

Minimização de Efeitos Negativos da
Conformação Mecânica no Laminador de Placas.

- Defeitos de Pontas de Placa -

Julio Maria Campos (1)

Herminio de Oliveira Fernandes (2)

RESUMO

Nuanças do processo de Laminação de Placas que visam a minimização dos defeitos de pontas oriundos da conformação mecânica, e a conseqüente melhoria do rendimento de laminação.

Contribuição Técnica ao XVI Simpósio da COLAM - Laminação de Placas.

- (1) Técnico em Mecânica Industrial, Assistente Técnico da Seção de Laminação de Placas - USIMINAS - Membro da ABM.
- (2) Engenheiro em Metalurgia, Chefe da Seção de Laminação de Placas - USIMINAS - Membro da ABM.

1- INTRODUÇÃO

Há muito, as indústrias de transformação tem se dedicado à redução do custo de produção como forma de manutenção da rentabilidade, sem afetar a demanda de produção e a qualidade do produto oferecido.

Na siderurgia, principalmente na área de Laminação de Placas onde, devido ao montante do custo relativo aos processos anteriores, as perdas características do processo se demonstram mais significativas, tem se desenvolvido novas técnicas e novos métodos que possam levar a minimização racional dessas perdas e/ou à otimização da qualidade do produto.

2- OBJETIVOS

Situar algumas particularidades do processo de Laminação de Placas que envolvem perdas e defeitos resultantes da conformação mecânica.

Demonstrar nuances dos métodos tradicionais e novos métodos que otimizam a conformação final do produto, conduzindo à redução das perdas de pontas.

3- CONSIDERAÇÕES SOBRE PARTICULARIDADES DO PROCESSO DE CONFORMAÇÃO.

a)- Formação da Pontas.

Normalmente as formas típicas de pontas de placas resultantes da conformação mecânica se apresenta conforme Figura 1.

b)- Formação do Rabo-de-Peixe (Fishtail).

Devido as oposições de forças nas interfaces dos arcos de contato cilindros/material, tem-se uma variação de deformação do volume subtendido àqueles arcos e manifestando-se com diferentes valores no fluxo de alongamento, sendo que o fluxo das camadas mais próximas às interfaces é maior que as mais centrais. Esse efeito é maior quando da entrada do material (mordida) que quando da saída (Figura 2).

Supondo então a laminação de um lingote somente com passes sucessivos de redução na largura, a ponta se apresentaria com as formas típicas de "rabo-de-peixe (positivo)" da Figura 3, sendo que seu volume (mordida + saída) tem uma

progressão proporcional à cada redução recebida (Figura 4).

c)- Formação da Bolsa Mecânica (Overlap).

Supondo a laminação de um lingote somente com passes sucessivos de redução na espessura, a ponta se apresentaria, si milar ao que ocorreria na formação do rabo-de-peixe, mas com duas diferenças:

1º)- O volume da bolsa mecânica aumenta progressiva e proporcionalmente (mordida + saída) à redução recebida, até ao ponto em que haja equilíbrio entre a espessura e essa redução, quando então esse volume tende estabilizar-se, mesmo à despeito de reduções posteriores (Figuras 5 e 6).

2º)- Esse volume também aumenta, simultaneamente com as reduções, em forma de "rabo-de-peixe (negativo)" ou projeção convexa da seção, ou seja, as partículas mais próximas às laterais do lingote (naquele plano) se alongam menos que as mais centrais, conforme Figura 7,

dando origem à uma ponta com aresta horizontal convexa, e que se projeta progressiva e proporcionalmente, também em função da redução recebida, até o momento em que passa sofrer influência inversa sob o efeito da flexão dos cilindros (roll camber), conforme Figura 8.

d)- Sobreposição das Formações.

A forma da ponta será consequência direta da soma dos efeitos nos itens anteriores, mas poderá apresentar variação sob as mesmas reduções, considerando certos intercalamentos.

Supondo que um lingote já tenha sido reduzido em 50% de sua espessura (Δh) e somente nela, e em seguida aplicarmos sucessivas reduções de largura (Δb) em 20, 40 e 60% da redução aplicada na espessura (Δh), teríamos as diferentes formas de pontas da Figura 9.

Se aplicarmos o inverso, ou seja primeiro as reduções da largura, e posteriormente as de espessura, teríamos as variações de formas de pontas da Figura 10, onde, as "pontas do rabo-de-peixe" (volumes mais laterais), inicialmente formadas pelas reduções de largura, alongam agora paralelamente aos volumes centrais e em uma menor proporção.

De onde podemos observar que as situações (md) sofrem pouca alteração e que as (mn) e (mx) são sensivelmente alteradas. Logo, poderíamos dizer que:

1º)- A boa forma da ponta está diretamente relacionada com a razão de redução recebida e que essa razão, $\frac{\Delta b}{\Delta h}$, deverá situar-se em torno de 0,4. (Em um Laminador Hi - lift).

2º)- As reduções iniciais de largura devem anteceder às de espessura, e vice-versa, para as situações (mn) e (mx) respectivamente, para que se possa minimizar as perdas de pontas.

Ikushima, demonstrou, por experiências em escala piloto, as variações de formas de pontas em função da razão de redução largura/espessura, conforme pode-se ver na Figura 11.

Schmitt, em experiências realizadas na Companhia Siderúrgica Mannesmann, demonstrou também, em um trabalho de grande profundidade, essa relação entre os formatos de pontas e a razão de redução largura/espessura.

4- MÉTODOS PARA MINIMIZAÇÃO DAS FORMAÇÕES DE PONTAS.

Com base nas considerações do item 3d, temos que:

- 1º)- As programações de produção para Laminação de Placas deveriam situar-se dentro daquela razão de redução;
- 2º)- Essa otimização de programação é muito difícil sob pena de deturpar outros fatores básicos do custo; logo as situações (mn) e (mx) sempre estarão presentes para uma siderúrgica que atenda a uma elevada gama de dimensões. Porquanto, novos métodos de laminação tem sido desenvolvidos no sentido de minimizar as perdas nessas situações. Os principais seriam:

a)- Laminação Unidirecional.

Se aplicarmos reduções em apenas um sentido de laminação (vante ou ré) teremos uma maior formação do rabo-de-peixe na ponta correspondente à entrada (mordida), e com uma sensível redução na formação da ponta oposta. Logo, a aplicação desse método estaria condicionada ao sentido de laminação, que deverá ser topo → base do lingote, sobrepondo o rabo-de-peixe à bolsa de segregação, preferencialmente.

Esse método tem influências tanto na formação do "rabo-de-peixe" quanto da "bolsa mecânica". Se aplicado com esses objetivos traria uma melhoria média do rendimento em torno de 1% mas com uma queda aproximada de 50% na eficiência de produção.

b)- Laminação com Semi-passes.

Esse método consiste em aplicar o passe com redução até ao meio do comprimento do lingote, interromper a rotação dos cilindros, aumentar a abertura entre os mesmos, completar a passagem do lingote e, em seguida, aplicar a mesma redução em sentido oposto.

É possível uma melhoria em torno de 0,4% no rendimento em relação à laminação unidirecional, mas com os mesmos inconvenientes daquele método, e com a agravante de estar expondo os cilindros à constantes choques térmicos devido as paradas dos cilindros em contato com o material. (Figura 12).

c)- Balaceamento das Reduções de Largura (EDGE).

Como a variação das espessuras finais (h_f) de produto (placa) é proporcionalmente pequena em relação às espessuras iniciais (h_0) do lingote, consideraremos o efeito

das reduções de espessura (rabo-de-peixe negativo) como constante. Logo, para a minimização das perdas nas situações (mn), faz-se necessário elaborar escalas de passes de forma que o volume inicial de redução da largura seja o maior possível, ficando para as fases finais o volume estritamente necessário ao acabamento. Deve-se observar cuidadosamente o limite inferior desse volume inicial de redução pois poderá ser causa direta da ocorrência de "friso" nas bordas da placa.

A Figura 13 exemplifica melhor a situação, ou seja, o volume do rabo-de-peixe ($b_0 \times h_0 \times \bar{X} \ell_0$) formado pela redução inicial da largura, seria posteriormente compensado pelo "rabo-de-peixe (negativo)" (ou projeção convexa da seção transversal) sob o efeito das reduções de espessura, resultando num volume menor ($b_f \times h_f \times \bar{X} \ell_f$). Observar que, nesses casos, as partes mais laterais da placa correspondentes as pontas do rabo-de-peixe tenderam, agora, alongar simultaneamente (mas com menor intensidade) com as partes mais centrais, reduzindo o volume delimitado pela "projeção convexa da seção" (rabo-de-peixe negativo).

Já para as situações (mx) o método deverá ser inverso, ou seja, o volume inicial de redução da largura deverá limi-

tar-se ao estreitamento necessário à quebra da carepa e da estrutura dendrítica formadas no lingote, ficando para as fases mais finais possíveis o volume restante.

Siderúrgicas japonesas e européias têm adotado esse método em escala racional, e a melhoria do rendimento, resultante de sua aplicação situa-se em torno de 2,8% em relação aos métodos convencionais, sem contudo abordar as desvantagens encontradas, já que se referem à uma escala racional.

Schmitt abordou muito bem uma das principais desvantagens, ou seja, como o operador saberia quando é que os maiores volumes de redução de largura deveriam anteceder ou suceder as reduções de espessura.

Atualmente estamos realizando experiências com esse método, e no montante até então realizado obteve-se um acréscimo médio de 2,1% no rendimento. Pela divisão da faixa de utilização da largura do lingote em sub-faixas teóricas de redução, ou seja, redução mínima (mn), redução média (md) e redução máxima (mx) conseguimos facilitar ao operador a identificação do momento da maior redução ou o balanceamento das reduções.

Na Figura 14 temos um demonstrativo de algumas escalas de passes aplicados durante as experiências e as formas de pon -

tas de placas resultantes.

A outra principal desvantagem continua; a eficiência de produção sofre regressão média de 20% já que se fazem necessários alguns passes extras de acabamento para obtenção da melhor forma do produto.

5- CONCLUSÃO

Embora nossas condições de experiências em escala industrial sejam restritas, podemos afirmar que o domínio dos métodos expostos neste trabalho estão ao nosso alcance imediato. Através deles podemos estabelecer escalas de passes e/ou processos de laminação que proporcionem maximização de rendimento, melhor conformação final do produto, ou mesmo a união de ambos.

A utilização de um dos métodos, em especial, levará em conta as necessidades de produção.

BIBLIOGRAFIA

- 1- SCHMITT, Heinz Guenter - Influência das Condições de Deformação sobre o Comportamento do Material e sobre o Rendimento na Laminação de Placas de Aço - Metalurgia (Vol. ' 21- nº 90), Maio, 1965.
- 2- SANTOS, Abílio dos, - Laminação e Laminadores. C.S.B.M., ' Setembro, 1964 - Publicação UFMG.
- 3- STARLING, C. W. - Introduction to Theory and Practice Rolling - Sheet Metal Industries, Setembro, 1960.
- 4- MIHARA, Y., - Research Centre - Nippon Kokan K.K., & JOHNSON, W., University of Cambridge - Crop Loss: Front and Back Deformation During Slab and Bloom Rolling - Metalurgia and Metal Forming - Agosto, 1977.
- 5- NIPPON STEEL Co & ITALSIDER - Measures to Improve the Slabbing Yield - Relatórios 74-C3 Technical Meeting NSC/ITALSIDER - Tokyo. Outubro, 1974.
- 6- IKUSHIMA, H. et al.- Plasticine Model Testes on Slabbing ' - Shape of Slab Ends - Fukuyama Works, Nippon Kokan K.K., 1974.
- 7- CAMPOS, J. M. - Relatório de Estágio em Usinas da NSC, ' Julho/Agosto, 1977.

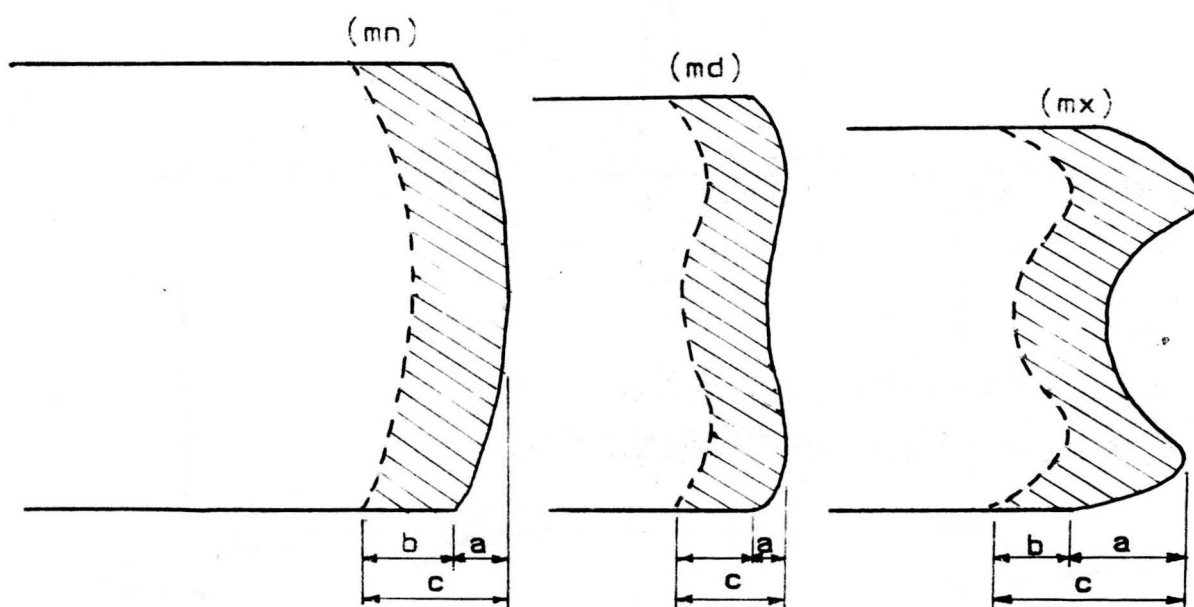


Fig. 1 - Formas típicas de pontas de placas resultantes da conformação mecânica:- a)-"rabo-de-peixe"; b)-"bolsa mecânica"; c)- ponta, em função do volume de redução da largura:- (mn)mínimo; (md)médio e (mx)máximo.

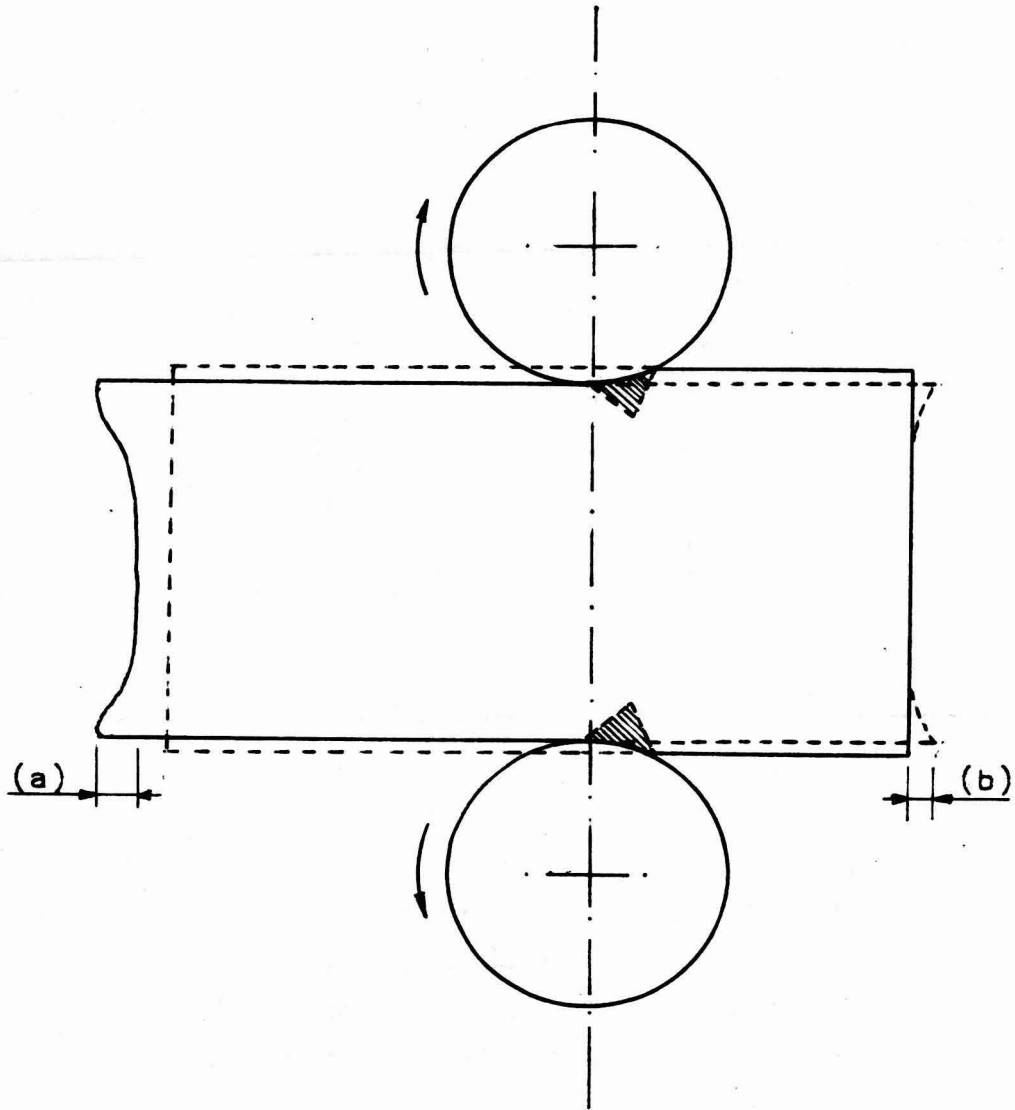


Fig. 2 - Formação do rabo-de-peixe (positivo): (a) na mordida e (b) na saída.

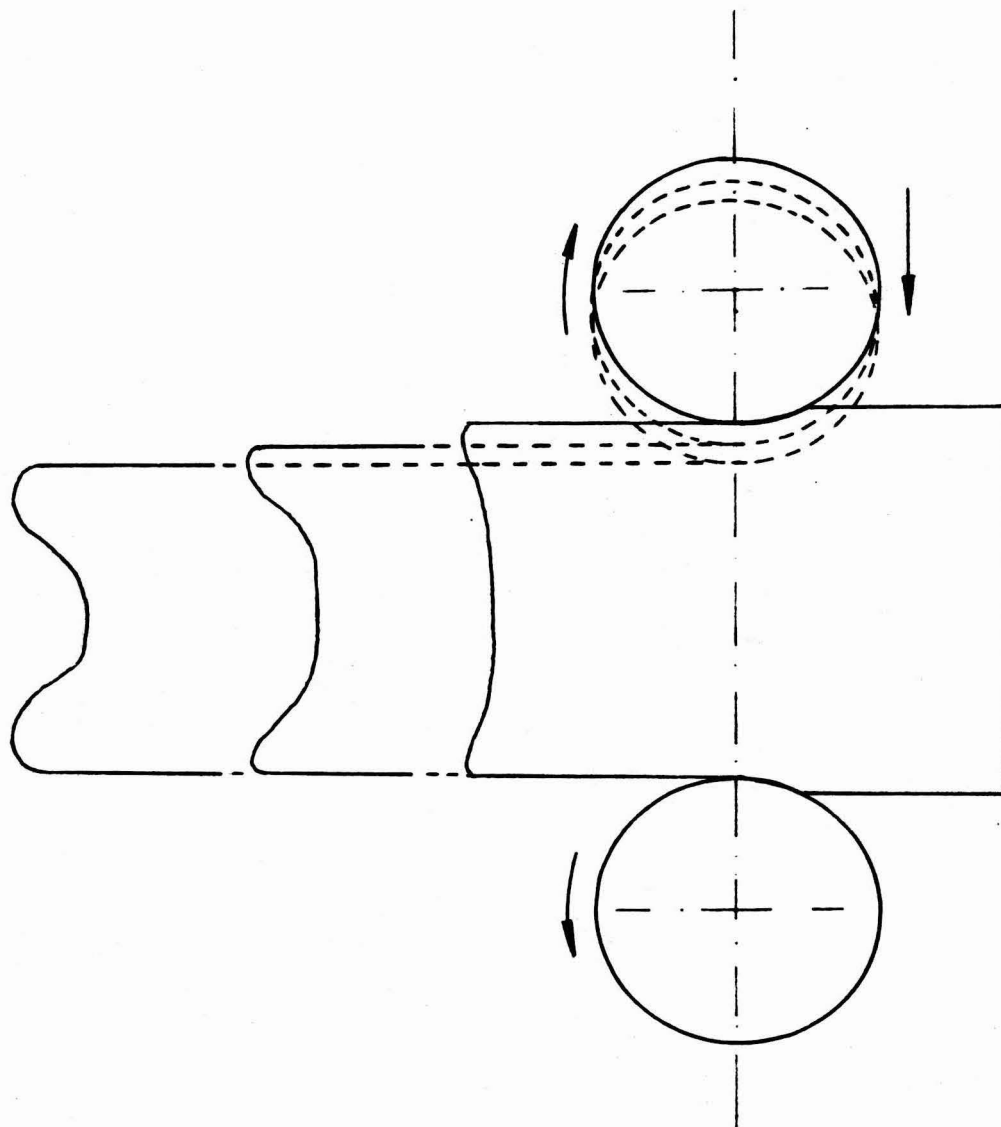


Fig. 3- Formas típicas de "rabo-de-peixe (positivo).

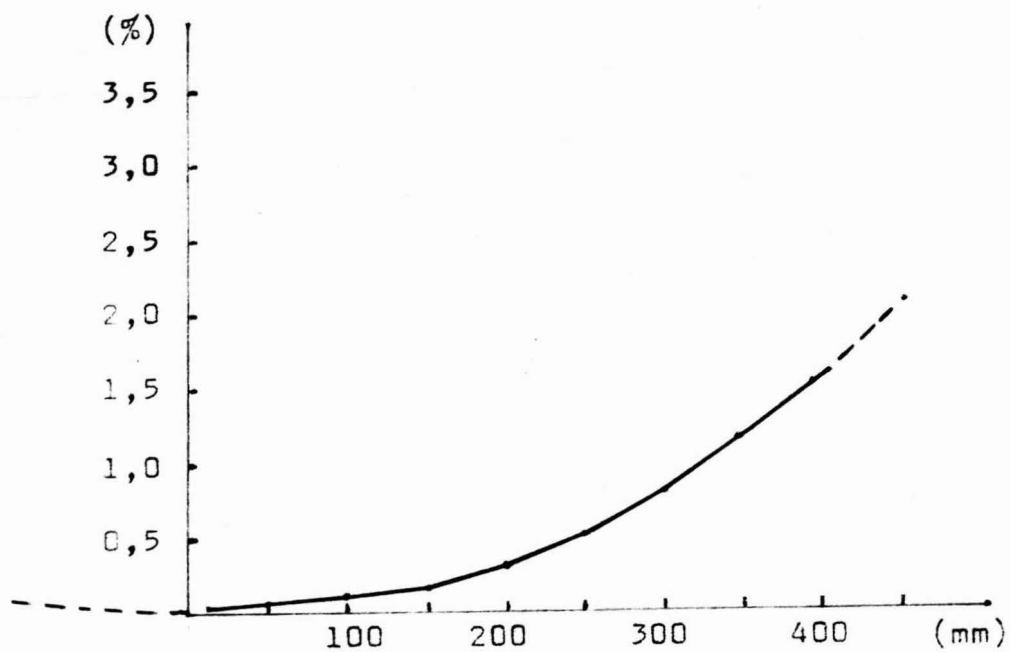


Fig. 4- Progressão do volume do "rabo-de-peixe", em relação ao volume do lingote, sob diferentes reduções de largura.

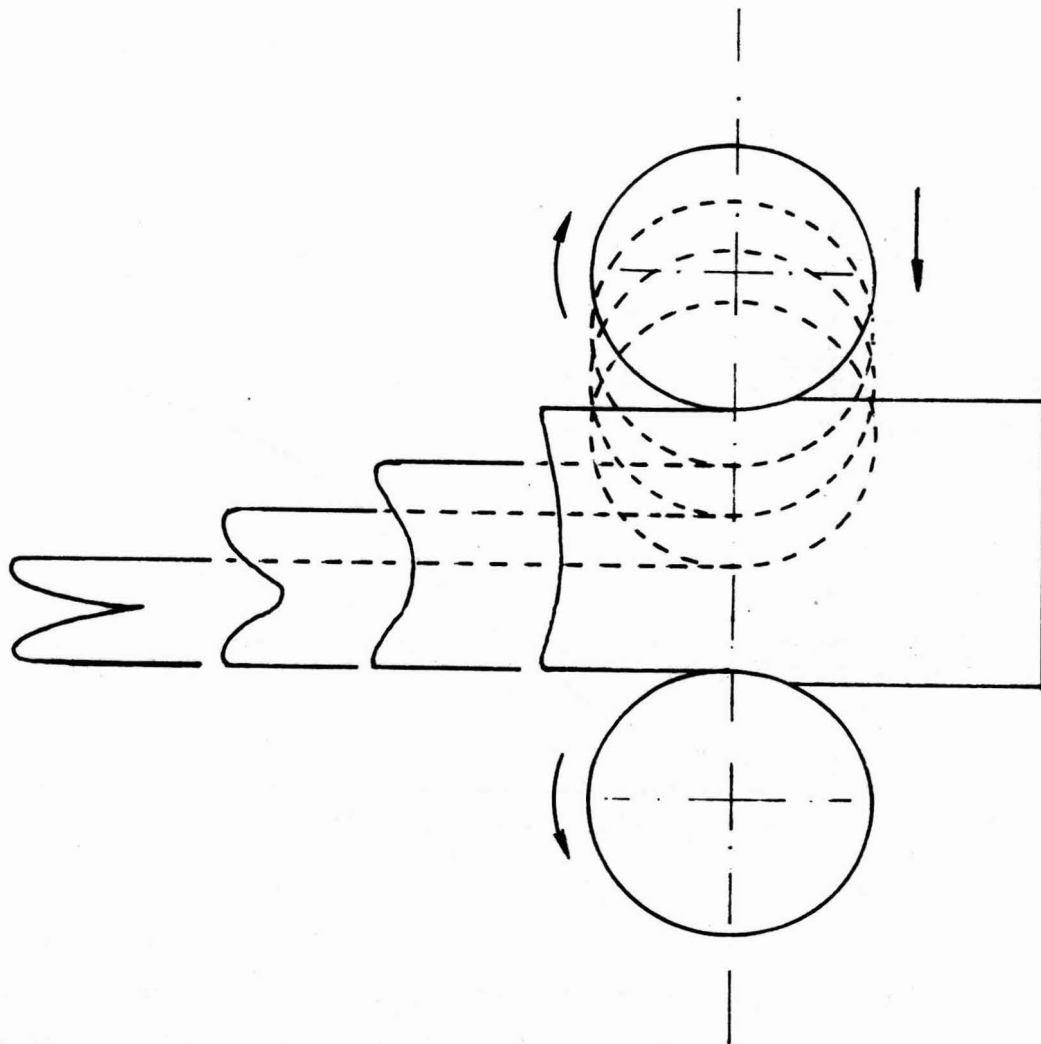


Fig. 5- Formação da bolsa mecânica.

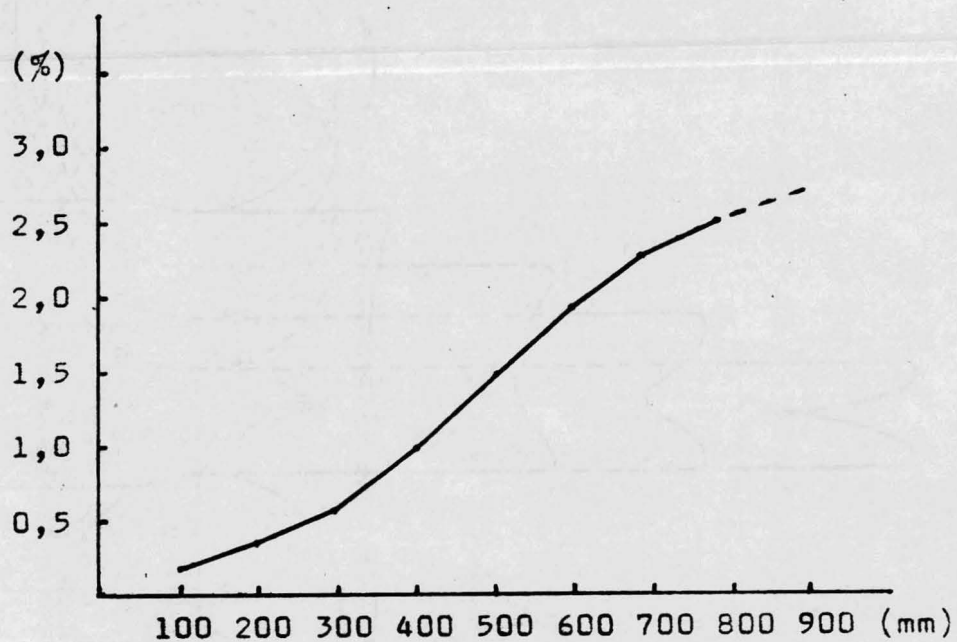


Fig. 6- Progressão do volume da "bolsa mecânica, em relação ao volume do lingote, sob diferentes reduções de espessura.

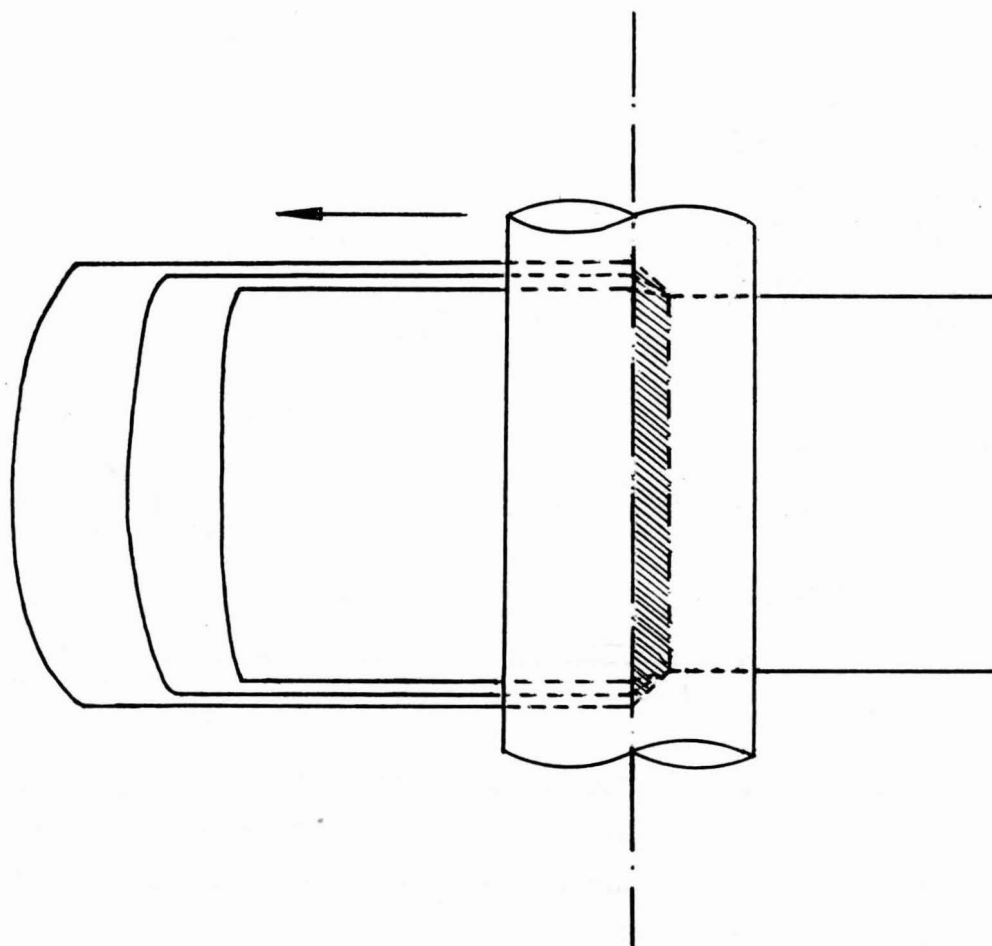


Fig. 7- Formação do "rabo-de-peixe (negativo)" ou "projeção convexa da seção transversal".

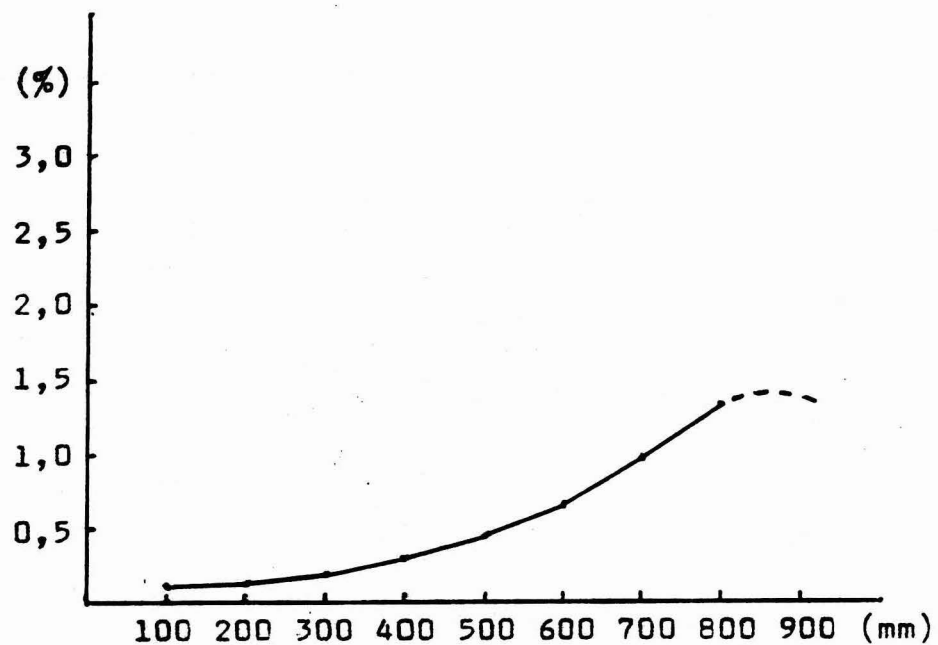


Fig. 8- Progressão do volume do "rabo-de-peixe (negativo)," em relação ao volume do lingote, sob diferentes reduções de espessura.

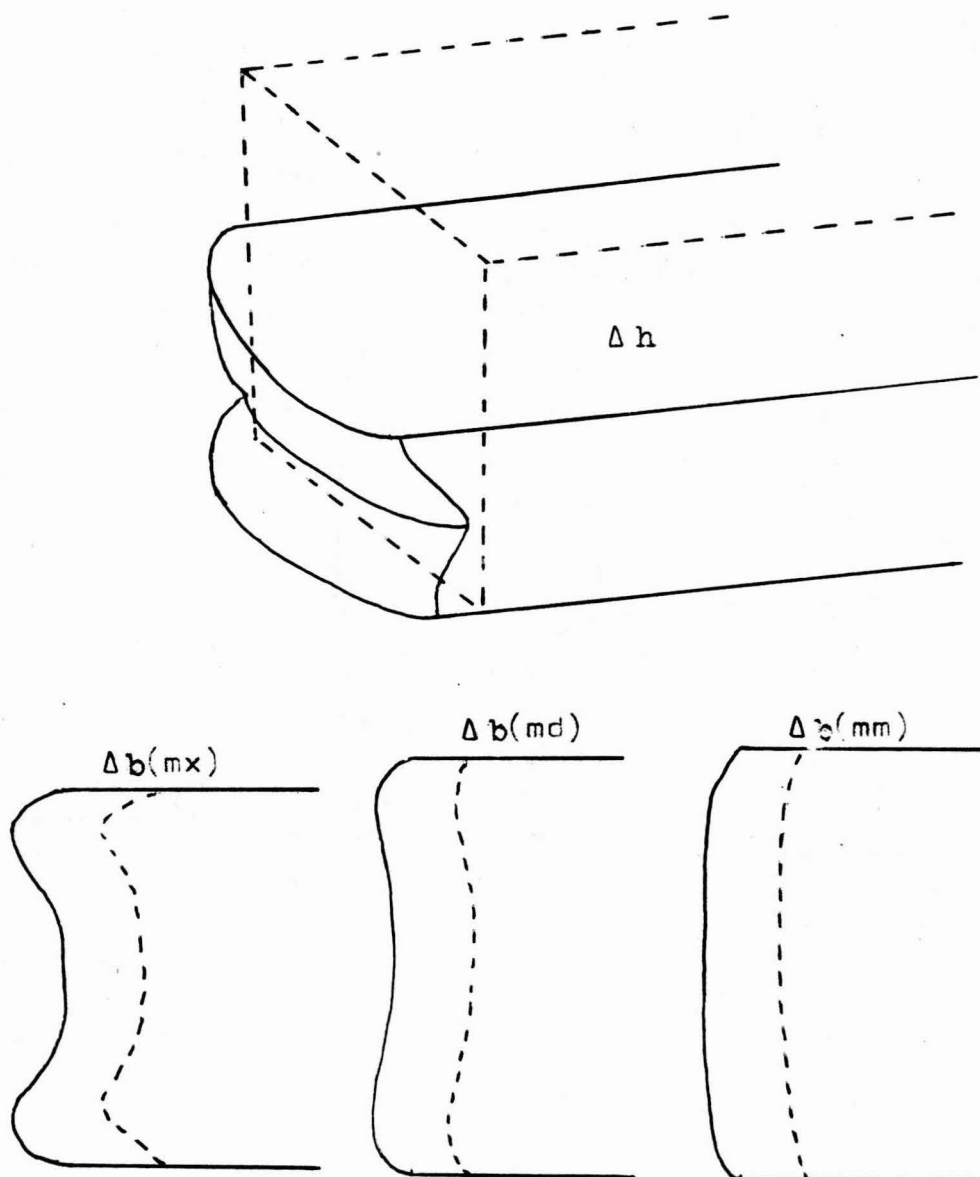


Fig. 9- Formas de pontas pela sobreposição do 'rabo-de-peixe' à 'bolsa mecânica', sendo $\Delta h = 50\%$ e $\Delta b = 20\%$ (mm), 40% (md)' e 60% (mx) de Δh , respectivamente.

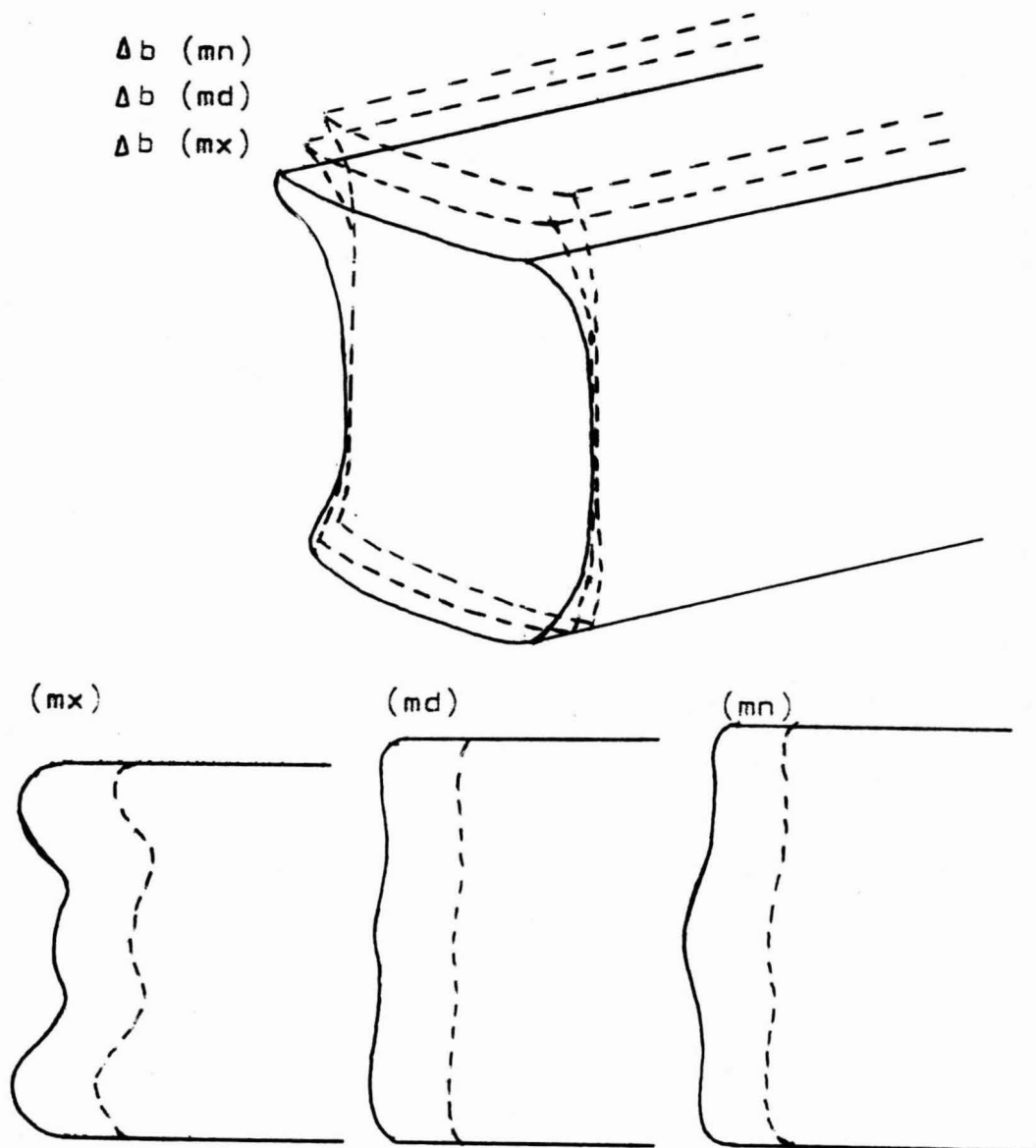


Fig. 10- Formas de pontas pela sobreposição da 'bolsa mecânica' ao "rabo-de-peixe", sendo $\Delta b = 20\%$ (mn), 40% (md) e 60% (mx) de Δh , respectivamente, e $\Delta h = 50\%$.



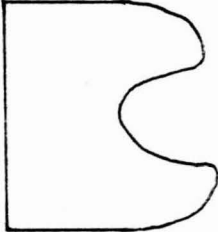






		Redução Total de Largura (Δb)		
		100mm	300mm	500mm
Espessura da placa qdo. da redução de largura ($t_0=900\text{mm}$)	460mm			
	360mm			
	260mm			

Fig. 11- Tipos de pontas obtidos em função da variação de $\frac{\Delta b}{\Delta t}$, com escala piloto (Laminador Universal).

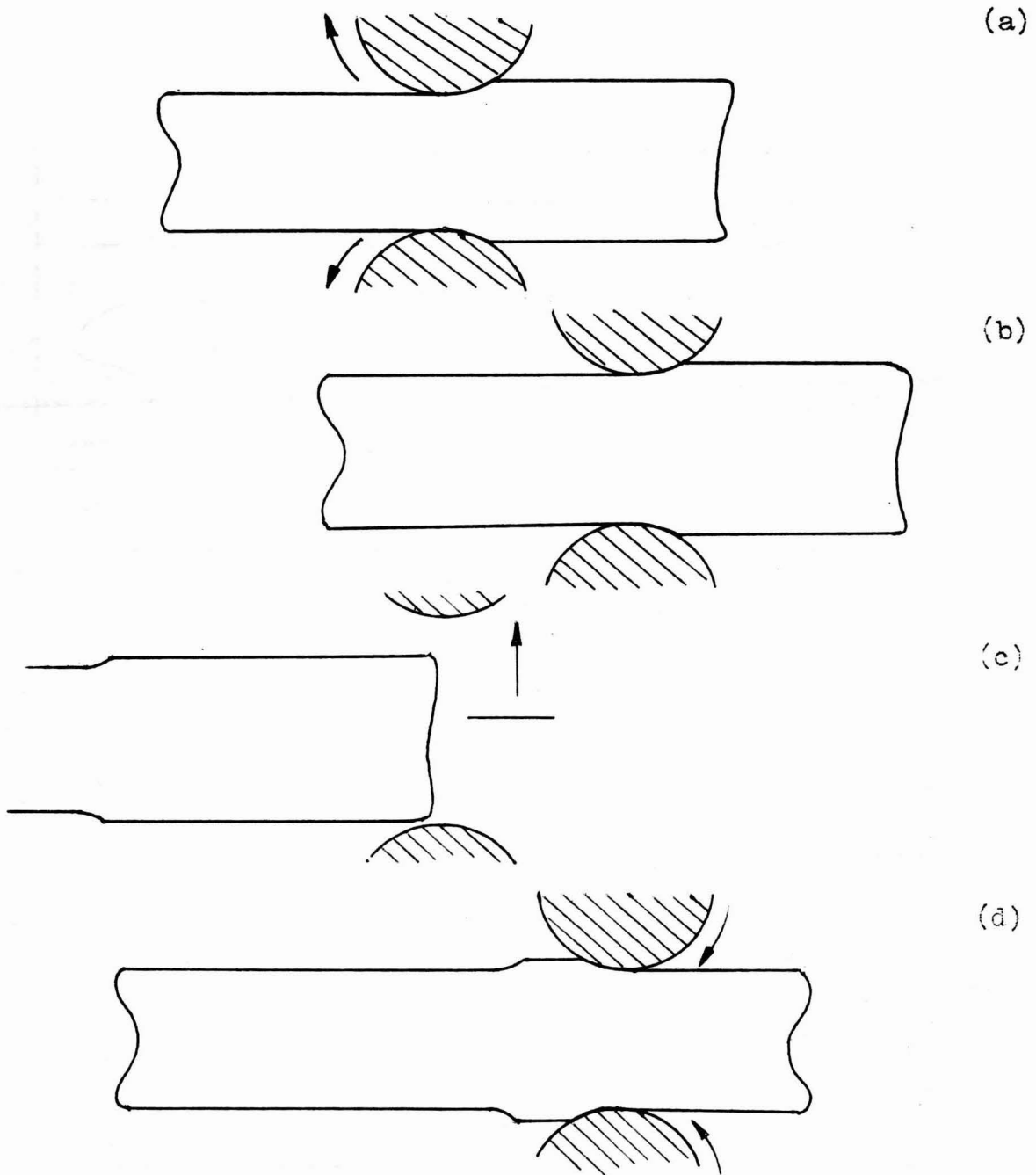


Fig. 12- Laminação com semi-passes:

(a) redução até metade do comprimento do lingote;
 (b) interrupção da rotação dos cilindros; (c) elevação do cilindro superior e término da passagem do lingote, e (d) aplicação complementar da redução iniciada.

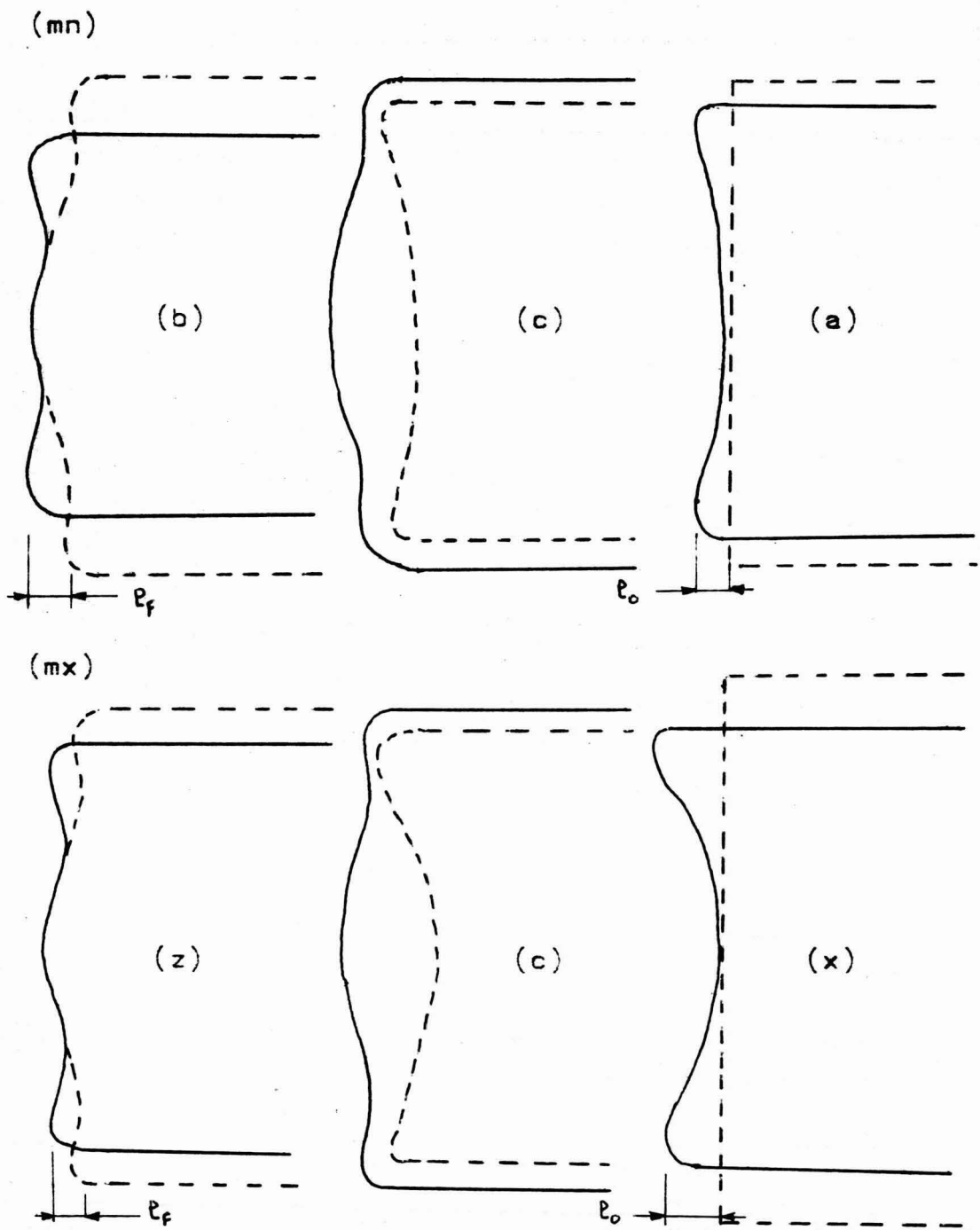


Fig. 13- Balanceamento das reduções de largura:
 (mx)-menor volume inicial de redução (a)
 e maior volume final (b);
 (mn)-maior volume inicial (x) e menor vo-
 lume final (z). Há a compensação do "ra-
 bo-de-peixe (positivo)" pelo "rabo-de-
 peixe (negativo)" quando das reduções
 de espessura (c).


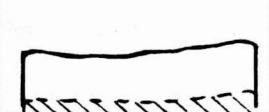

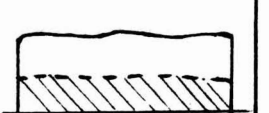
Redução Mínima(mn)		Redução Máxima(mx)	
Escala NORMAL	Escala EXPERIMENTAL	Escala NORMAL	Escala EXPERIMENTAL
1220	1170	1390	1390
645	645	1330	1340
600	600	1260	660
550	550	650	615
500	500	610	575
450	450	570	525
400	395	515	470
350	350	475	420
310	305	430	370
280	285	380	330
1210	1160	335	300
1110	1065	300	280
280	242	280	1350
1110	224	1260	1250
1075	1109	1165	300
240		250	281
224		234	1250
1110		1212	1170
			250
			234
			1212
Lingote 682 x 1250	Lingote 682 x 1250	Lingote 704 x 1450	Lingote 704 x 1450
Placa 220 x 1085	Placa 220 x 1085	Placa 230 x 1185	Placa 230 x 1185
			

Fig. 14- Escalas de passes aplicadas e respectivas pontas de placas obtidas.