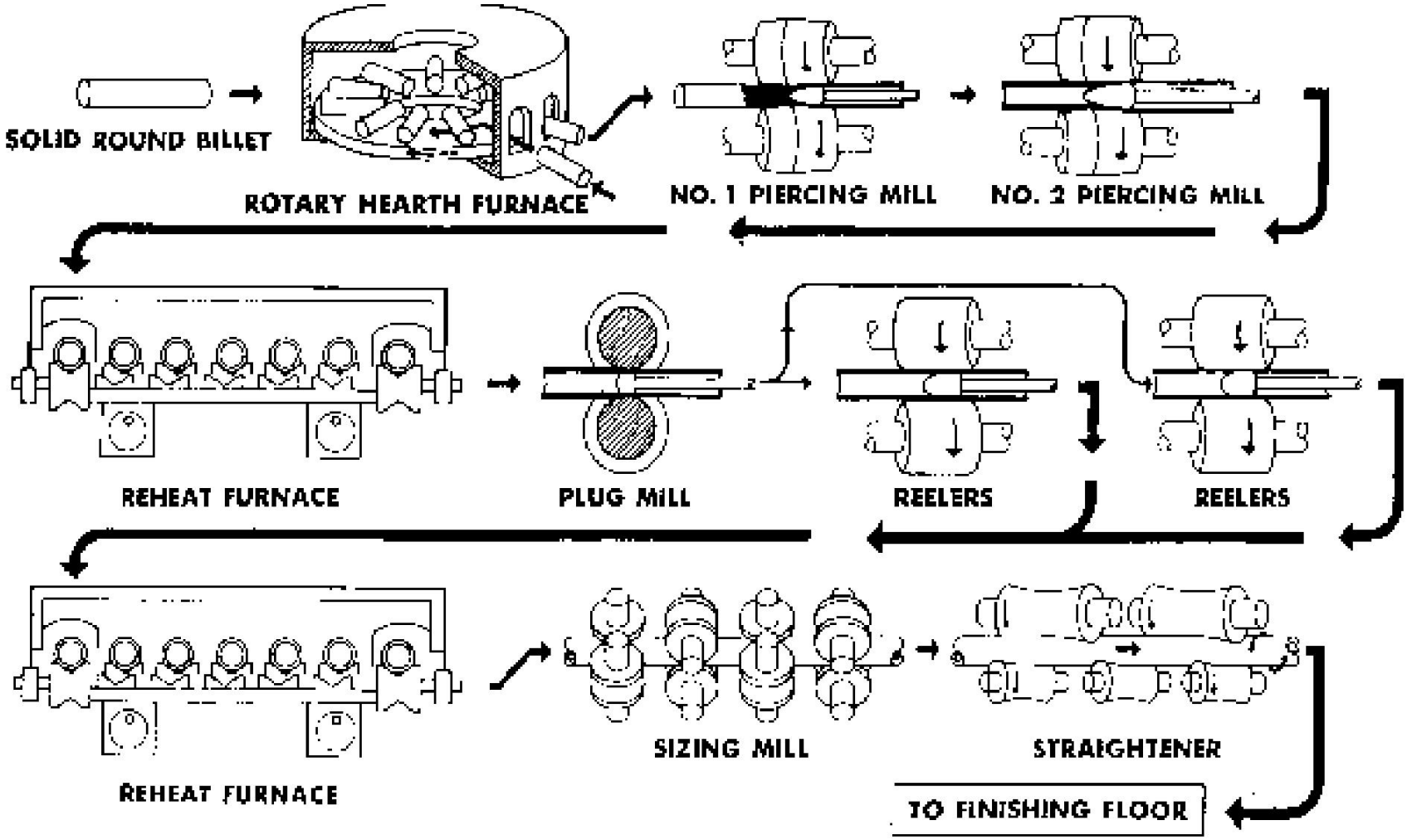
Processos Especiais de Laminação



Laminador Mannesmann para Tubos Sem Costura

© 2008 Antonio Augusto Gorni

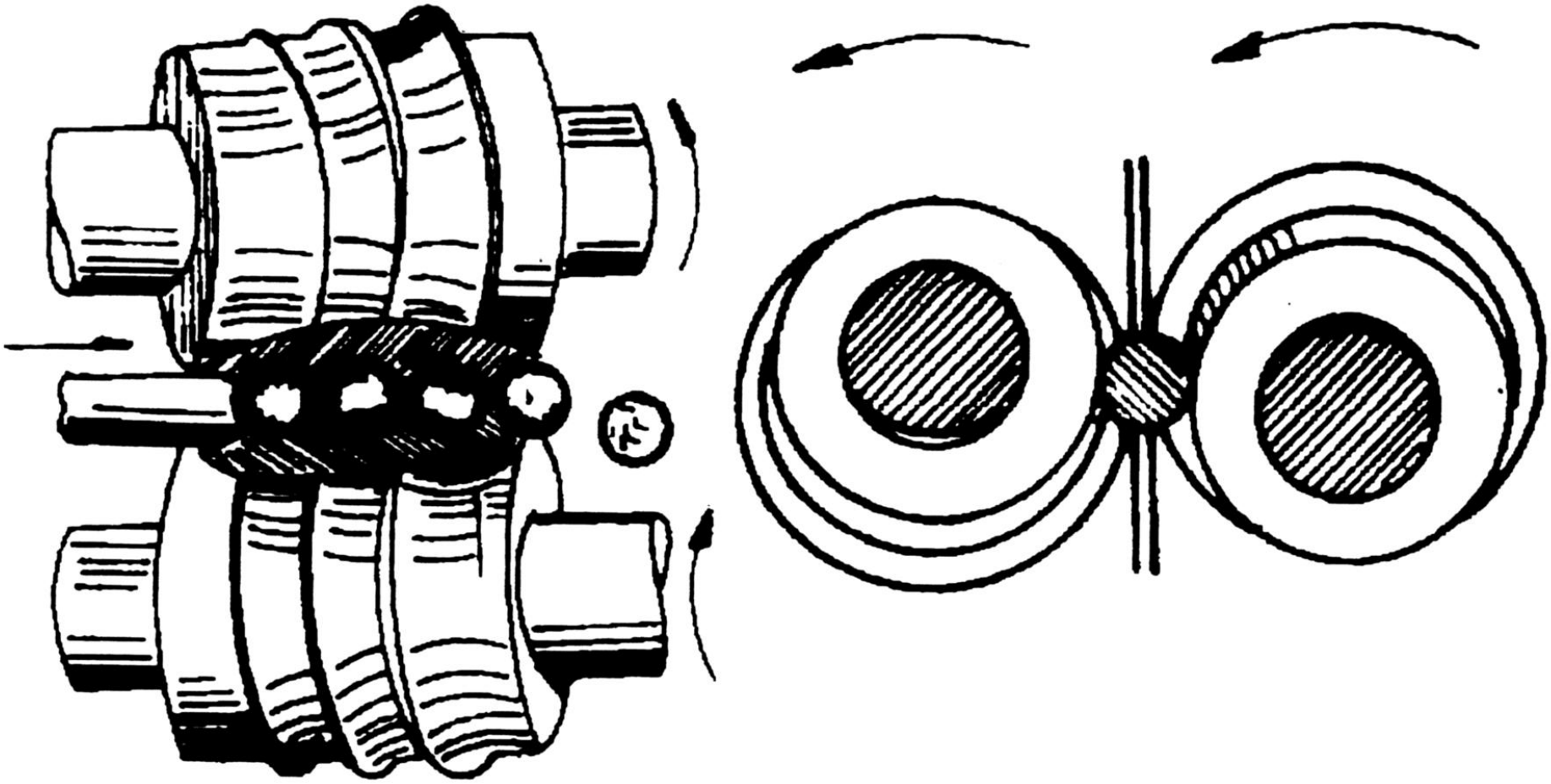
Processos Especiais de Laminação



Laminador Mannesmann para Tubos Sem Costura

© 2008 Antonio Augusto Gorni

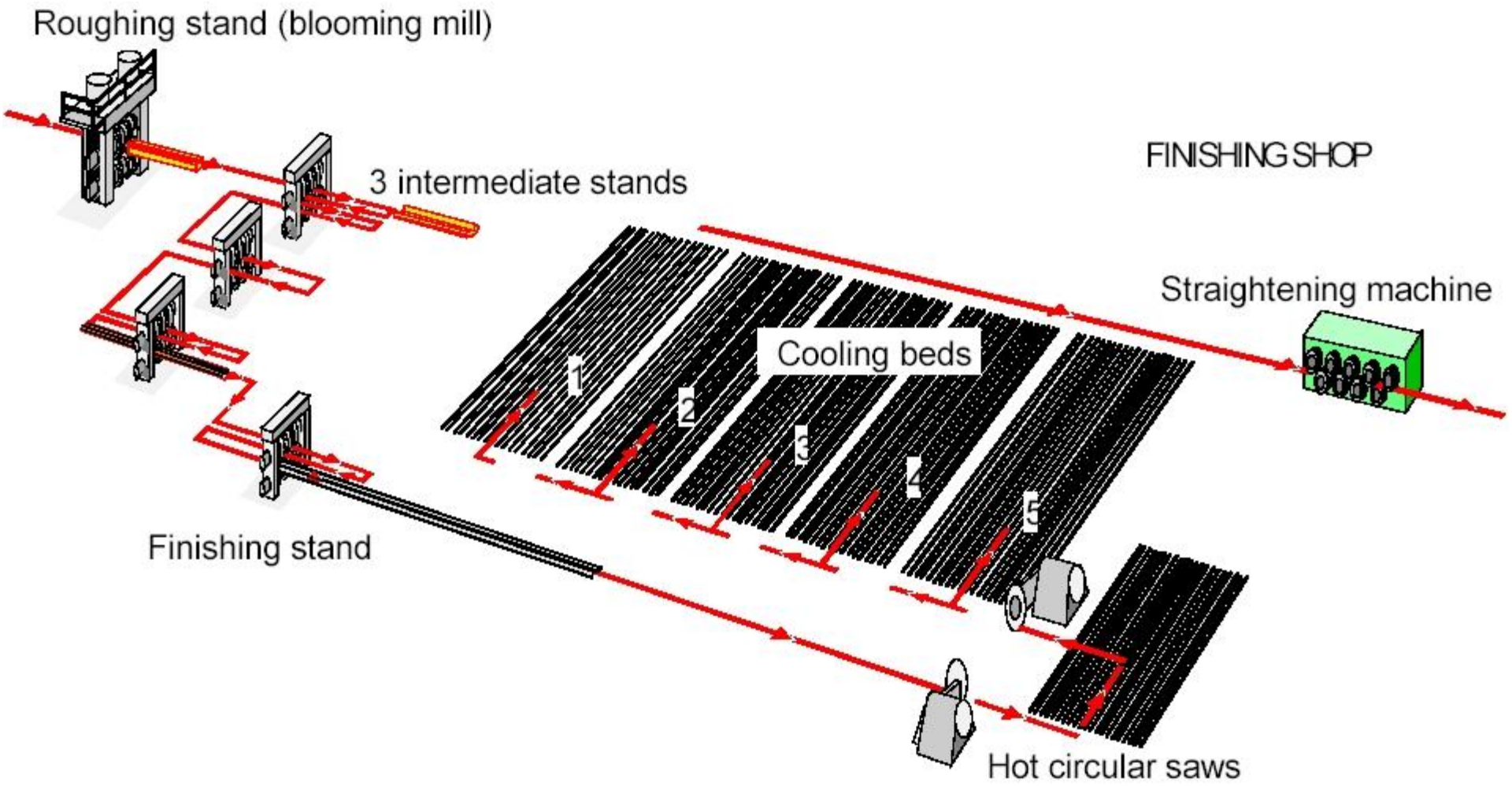
Processos Especiais de Laminação



Laminador de Esferas

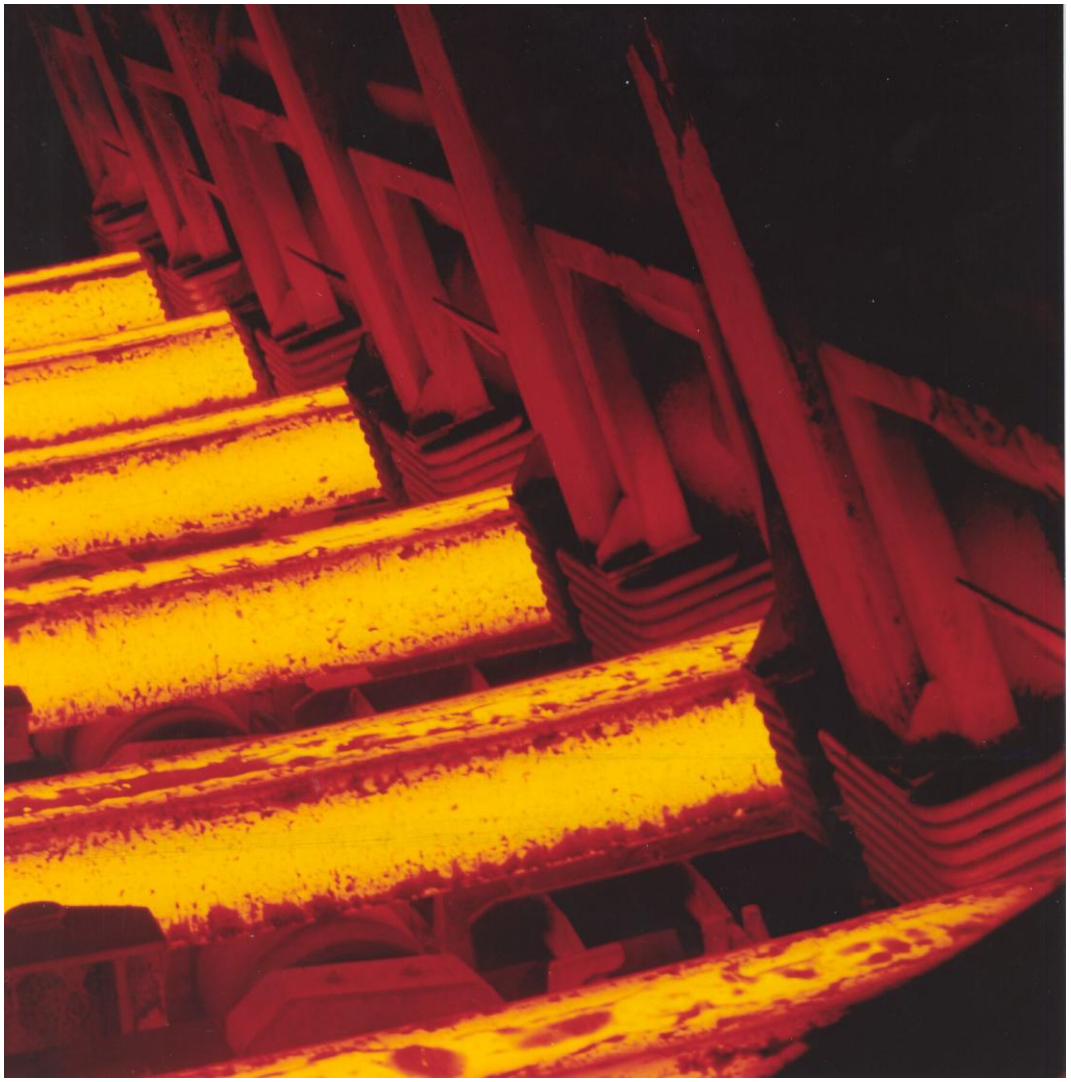
© 2008 Antonio Augusto Gorni

Não-Planos - Laminação de Barras



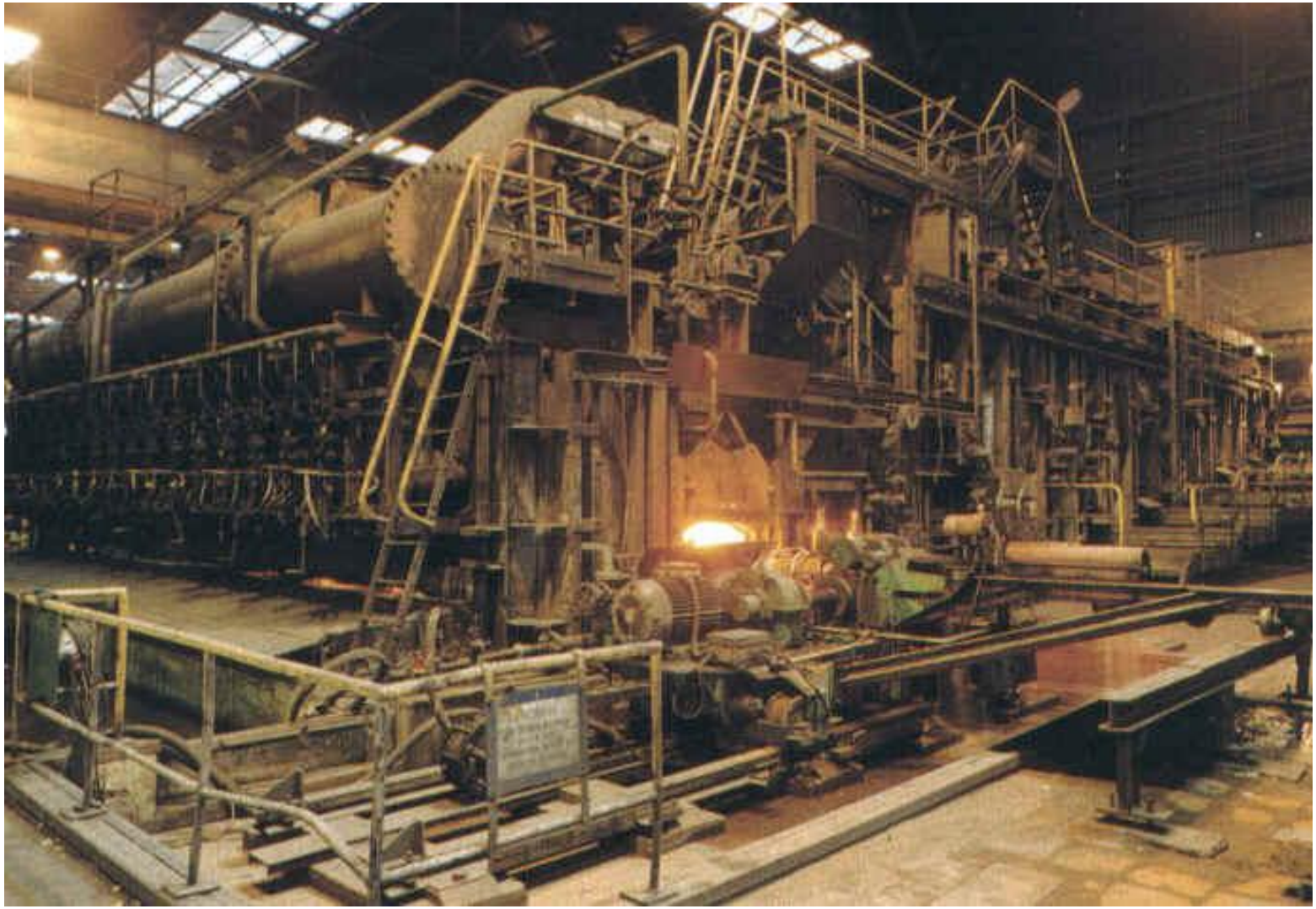
© 2008 Antonio Augusto Gorni

Não-Planos - Lingotamento de Tarugos



© 2008 Antonio Augusto Gorni

Laminação de Não-Planos - Forno de Tarugos



© 2008 Antonio Augusto Gorni

Laminação de Não-Planos - Laminador Reversível

© 2008 Antonio Augusto Gorni

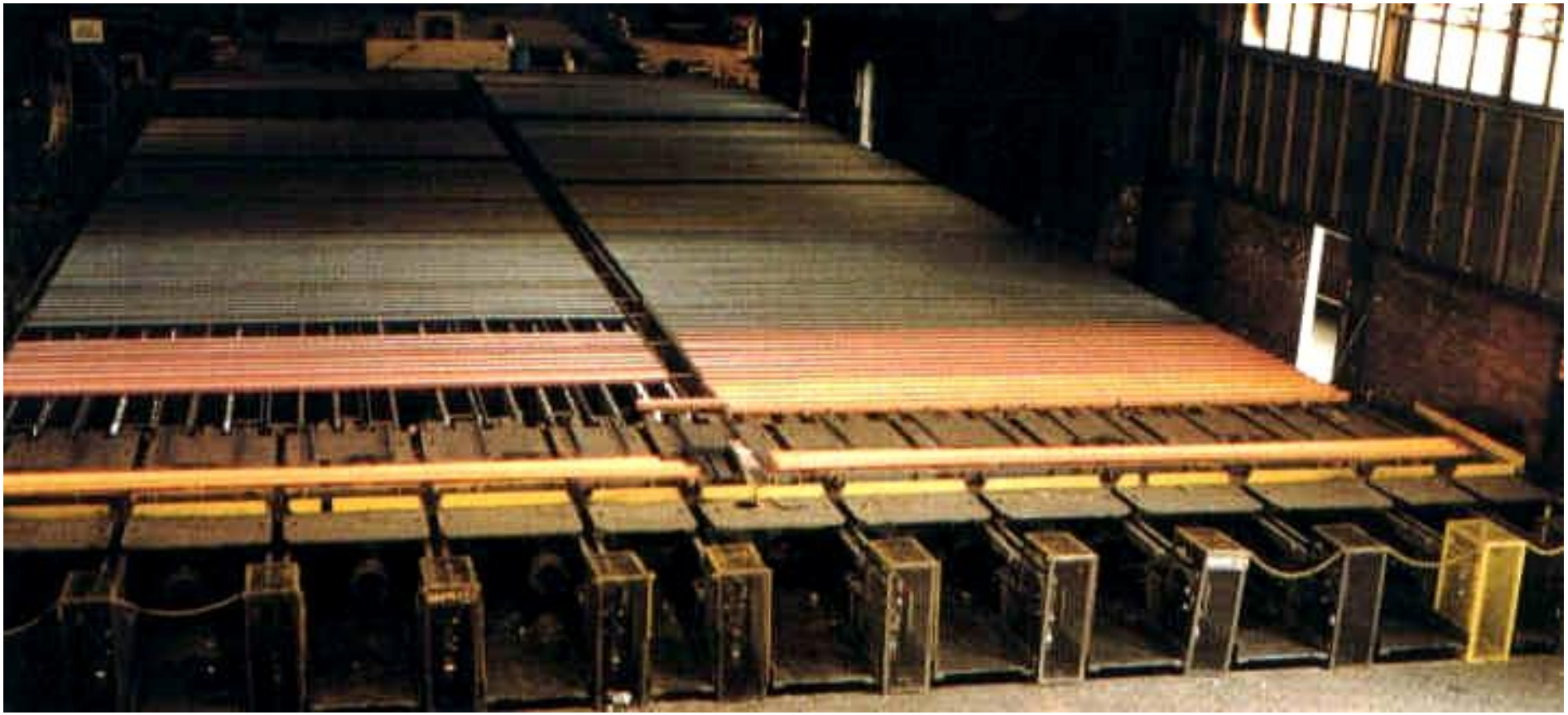
Laminação de Não-Planos - Laminador Reversível

© 2008 Antonio Augusto Gorni

Laminação de Não-Planos - Trem de Barras

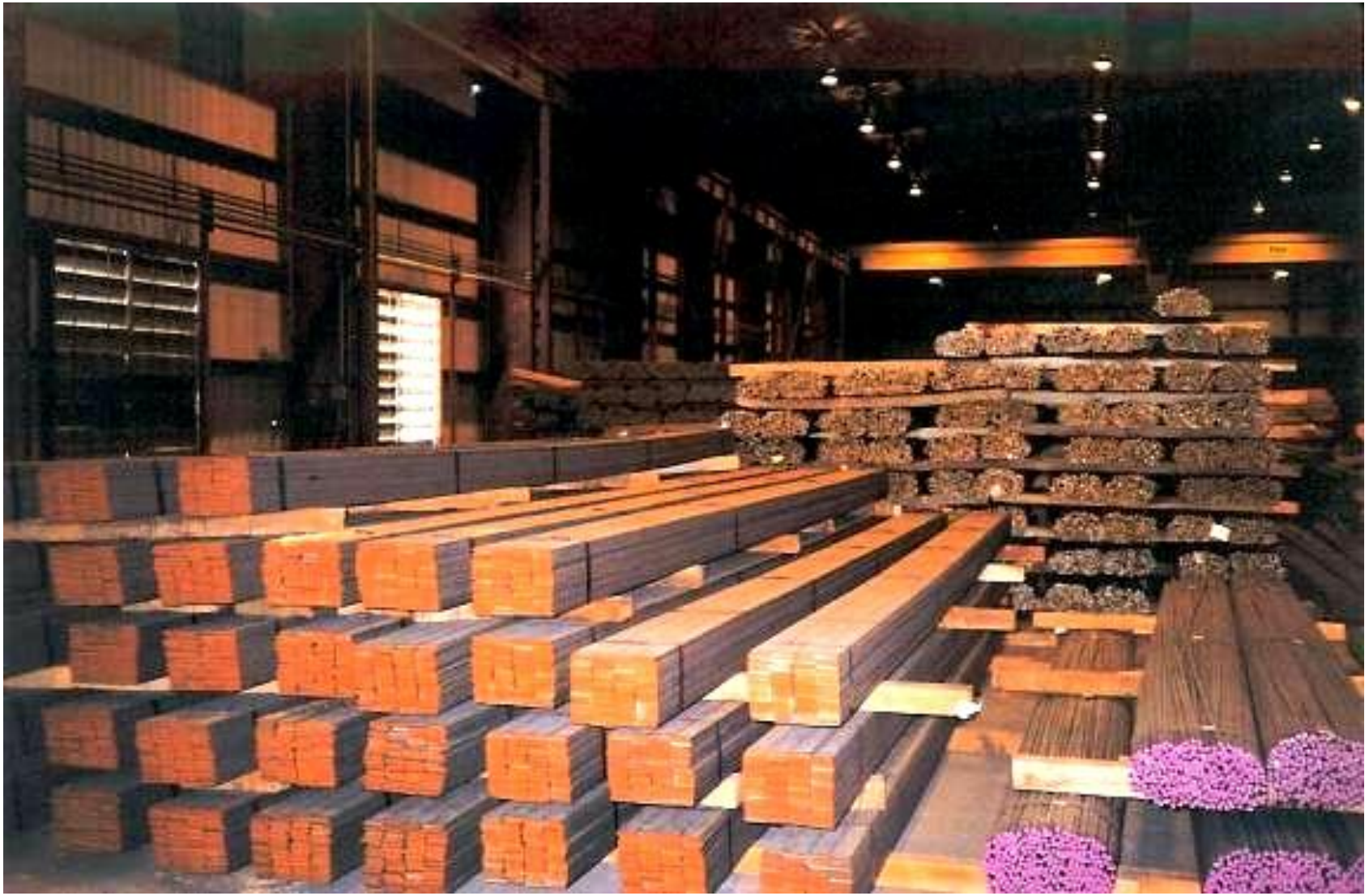
© 2008 Antonio Augusto Gorni

Laminação de Não-Planos - Leito



© 2008 Antonio Augusto Gorni

Laminação de Não-Planos - Armazenamento

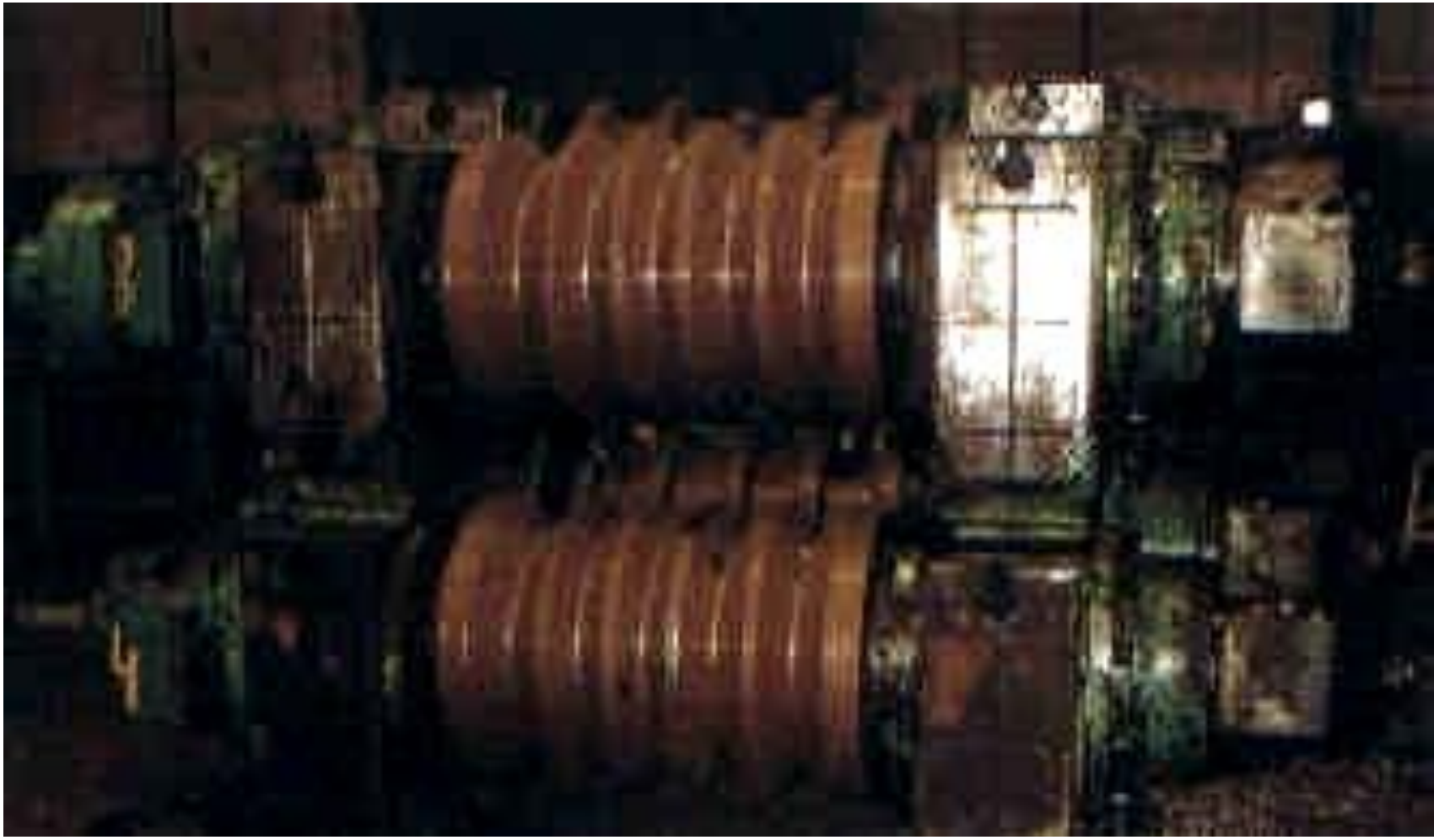


© 2008 Antonio Augusto Gorni

Laminação de Não-Planos - Oficina de Cilindros

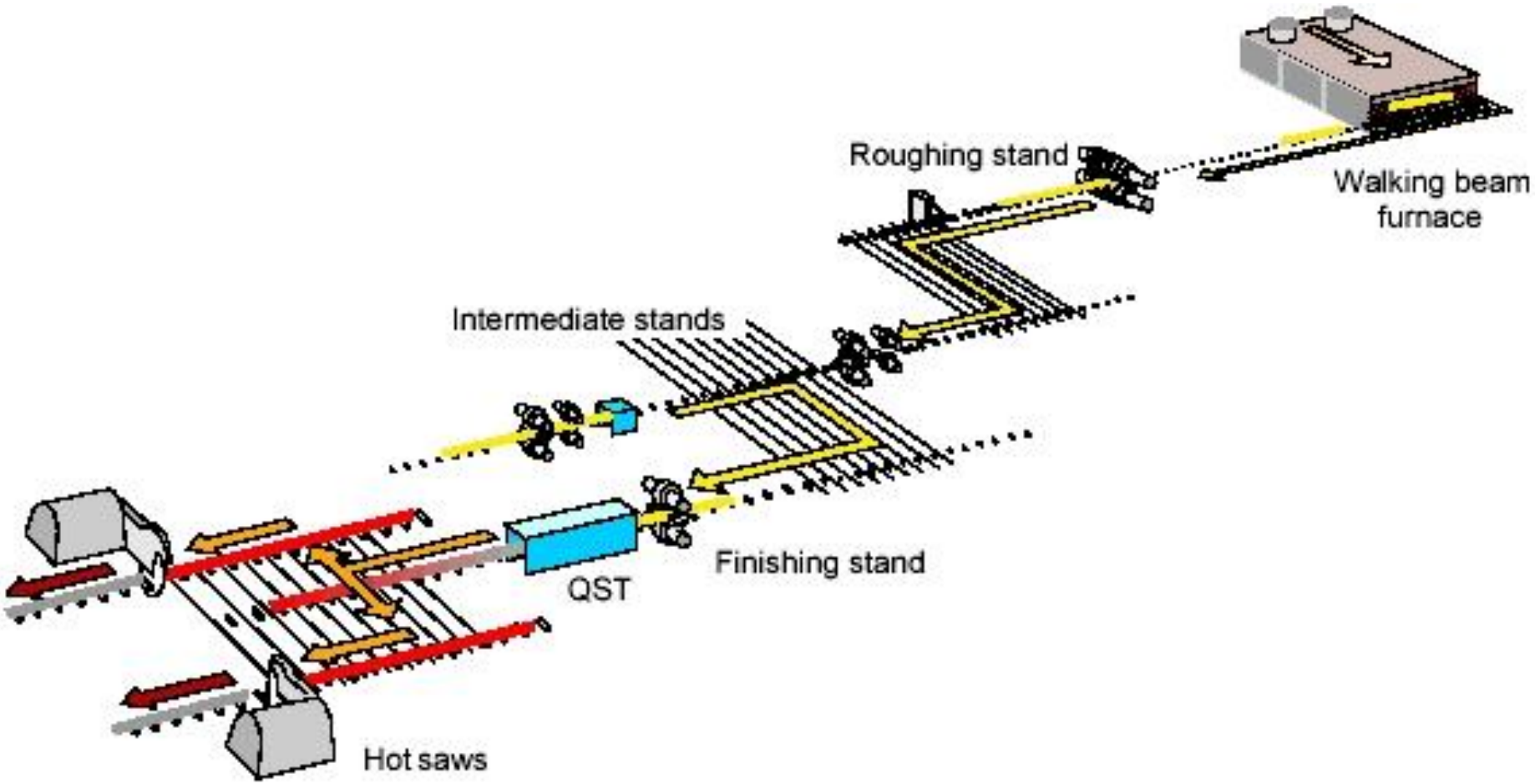
© 2008 Antonio Augusto Gorni

Laminação de Não-Planos - Oficina de Cilindros



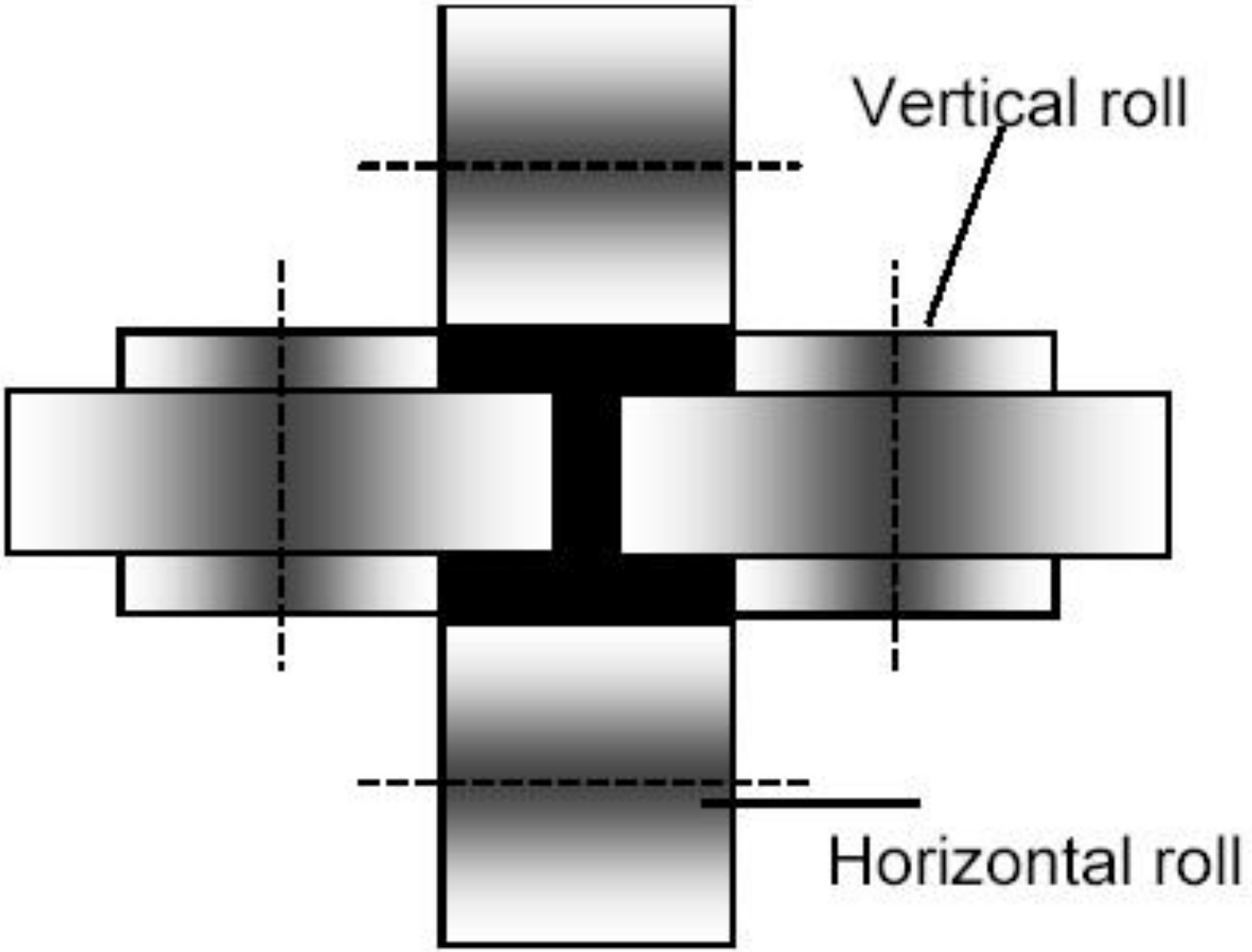
© 2008 Antonio Augusto Gorni

Não-Planos - Laminação de Seções Pesadas



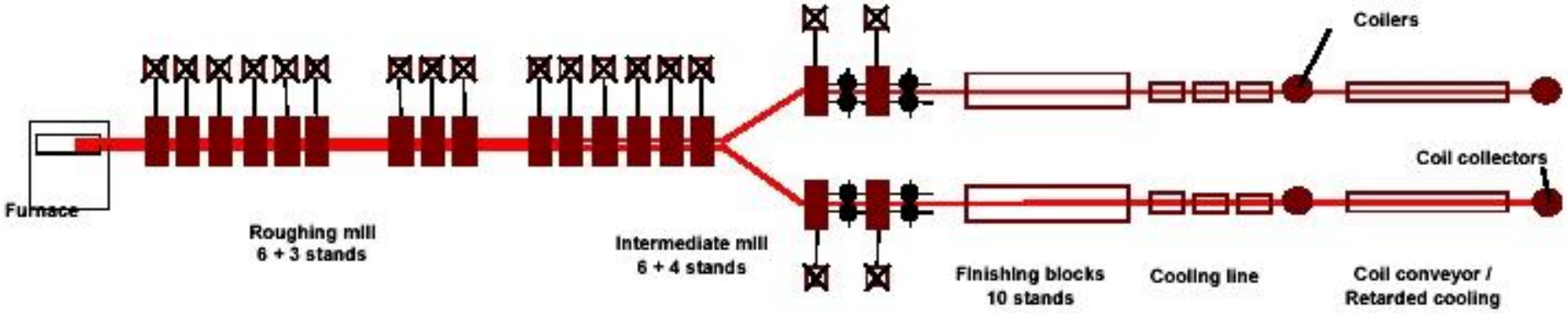
© 2008 Antonio Augusto Gorni

Não-Planos - Cadeira Universal para Seções

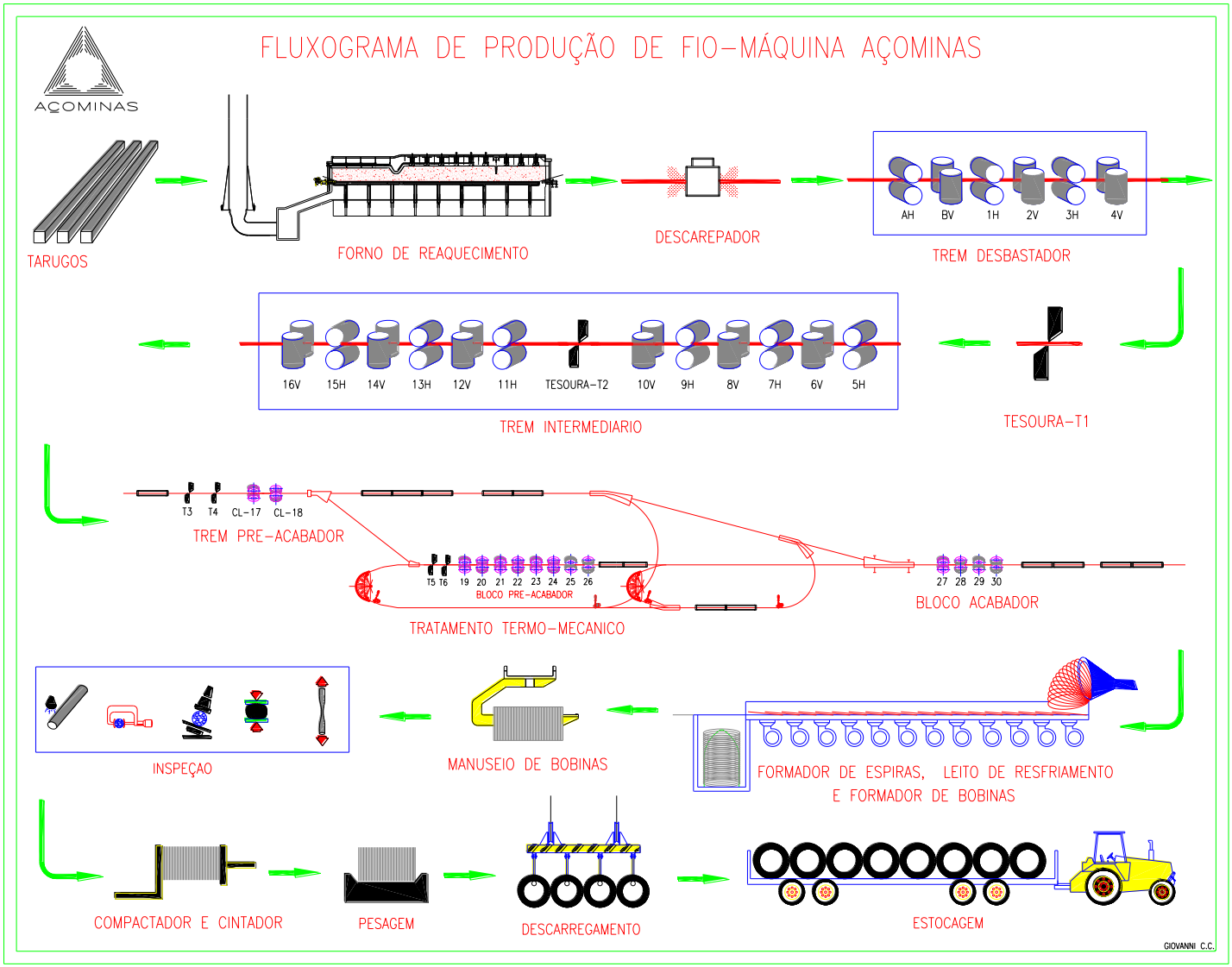


© 2008 Antonio Augusto Gorni

Não-Planos - Laminação de Fio-Máquina

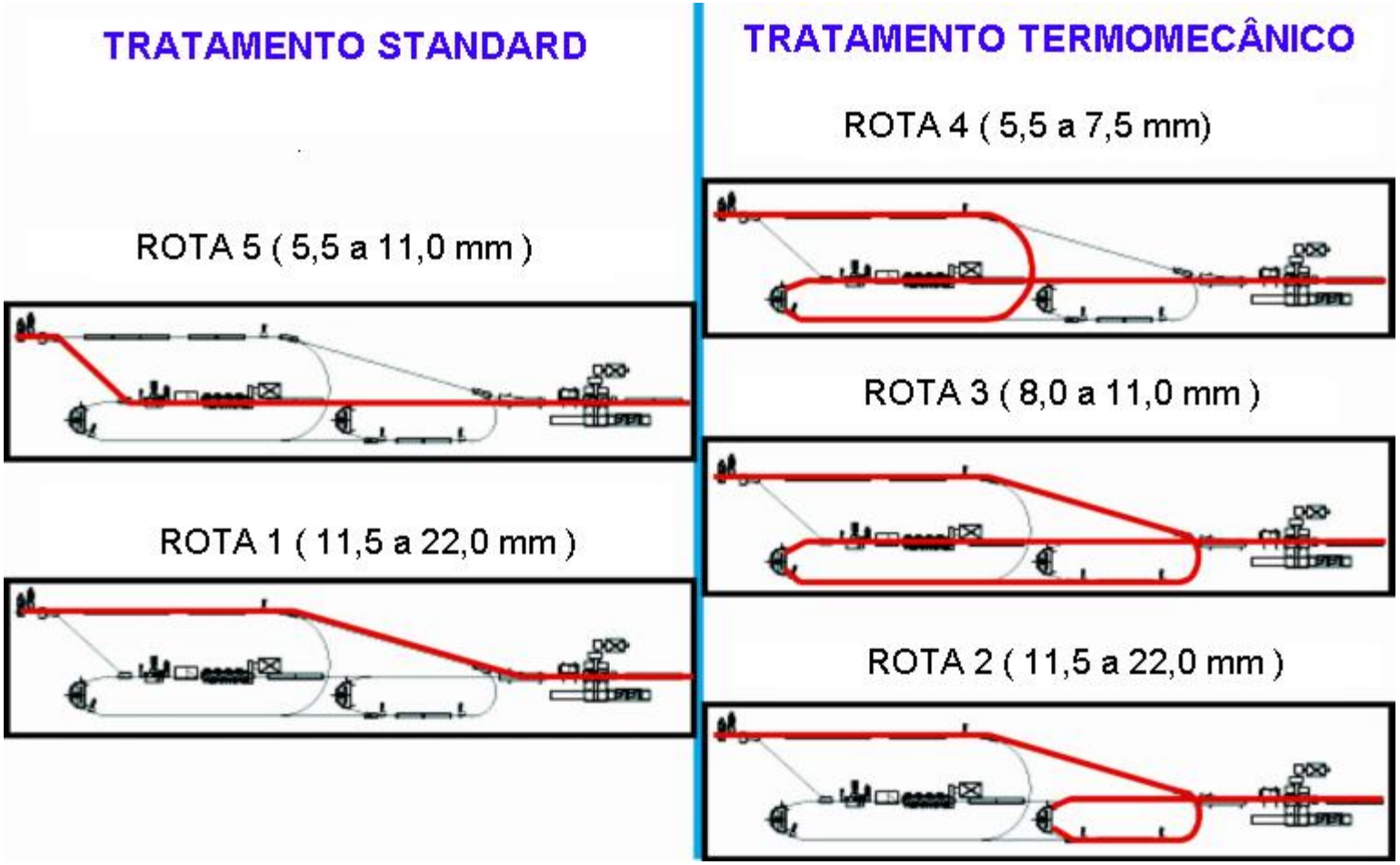


© 2008 Antonio Augusto Gorni



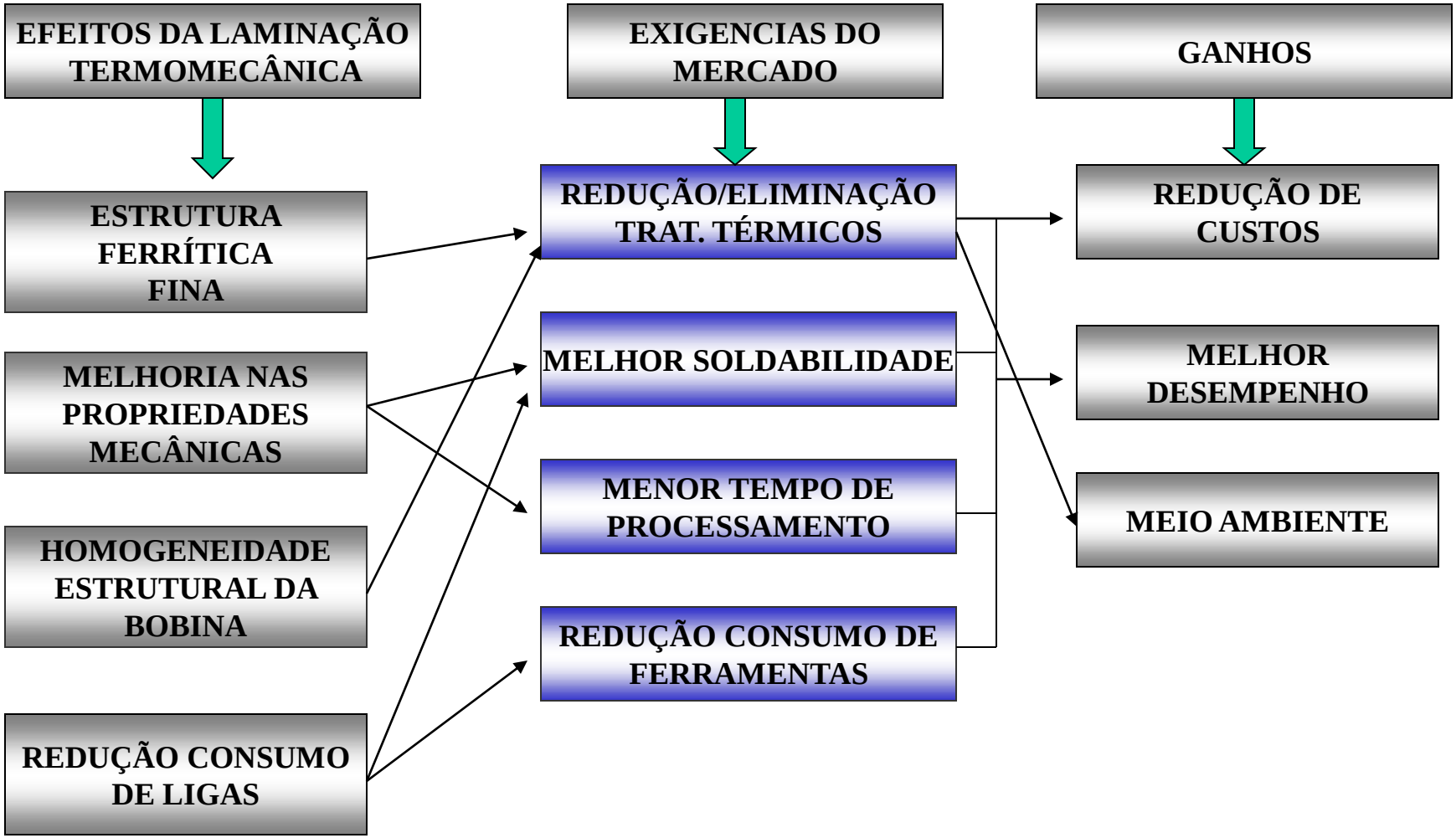
© 2008 Antonio Augusto Gorni

Não-Planos - Laminação de Fio-Máquina



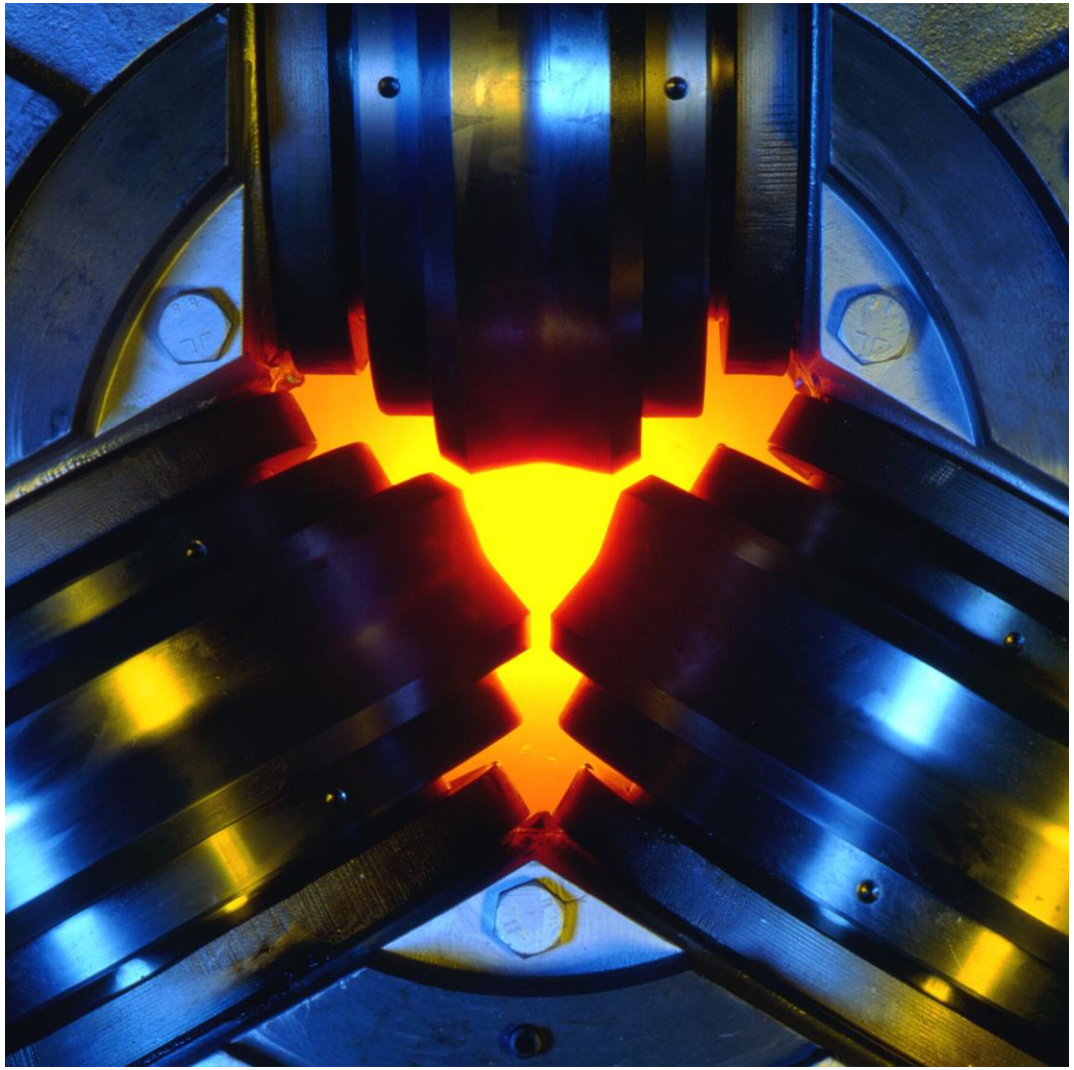
© 2008 Antonio Augusto Gorni

Laminação Termomecânica: Exigência do Mercado



© 2008 Antonio Augusto Gorni

Laminação de Não-Planos - Fieira



© 2008 Antonio Augusto Gorni

Laminação de Não-Planos – Fio-Máquina

© 2008 Antonio Augusto Gorni

CONTROLE DE QUALIDADE

© 2008 Antonio Augusto Gorni

www.gorni.eng.br

Ensaios Mecânicos para Produtos Planos

Principais ensaios para avaliar **características de qualidade** :

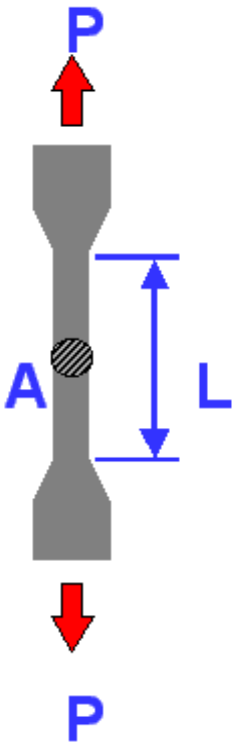
- *Tração*
- *Impacto*
- *Dureza*
- *Dobramento*
- *Embutimento*

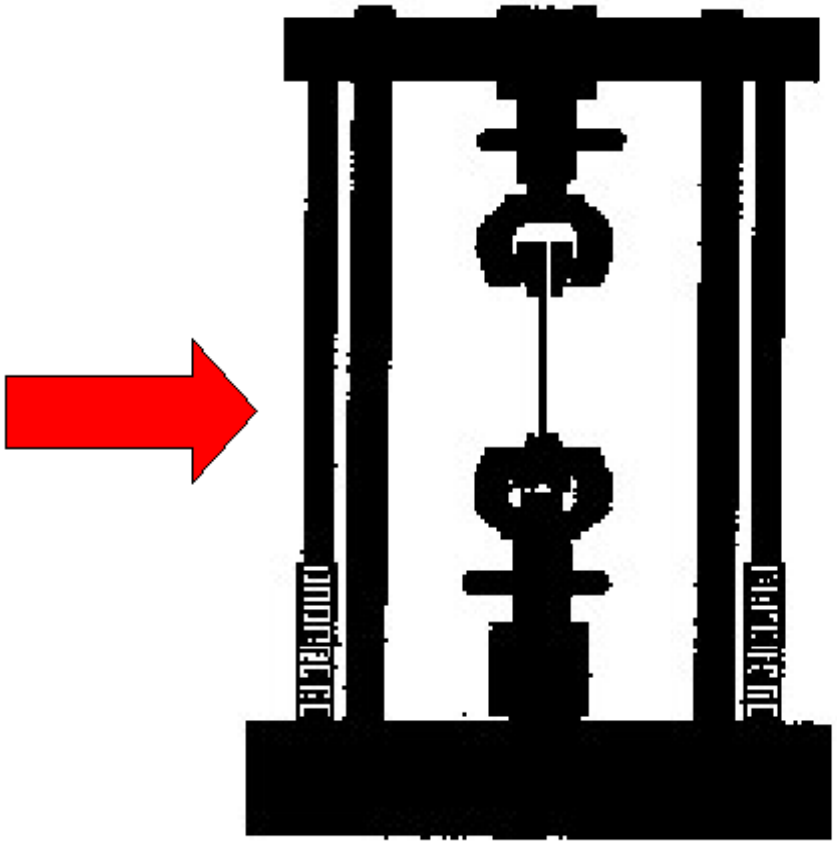
Norma mais comum:

ASTM A370: *Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products*.

© 2008 Antonio Augusto Gorni

Ensaio de Tração





Tensão = P / A

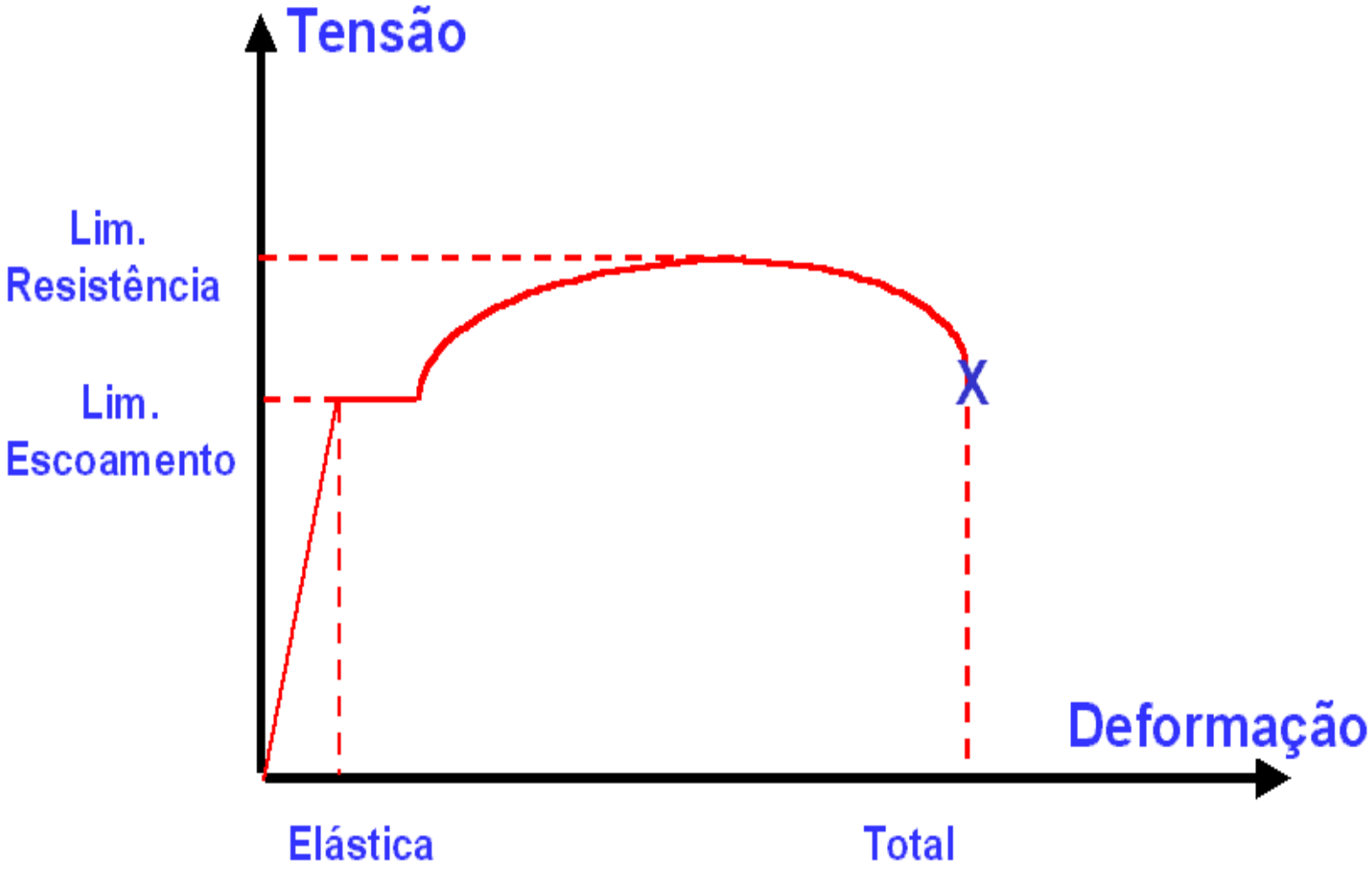
Deformação = (Lf - L) / L

© 2008 Antonio Augusto Gorni

Ensaio de Tração

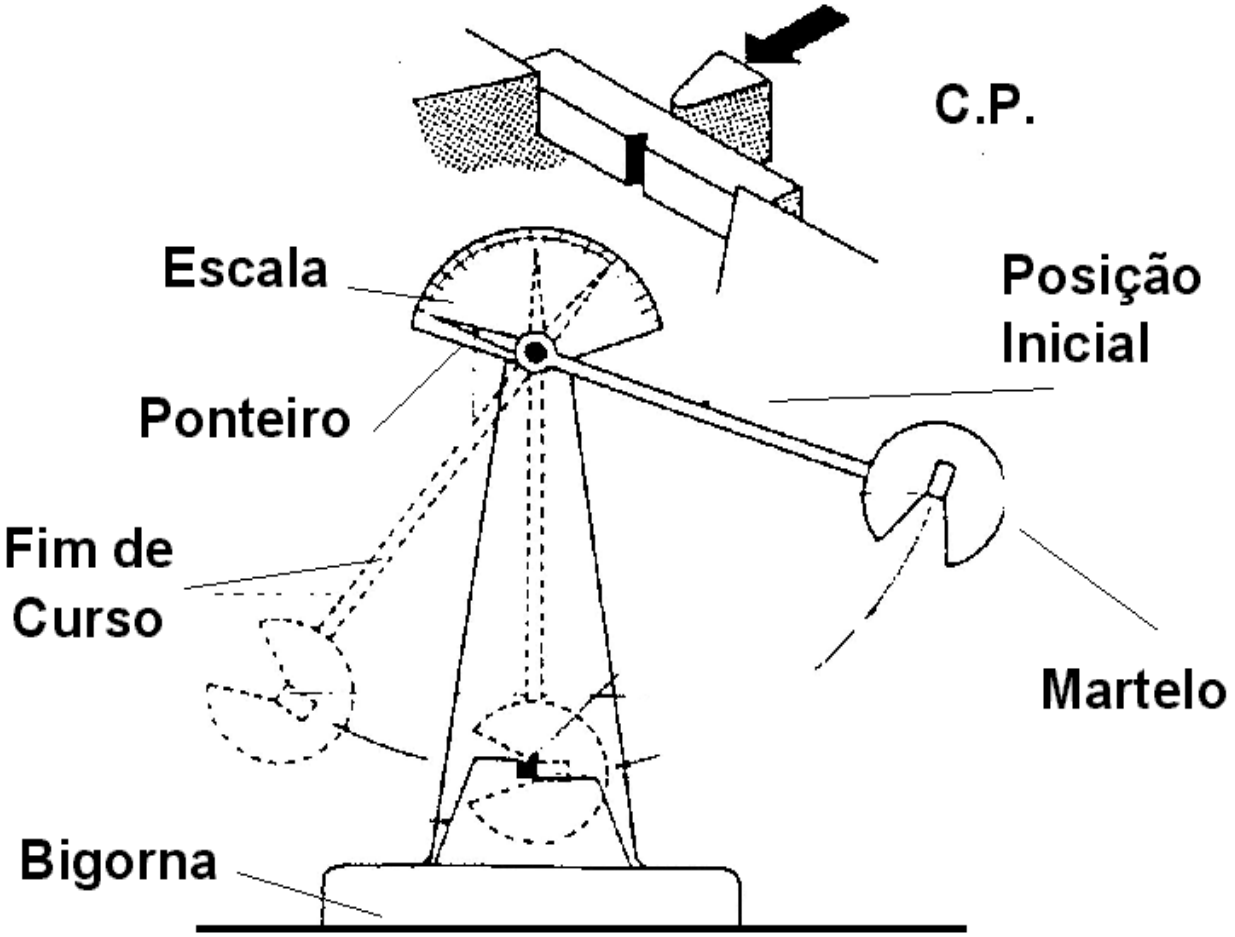
© 2008 Antonio Augusto Gorni

Ensaio de Tração



© 2008 Antonio Augusto Gorni

Ensaio de Impacto Charpy



© 2008 Antonio Augusto Gorni

Ensaio de Impacto Charpy

© 2008 Antonio Augusto Gorni

Ensaio de Impacto Charpy

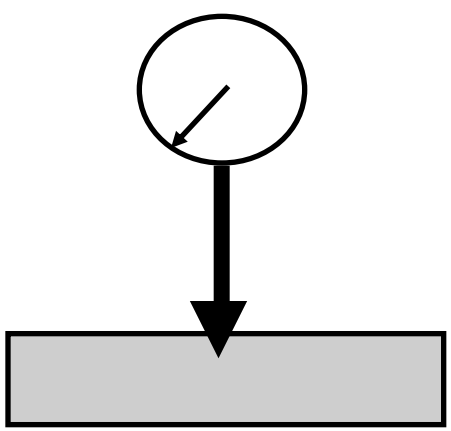
© 2008 Antonio Augusto Gorni

Ensaio de Impacto Charpy

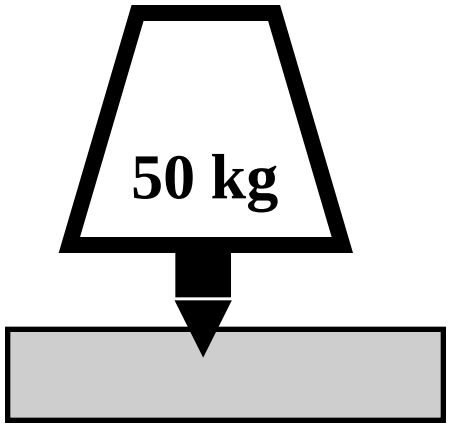
© 2008 Antonio Augusto Gorni

Ensaio de Dureza

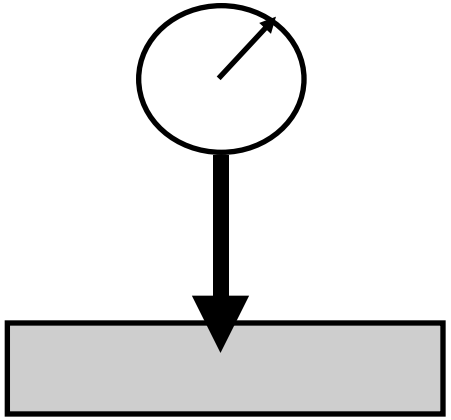
O princípio dos ensaios de dureza **é a medição da resistência à penetração de um endentador no metal:**



a) Pré-Carga/Zeragem



b) Penetração



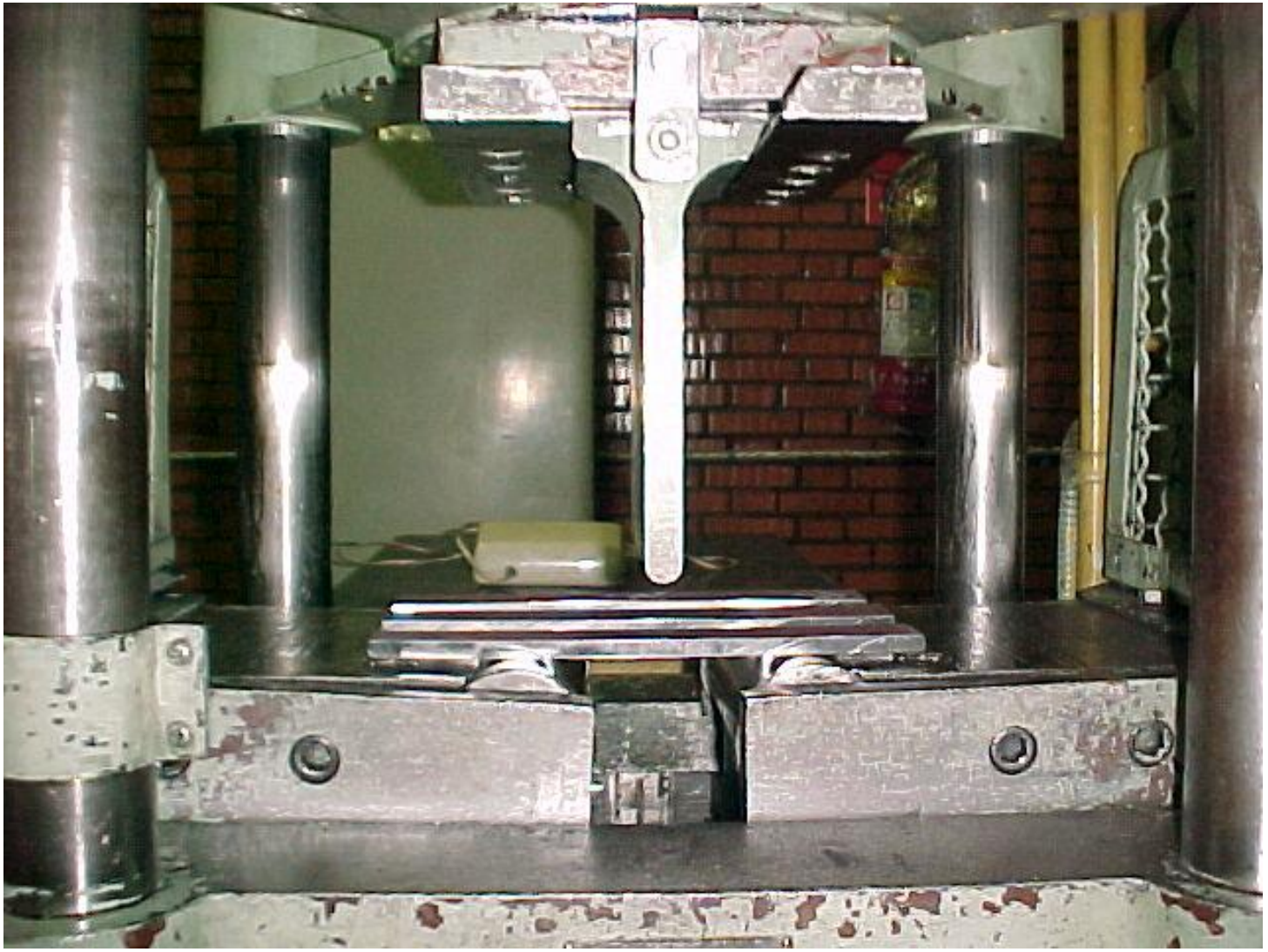
c) Medição

© 2008 Antonio Augusto Gorni

Ensaio de Dureza

© 2008 Antonio Augusto Gorni

Ensaio de Dobramento



© 2008 Antonio Augusto Gorni

Ensaio de Dobramento

© 2008 Antonio Augusto Gorni

Ensaio de Dobramento

© 2008 Antonio Augusto Gorni

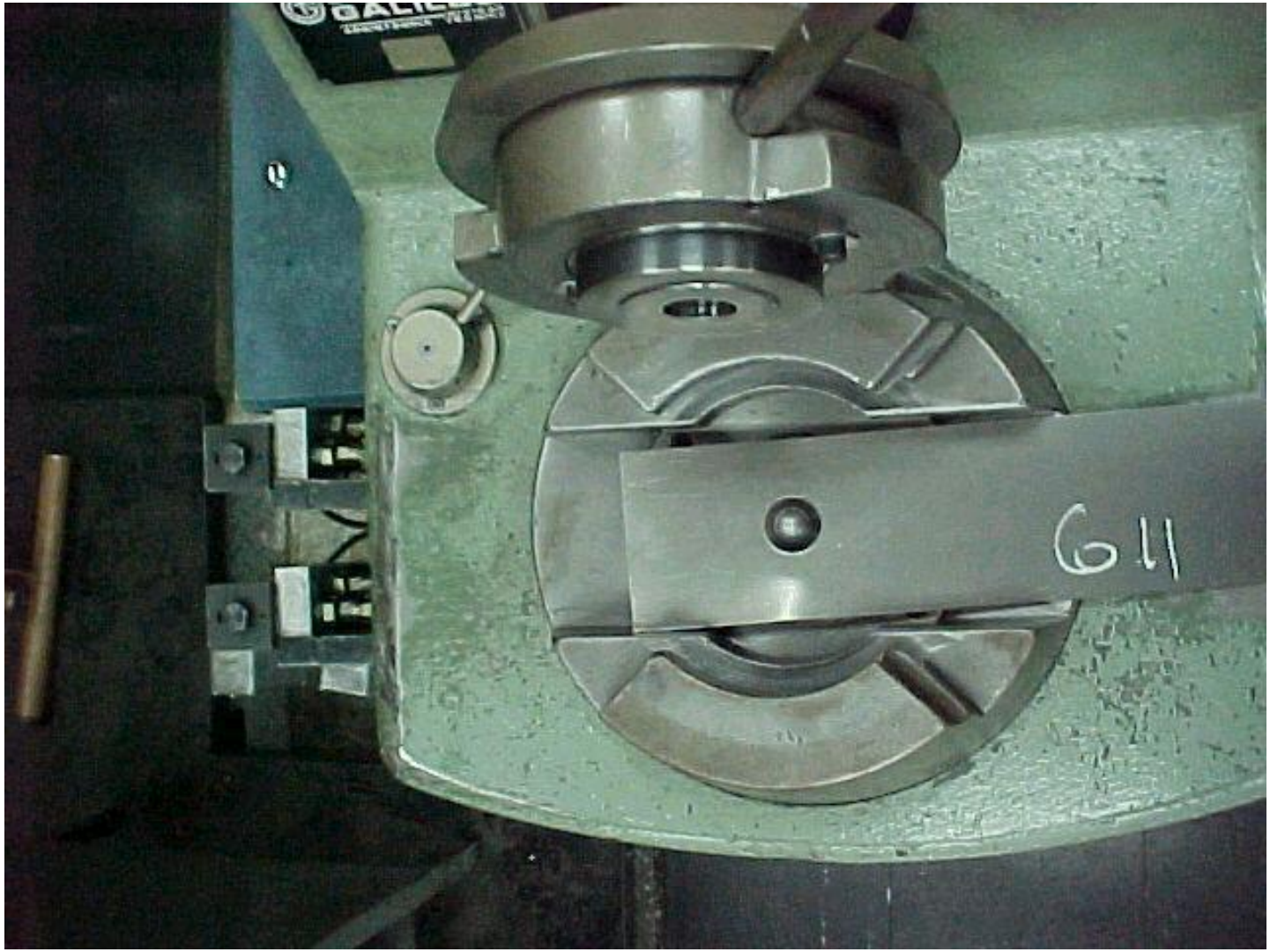
Ensaio de Embutimento

© 2008 Antonio Augusto Gorni

Ensaio de Embutimento

© 2008 Antonio Augusto Gorni

Ensaio de Embutimento



© 2008 Antonio Augusto Gorni

FIM

Contato:
agorni@iron.com.br
www.gorni.eng.br

© 2008 Antonio Augusto Gorni