

XVIII CONFERÊNCIA CIENTÍFICA DA A.B.M.

I PARTE: NOVOS MÉTODOS DE FABRICAÇÃO DE AÇO — PROCESSO DOS CONVERSORES A OXIGÊNIO ⁽¹⁾ ⁽³⁾

TADASHI IKEDA ⁽²⁾

1. INTRODUÇÃO

Durante um período bastante longo, o processo SM de elaboração de aço não sofreu alterações que pudessem ser tidas como revolucionárias. Recentemente, porém, muitos novos métodos — Kaldo, Roter, da “caçamba oscilante” (shaking ladle) — foram idealizados e outros ainda estão sendo estudados. Deles, o chamado L-D ou do conversor a oxigênio, já posto em prática em muitas usinas, demonstrou ser excelente, dadas as características que seus produtos apresentam. Por outro lado, a procura de produtos siderúrgicos planos aumenta consideravelmente; deles exige-se mais qualidade. E ocorre que o L-D está justamente à altura para satisfazer as especificações mais severas.

Ciente dessas vantagens, a USIMINAS decidiu instalar em sua usina uma aciaria L-D, a qual, ao lado de outras modernas unidades, a transformação numa das mais aperfeiçoadas siderúrgicas integradas existentes.

Doutro lado, é certa a afirmativa de que somente da conjugação de boa maquinaria e da aplicação de bons sistemas administrativos resultarão alta eficiência e produtividade. Assim, para o pleno atendimento dos consumidores, torna-se necessário entrosar o objetivo de produzir bom aço com equipamento moderno,

(1) Conferência Científica proferida na Usina «Intendente Câmara», da USIMINAS, em Ipatinga, MG, por ocasião do XVIII Congresso Anual da ABM; julho de 1963.

(2) Membro da ABM e engenheiro metalurgista pela Universidade de Kyoto, Japão; ex-Diretor Geral da Usina de Tobata da Yawata Iron & Steel Co. No Brasil desde 1962, ocupa o posto de Diretor Técnico da Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais S.A. «USIMINAS»; Ipatinga, MG.

(3) Tradução dos engenheiros Nilo Alvaro Miranda e Teruo Yonekura, engenheiros da USIMINAS. Revisão da Secretaria da ABM.

manejado sob eficiente sistema de controle. Este aspecto é o que constitui a II Parte desta conferência.

Lembro outrossim que os dados que serão aqui apresentados foram coligidos da minha experiência pessoal em usinas do Japão.

2. ELABORAÇÃO DO AÇO. PROCESSO DO OXIGÊNIO

Em 1953, foi utilizado, pela primeira vez, o chamado processo LD, em Linz, na Austria. Embora novo o processo, a idéia fundamental era bem mais antiga.

Os chamados processos de conversores são os conhecidos por "Bessemer" ou "Thomas", cuja produtividade e custo operacional alcançaram melhor resultado do que o Siemens-Martin. Contudo, o aço Thomas, apesar de suas altas qualidades de trabalho a quente, é insatisfatório para tratamento a frio, devido ao alto teor de fósforo, nitrogênio e oxigênio que contém. No esforço de solucionar tal problema, vários aperfeiçoamentos foram estudados para o processo Thomas, principalmente na Europa; métodos foram utilizados para reduzir o teor de fósforo e nitrogênio. No conversor tipo Thomas, o ar é soprado de baixo para cima, e a absorção do nitrogênio torna-se inevitável; sendo necessária grande quantidade de fósforo para produzir calor, resulta numa grande concentração deste elemento no aço produzido. Se ao jato soprado for adicionado oxigênio (30% de teor O_2), o período de purificação pode ser reduzido e maior quantidade de minério de ferro pode ser adicionada para esfriamento e formação de escória. O resultado da utilização deste método é a redução do teor de nitrogênio, de 0,015 a 0,020% para 0,010%, e o de fósforo, de 0,05 a 0,07%, para 0,03 até 0,05%.

Esse uso do oxigênio foi sempre reconhecido como de grande valor nos processos de conversores. Contudo, em 1936 a Alemanha e a Rússia fracassaram em suas experiências de maior teor de oxigênio nas sopragens, devido às avarias observadas nas ventaneiras, mesmo após os primeiros sopros. Por esta razão, o teor de oxigênio era sempre limitado a 40%. A prática habitual consiste em adicionar vapor d'água (ou bióxido de carbono), e oxigênio no jato; a absorção de calor (dada a dissociação de H_2O ou CO_2) evita as avarias nas ventaneiras.

O princípio fundamental do conversor a oxigênio é o do sôpro de oxigênio puro, através de uma lança, resfriada a água, colocada verticalmente acima do banho. Não há problema de avarias dos refratários das ventaneiras.

A Figura 1 representa o conversor pròpriamente dito com a respectiva lança, no centro de sua abertura superior. Oxigênio é injetado a uma velocidade igual a duas ou três vêzes a velocidade do som e provoca movimentação do metal, como indicado.

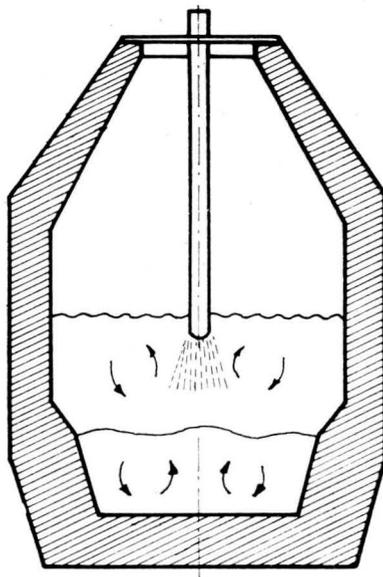


Fig. 1 — Corte esquemático do conversor LD; vêem-se a lanca de oxigênio e os movimentos do banho.

Uma imediata e violenta reação entre o oxigênio e o metal líquido se processa; a temperatura no centro do banho eleva-se a 2.500° até 3.000°C, acelerando as reações. Elementos oxidados (como o Fe O, Mn O, Si² e P₂O⁵) formam uma escória altamente oxidada com o calcário, que foi adicionado no início da soproagem.

Gradientes de temperatura, de composição e de densidades se formam entre o centro e a periferia do banho; o aço do centro afunda-se e mistura-se com o metal líquido, purificando-o devido à alta temperatura e grau de oxidação.

A descarbonetação produz o gás carbônico, que causa a ebulição do banho, promove a circulação do líquido e provoca íntimas reações entre o metal e a escória. Isso acelera a operação e transforma outras impurezas oxidadas em escória.

O excesso de oxigênio combina-se com vapores de ferro na zona das altas temperaturas e é expulso do forno. Essa é uma

das características do processo, a de que a reação automaticamente se ajusta, de forma que o oxigênio no banho entra em equilíbrio com seu teor de carbono. No final do período de refino, a reação vai desaparecendo, e a circulação, que depende da diferença da gravidade específica, se reduz aos poucos. Nessas condições, não há mais reação do aço com o excesso de oxigênio.

Comparado com o processo Siemens-Martin, o oxigênio no metal líquido permanece sempre em um nível baixo; cerca de 20% mais baixo quando se trata do refino de aço com teor baixo de carbono. Outra vantagem do conversor a oxigênio é o teor baixo de nitrogênio residual, pelo menos 0,001% mais baixo do que o nível do processo Siemens-Martin, como resultado da alta pureza do sôpro do oxigênio (99,5% Min.).

Uma comparação sobre a remoção de impurezas entre o processo Thomas e conversor a oxigênio é representada na fig. 2. Em ambos os casos, o silício é oxidado em primeiro lugar e completamente queimado após 5 ou 6 minutos. Da mesma forma, o manganês é removido entre 6 e 7 minutos; mas, no conversor a oxigênio, o manganês é reduzido da escória com o aumento da temperatura, sendo finalmente reoxidado no fim do ciclo. Dêste fenômeno resulta a chamada "curva do manganês", como ilustra a figura mencionada.

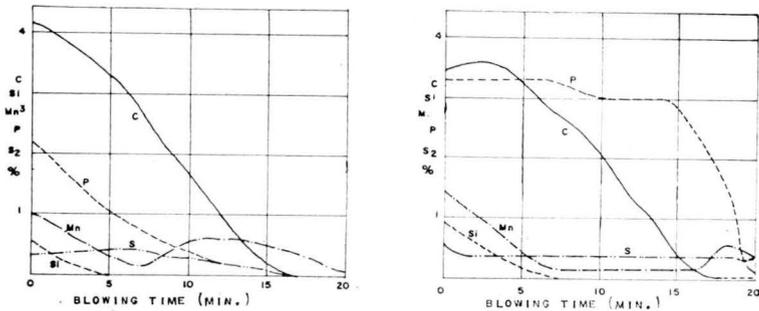


Fig. 2 — a) — Variação dos teores de C, Si, Mn, P e S no aço durante o sopro do conversor a oxigênio. b) — Variação dos teores de C, Si, Mn, P e S no aço durante o sopro de um conversor Thomas.

O enxôfre, que fica relativamente intacto em outros processos de fabricação de aço, é removido em cerca de 50% no conversor a oxigênio, pela ação da alta temperatura do centro da massa líquida.

O conversor a oxigênio difere substancialmente do processo Thomas na reação de desfosforação. No processo Thomas a reação só se processa depois que todo carbono se oxida; no conversor LD, a desfosforação e a descarbonetação se processam simultaneamente. Este fato é devido à rápida fusão do calcário na superfície do banho e a formação de escória cálcio-ferrítica que reage prontamente com P_2O_5 . Aproximadamente 50% do fósforo é removido durante o chamado "sopro de silício".

A remoção de carbono se acelera com o aumento da temperatura no conteúdo do conversor, e a velocidade desta reação é constante durante 15 ou 16 minutos, aproximadamente. Uma grande quantidade de FeO é produzida nos primeiros oito minutos da sopragem, até alcançar 25 a 30%, aumentando a fluidez e atividade da escória. Durante a reação a escória FeO diminui a cerca de 10 — 12% o teor de carbono de cerca de 0,07% no aço. O teor de FeO aumenta proporcionalmente com a redução do teor de carbono. Fe_2O_3 na escória final se encontra na proporção normal de 5 — 6% e o ferro total na escória é usualmente inferior a 15%.

Como se pôde observar no mecanismo da reação acima descrita, o conversor a oxigênio naturalmente é o mais aconselhável para a produção de aço de teor baixo de carbono e de inúmeros tipos de aços de qualidade. Na Europa se produzem aços inoxidáveis 18-8Ni-Cr pelo processo LD.

No Japão, as usinas da Nippon Koban K.K. e Ywata Iron & Steel Co., Ltd. fizeram pesquisas e discutiram, entre si, a fabricação de chapas de aço para navios através do conversor LD. Finalmente foi aprovada a pesquisa pela Associação de Indústria Naval do Japão e posta em prática com sucesso.

Nippon Kokan K.K. alcançou também sucesso na fabricação de aços de qualidade para tubos, pela adoção do método de carga leve, ou processo "two-slag", com redução de cromo (Cr) extraído da grande quantidade de minério de cromo adicionada. Além disso, tornou-se possível a obtenção de aço carbono de alto teor para peças de máquinas, com a utilização de materiais carbonetantes.

Na Yawata já se tornou rotina a fabricação de aço de alto limite elástico com resistência de cerca de 50 kg/mm², com a utilização do processo chamado "two-slag". Também a companhia Amagasaki Iron & Steel, Co., Ltd. produz grande quantidade de aço-carbono de médio teor e aço de alta resistência à tração para perfis, usando o processo L.D. Além desses exemplos, inúmeras pesquisas e testes são constantemente realizados presentemente, provando a ampla diversificação do aço obtido pelo processo L.D.

3. CARACTERÍSTICAS DO CONVERSOR L-D

Comparado com o processo Siemens-Martin, o processo LD oferece as seguintes vantagens:

- a) *Alta produtividade* — Devido ao curto período de refino, são necessárias instalações menores para uma produção mais eficiente.
- b) *Baixo custo de operação* — Desnecessidade de combustível adicional, o que não acontece com o processo Siemens-Martin. Menor número de operadores no processo L.D.
- c) *Menor quantidade de sucata de aço* — O consumo de sucata é atualmente de cerca de 15 a 25%, e pode ser reduzido. Esta quantidade é usada para resfriamento da carga, principalmente; se necessário, pode ser substituída por minério de ferro e calcário. Em países como o Japão onde o mercado de sucata é instável, torna-se evidente a vantagem de sua melhor utilização.

A utilização de sucata comprada para a fabricação de aço de qualidade não é aconselhada, dada a possibilidade de contaminação através de elementos como Cu, Sn, Ni e Cr. Para evitar essa contaminação é necessário limitar o uso da sucata às sobras dos laminadores.

Embora o consumo baixo de sucata seja considerado vantajoso para o processo L.D., deve-se observar que o processo pode acomodar percentagens reforçadas de sucata, sempre que o seu preço e qualidade forem favoráveis.

- d) *Instalações menores* — Comparado com a capacidade total de produção, a proporção de aço produzido por carga é relativamente menor, de modo a dispensar instalações de grande porte e pontes rolantes maiores, o que acontece com o processo Siemens-Martin. A operação é mais continuada, com corridas realizadas com intervalos curtos e regulares; a lingotagem é feita em instalações mais compactas. Melhores teores de oxigênio e carbono já foram explicadas. O processo Siemens-Martin tem uma pequena vantagem quanto à remoção de fósforo, mas esse fato não tem muita significação quando o gusa contém menos do que 0,22% de fósforo. A técnica atual do Conversor reduz o teor final de fósforo a menos de 0,020%.

4. EQUIPAMENTOS DA ACIARIA L-D

a) *Misturador* — A operação do conversor deve ser determinada em concordância com a composição e temperatura do gusa em fusão, para a obtenção de um produto uniforme. O controle adequado da carga pode ser realizado através de uma análise constante do ferro gusa; as condições dessa operação contudo são melhor determinadas com um grande misturador, como o de 1.000 t ou de maior capacidade.

b) *Conversores* — Em primeiro lugar carrega-se a sucata, na proporção de 15 — 25% do total; a proporção certa dependendo da composição e temperatura do metal em fusão, e da composição desejada para o produto final.

O metal em fusão proveniente do misturador é então carregado. Em seguida a lança de oxigênio é abaixada e ajustada para o refino. A sopragem é controlada a distância, da cabine de controle, em frente ao conversor; simultaneamente adicionam-se os materiais que produzem a escória.

O refino, dura 18 a 22 minutos habitualmente. No princípio observa-se uma chama avermelhada resultante da oxidação do silício, que se transforma; depois de cinco a seis minutos, muda em uma chama brilhante, como resultado da grande reação oxidante do carbono. O desaparecimento da chama indica o fim do refino.

Para cada período de refino devem ser usados controles específicos de quantidade de oxigênio, para a obtenção de melhores efeitos na qualidade do produto e para eficiência da operação.

Durante o processo, mais ou menos na metade de seu período, há um aumento da temperatura, e o fósforo, oxidado no início, tende a se reduzir da escória; dessa forma, a temperatura da escória deve ser mantida inferior, adicionando-se calcário em certos intervalos. Ao término do refino, quando a chama se desvanece, suspende-se a lança.

Remove-se a escória inclinando-se o conversor; ao mesmo tempo, ao se medir a temperatura (pirômetro de imersão), retira-se uma pequena quantidade para os ensaios. A temperatura é habitualmente de 1660°C. Se fôr muito baixa, o refino é repetido; se muito quente o metal líquido é deixado para resfriamento, ou então adiciona-se mais sucata. Depois o metal em fusão é derramado nas çaçambas.

- c) *Lingotagem* — Em princípio a prática para lingotagem não difere da dos outros processos, mas as lingoteiras e caçambas devem ser preparadas rapidamente devido aos curtos intervalos das corridas. Podem ser enchidos eficientemente lingotes de 14 até 23 toneladas.
- d) *Fábrica de oxigênio* — A razão principal da superioridade do processo L-D em relação ao SM (à parte as vantagens da qualidade e do custo de produção) resultou da obtenção de oxigênio industrial de grande pureza e a preço econômico (oxygen tonnage). No Japão, em 10 firmas siderúrgicas, possuem um total de 49 fábricas de oxigênio; delas, dez têm capacidade entre 6.000 N m³/hora e mais de 10.000 N m³/hora. Há 11 pequenas instalações de menos de 2.000 N m³/hora. Normalmente a manipulação das instalações para oxigênio não oferece perigo, mas, devido à alta pressão, até uma falha leve pode causar acidentes sérios. No Japão houve vários casos de tais acidentes (alguns deles, causadores de mortes) devido a descargas de eletricidade estática nas peças de desidratação, explosões causadas por fricção e choque, ou em válvulas de motores, etc. Por êsse motivo recomenda-se o maior cuidado no manejo dos instrumentos de controle de pressão da fábrica de oxigênio.
- e) *Equipamentos coletores do pó* — Das instalações de uma aciaria LD, a de maior custo e a mais complexa é a dos coletores do pó arrastado pelos gases dos conversores. Até a presente data muitos equipamentos têm sido aplicados, cada um deles com vantagens e desvantagens. No Japão, por exemplo, sete firmas operando um total de 23 conversores de capacidade oscilando entre 30 t/carga e 130 t/carga, empregam 12 instalações coletoras do pó, de várias marcas. Delas, a da usina de Tobata, da Yawata Iron & Steel, com duas unidades 130 t/carga, foi aperfeiçoada, tornando mais baixo seu custo e o de sua operação, com aproveitamento do calor latente dos gases. Há interêsse geral no mundo todo por esta pesquisa e seus resultados; fabricante alemão já propôs acôrdo, em bases técnicas, com a Yawata, para sua aplicação.

5. REFRAATÁRIOS DO CONVERSOR L-D

Os refratários têm papel importante em todos os processos — Siemens-Martin, Thomas e L.D. A parte inferior do conver-

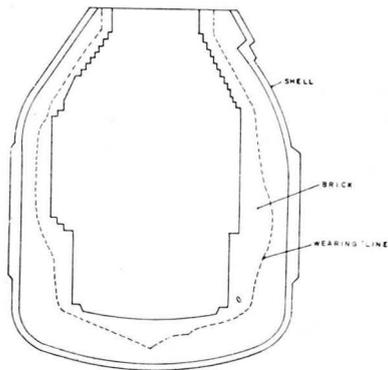


Fig. 3 — Conversor LD e perfil de seu revestimento refratário. Em pontilhado, o mesmo perfil depois de uma campanha de 303 sopros.

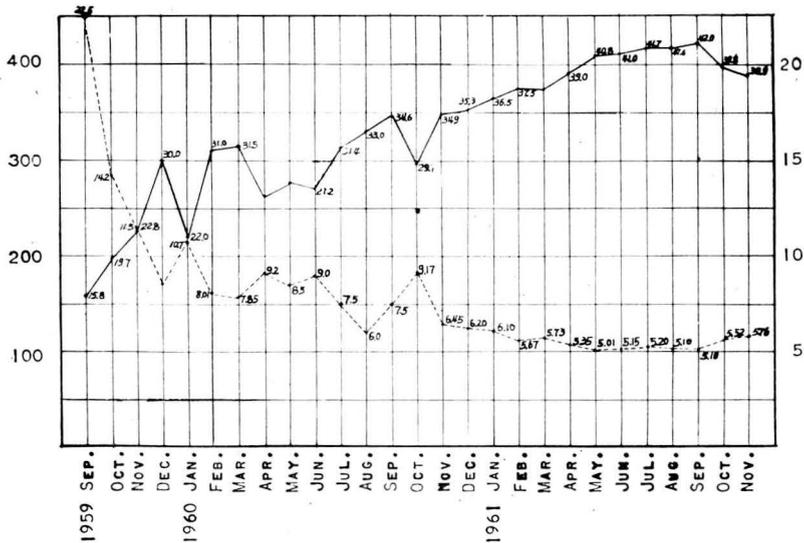


Fig. 4 — Na Usina de Tobata, Japão, em virtude de melhoramentos sucessivos no revestimento de conversores LD, foi possível aumentar-lhe a duração e diminuir o consumo de refratários.

sor Thomas deve ser substituída após 50 corridas, aproximadamente, e o corpo próprio dito após 400 corridas, devido ao desgaste nas ventaneiras. Os conversores a oxigênio L.D., naturalmente, não necessitam reparos tão frequentes, o que representa aumento na eficiência de operação.

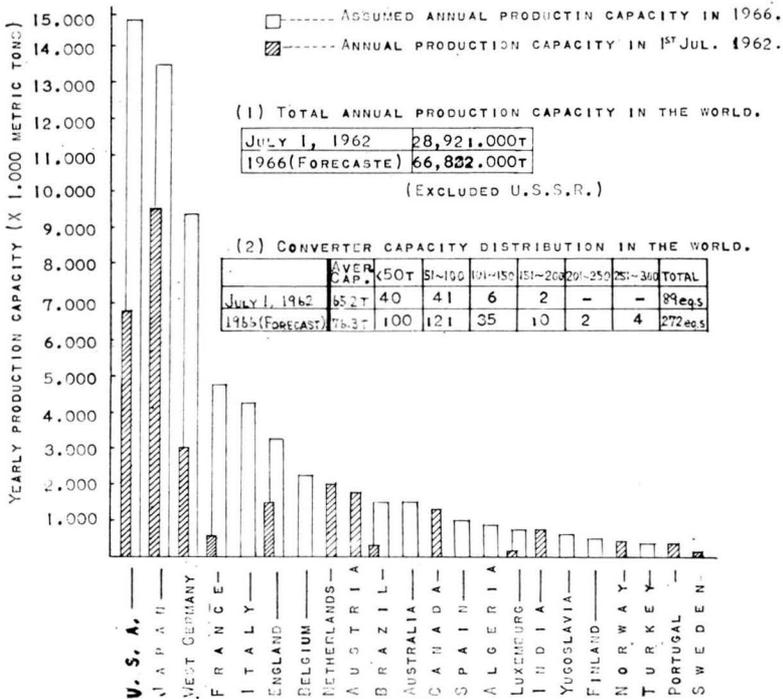


Fig. 5 — Em colunas hachuradas, por países, capacidade de produção dos conversores a oxigênio em julho de 1962; nas colunas em branco, previsões de produção para 1966. Fonte: Kaiser Engineers Division; julho de 1962.

A linha de construção e de desgaste do conversor estão representados na fig. 3. Exemplos da composição e propriedades dos refratários estão representados no Quadro 3. Embora a temperatura do centro do metal fluído exceda a 2.500°C, no centro da parede do conversor ela é de somente 1.600°C. Refratários de dolomita são adequados para manter essas condições.

No início da operação dos conversores, o comportamento de seus revestimentos refratários não dava bons resultados. Contudo, aperfeiçoamentos posteriores na usina de Tobata (adaptação de dois tipos diferentes de tijolos refratários; estudos do perfil, da espessura das paredes e da qualidade dos tijolos a serem usados nas diferentes zonas) resultaram na elevação da vida do revestimento a uma média de 420 corridas, com redução do consumo específico a 4,9 kg/t de aço. A figura 4 ilustra a evolução desses aperfeiçoamentos, expressa em número de sôpros e consumo específico de refratários (tijolos e argamassa).

NAME OF COMPANY	NAME OF PLANT	OPERATION COMMENCED	NOMINAL CAPACITY	ACTUAL QTY. DISCHARGED	QTY. EQ.	LATEST PRODUCTION, TON PER MONTH					PIG IRON RATIO (%)	LIFE OF LINING (Nº OF BLOWS)	
						1961				1962		Max.	Average
						SEP.	OCT.	NOV.	DEC.	JAN.			
NIPPON KOKAN K. K.	KAWASAKI	JAN.1958	42	50	2	57.000	62.000	58.000	60.000	53.000	85.0	373	306
	MIZUE	MAR.1960	60	78	2	78.000	85.000	83.000	83.000	81.000	84.2	279	247
YAWATA IRON & STEEL CO., LTD.	KUKIYOKA	SEP.1957	50	61,5	2	31.000	54.000	62.000	66.000	63.000	73.0	363	318
	TOBATA Nº1	SEP.1959	60	70.5	2	142.000	145.000	141.000	143.000	141.000	74.3	434	415
		OCT.1960	70	79.1	1							411	388
	TOBATA Nº 2	MAR.1962	130	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-
FUJI IRON & STEEL Co., LTD.	HIROHATA	NOV.1960	60	73	2	67.000	71.000	63.000	70.000	65.000	73.4	380	328
	MURORAN	JUL.1961	70	97	2	49.000	65.000	65.000	78.000	84.000	96.6	320	262
SUMITOMO METAL IND. LTD.	KOKURA	MAY.1961	40	46	2	70.000	33.000	33.000	31.000	19.000	82.0	339	317
AMAGASAKI IRON & STEEL MFG.CO., LTD.	AMAGA-SAKI	SEP.1960	30	35	2	26.000	29.000	26.000	30.000	29.000	83.8	563	475
KOBE STEEL WORKS, LTD.	KOBE	NOV.1961	60	62	2	-	-	3.000	10.000	28.000	-	-	-
KAWASAKI STEEL CORP.	CHIBA	APR.1962	150	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela I — Dados de operação dos conversores a oxigênio das usinas siderúrgicas do Japão; compreendem os anos de 1961 e 1962.

O quadro seguinte resume as características físicas e a composição química dos refratários ora usados:

Características	Tijolos dolomita calcinada			Tijolos dolomita c/ piche
	Normal	Baixa porosid.	Resist. escoria	
Densidade aparente	2,72	2,89	2,87	2,86
Porosidade, %	20,3	1,57	16,5	7,2
Resist. comp. kg/cm ²	698	844	690	387
Refrat. sob carga, T ₀ C	1.600	1.635	1.630	1.670
Compos. química, %				
Si O ₂	12,0	12,0	8,6	3,13
Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃	5,3	5,4	5,3	4,91
CaO	32,9	33,9	20,7	30,59
MgO	50,3	48,8	65,5	54,45

6. CONVERSORES LD NO MUNDO E NO JAPÃO

Segundo recente publicação da "Kaiser Engineering Division", apresentamos na figura 5 uma relação dos conversores a oxigênio em operação no mundo, com a respectiva previsão de produção. As colunas hachuradas se referem à produção anual em julho de 1962; a do Japão ocupa o primeiro lugar, com cêrca de 9,5 M t; segue-se-lhe os Estados Unidos da America do Norte com cêrca de 7 M t. A do Brasil figura em 10.º lugar na previsão para 1966.

A tabela I resume dados de operação dos conversores a oxigênio do Japão.

A figura 6 resume a produção de aço em lingotes no Japão; vê-se que em 1962 o aço LD alcançou 8,44 M t, correspondendo a 30,6% do total. Por um quadro distribuído, vê-se também que a evolução do LD no Japão data de 1957, com as 50 t × 2 unidades da usina de Yawata. Ano após ano, novas unidades foram se somando nas outras usinas; em 1962 aparecem os enormes 130 × 2 da Tobata e da Chiba; em 1963 entram em carga 130 t × 2 da Wakayama e 120 t × 2 da Hagoya. Entre 1964 e 1965, entre

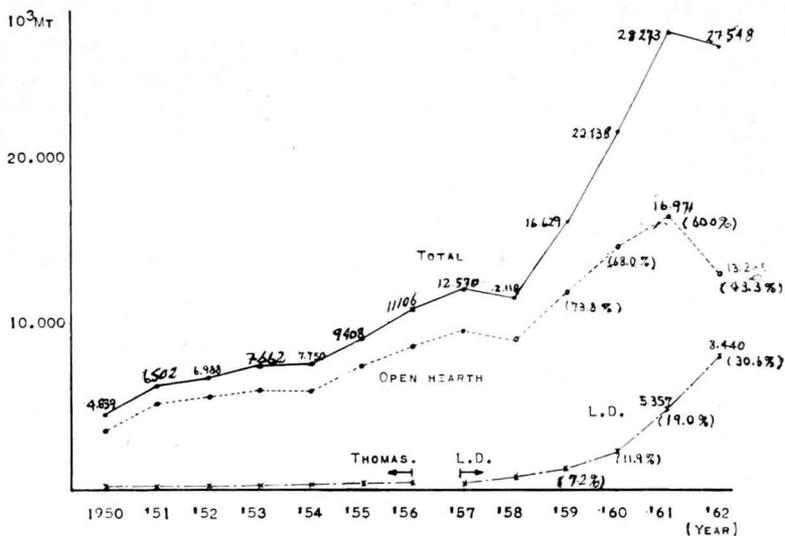


Fig. 6 — Produção siderúrgica do Japão, segundo os processos SM e LD.

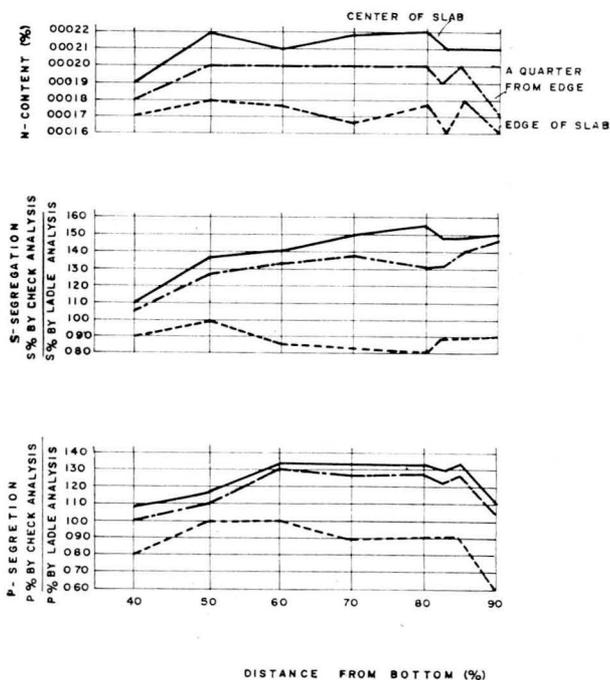


Fig. 7 — Esta figura e as de números 8, 9 e 10, formam uma sequência. Variações das características ao longo de grandes lingotes de aço — oxigênio efervescente; ensaios em tiras de 1 mm de bitola. Nesta figura: segregação de P, S e N.

outras unidades, entrarão em carga 130 t×3 da Saka e 13 t×2 da Fukuyama. Em resumo, em 20 usinas do Japão, estão sendo operados 44 conversores de várias capacidades, o que explica o surto do LD na produção siderúrgica daquele País.

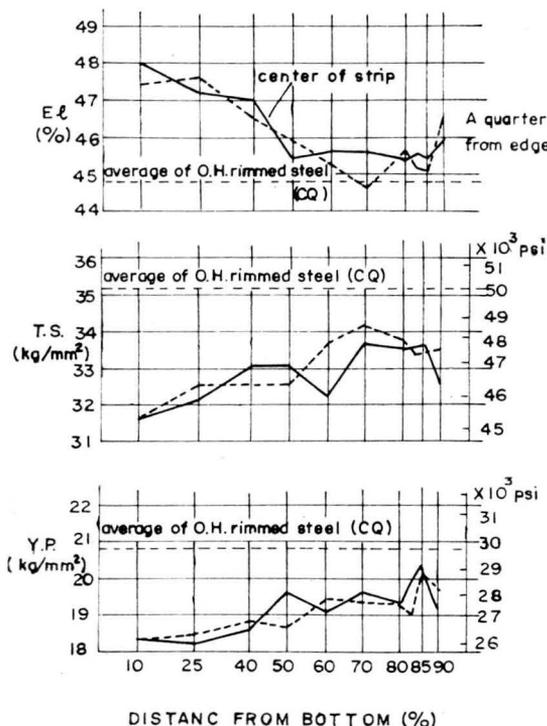


Fig. 8 — Ver fig. 7; variação das propriedades mecânicas; direção L; alongamento em 50 mm.

7. QUALIDADES DO AÇO L-D

- a) *Necessidade e propriedades de lingotes grandes* — Como foi explicado, para os conversores a oxigênio é inevitável o emprego de grandes lingotes, para aumentar a eficiência do pátio de lingotagem. Por outro lado, os lingotes maiores envolvem problemas de mais acentuada segregação. Surgiram assim dificuldades na aplicação de, por exemplo, chapas desse aço em casos mais severos, como os de estampagem profunda para auto-veículos.

Em lingotes de 14 até 20 t, procedeu-se a exaustivos ensaios visando verificar a homogeneidade de suas ca-

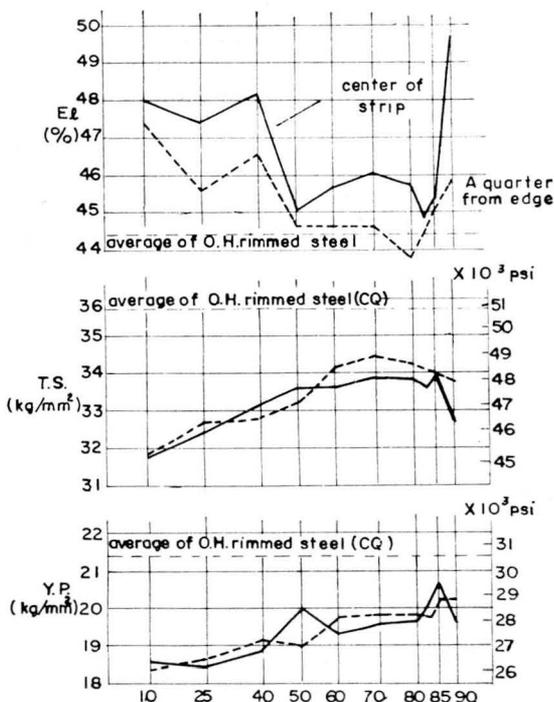


Fig. 9 — Ver figura 7; variação das propriedades mecânicas; direção C; alongamento em 50 mm. Distância do fundo %.

racterísticas. Foram também cuidadosamente examinadas a composição química e as propriedades mecânicas de tiras laminadas a frio, de 1 mm de bitola, providas de grandes lingotes de aço efervescente. Os resultados dessa pesquisa figuram nos gráficos das figuras 7, 8, 9 e 10. Indicam uma gradação relativamente pequena de propriedades para lingotes de aço efervescente.

- b) *Propriedades químicas e granulação* — O aço efervescente é aplicado na fabricação de chapas de tipo comercial e especiais para estampagem profunda; neste último caso, as tolerâncias nos teores de impurezas são apertadas. As figuras 11 e 12 apresentam composições típicas de ambas as qualidades, para aço LD e para aço SM. Com relação ao teor de enxofre, o conversor a oxigênio é superior ao SM; o contrário ocorre quanto aos teores de P. Para utilização comercial, nota-se no aço LD a existência de elementos indesejáveis, tais como o

FIG. 10 CHANGE IN HARDNESS AND ERICHSEN VALUE

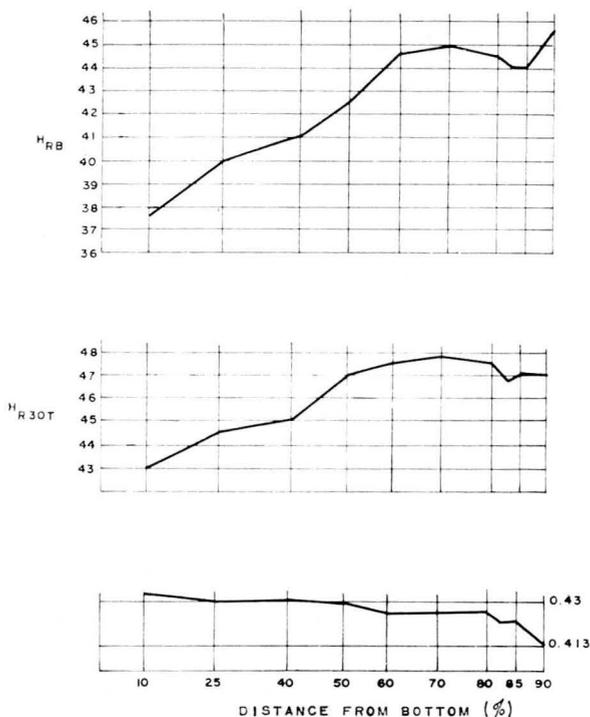


Fig. 10 — Ver figura 7; variação da dureza Rockwell e dos valores do ensaio Erichsen de embutimento profundo.

cobre. O mesmo não ocorre porém com o destinado a chapas para estampagem profunda, devido a melhor seleção de sucata não contaminada.

A figura 13 mostra que a granulação do aço LD tende a ser menor do que a do aço SM.

- c) *Propriedades mecânicas de chapas finas laminadas a quente* — No aço de conversor, essas propriedades são excelentes; as chapas finas a quente se comportam satisfatoriamente na fabricação de carroçarias da indústria automobilística. As figuras 14 e 15 dão características típicas de chapas de 2, 3 mm de bitola. A Associação Japonesa das Indústrias Automobilísticas, para essas aplicações, especifica 35% como alongamento mínimo e 45×10^3 p s i como resistência mínima à tração.

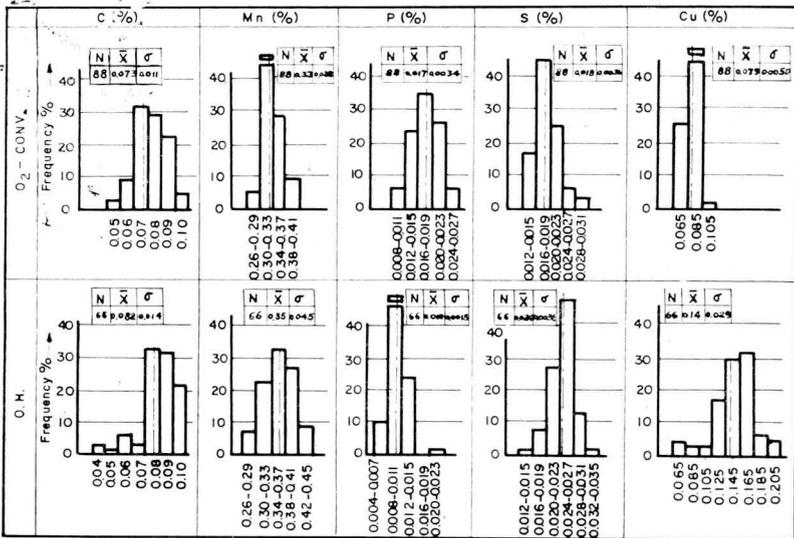


Fig. 11 — Comparação das composições químicas; qualidade comercial do aço oxigênio.

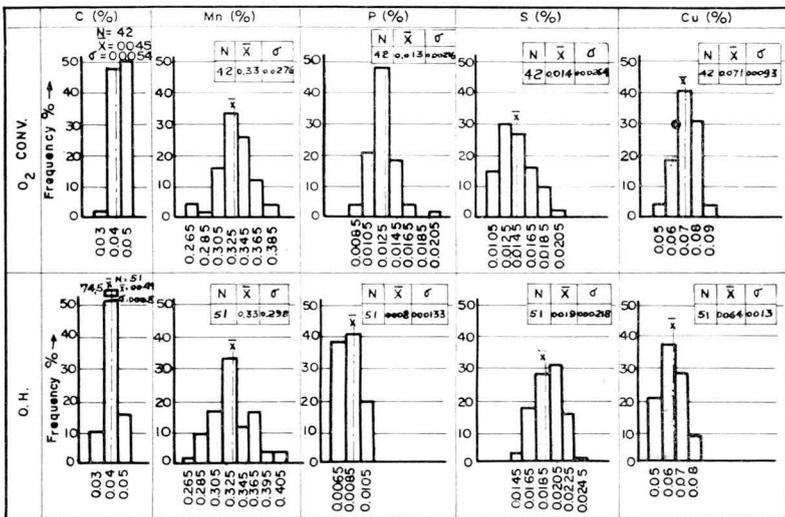


Fig. 12 — Comparação das composições químicas; qualidade para estampagem profunda.

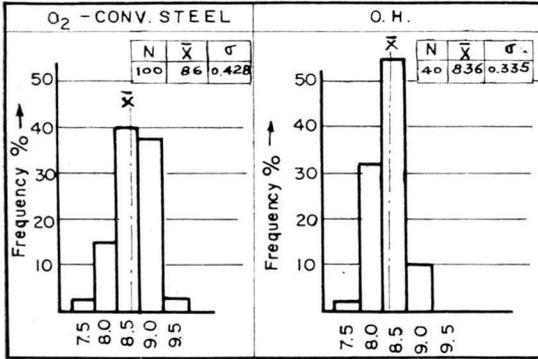


Fig. 13 — Comparação do tamanho de grãos.

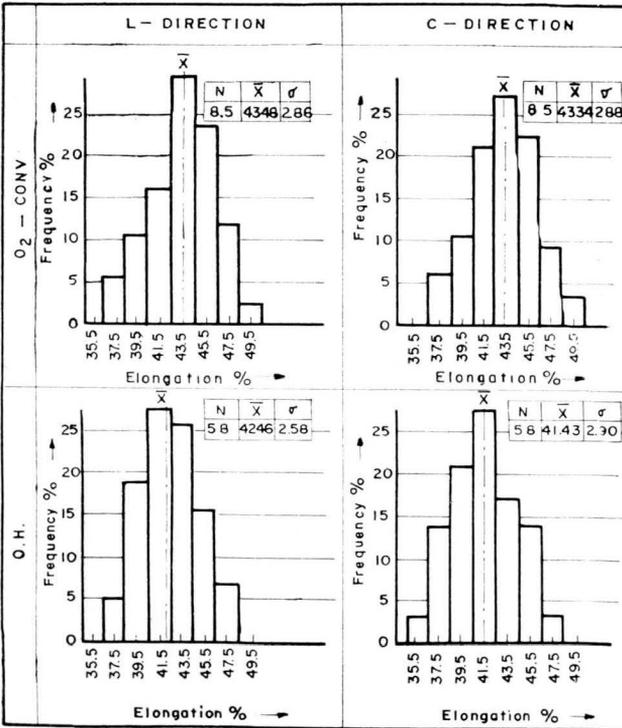


Fig. 14 — Alongamentos em chapas laminadas a quente; bitola 2,3 mm; qualidade comercial; alongamento em 50 mm.

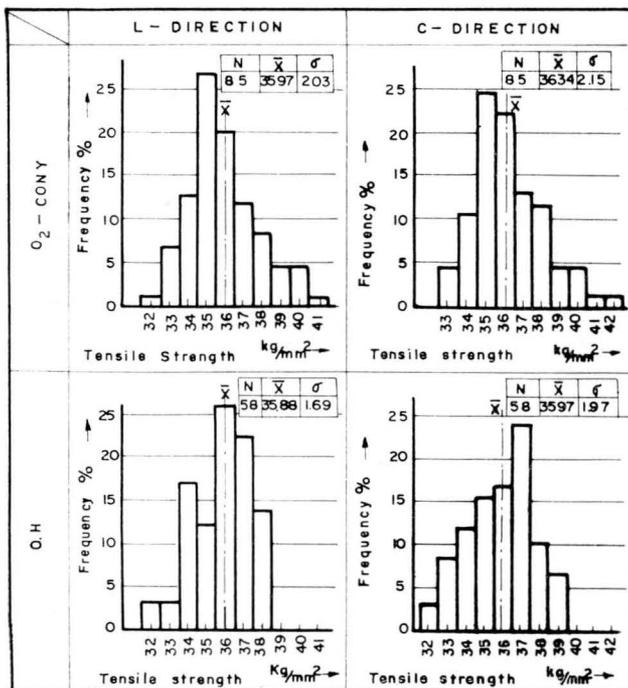


Fig. 15 — Resistências à tração comparadas em chapas laminadas a quente; bitola 2,3 mm; qualidade comercial.

- d) *Propriedades mecânicas de chapas laminadas a frio* — As propriedades em pauta encontram-se na Figura 16, para chapas de qualidade comercial. Os valores de ductibilidade do aço de conversor de qualidade comercial são melhores do que daqueles do aço do forno Siemens-Martin.
- e) *Envelhecimento* — O baixo teor de nitrogênio do aço de conversor a oxigênio torna a influência do envelhecimento menor do que a dos produtos oriundos do SM. Tal diferença é demonstrada na figura 17; seus resultados são a média dos valores de três corridas de aço LD (média 0,0017% N) e de outras tantas de aço SM (média 0,0026% N). A distribuição normal do teor de N para o aço LD está indicada na figura 18.
- f) *Qualidade para esmaltagem* — As chapas de conversor a oxigênio são indicadas de preferência para operações

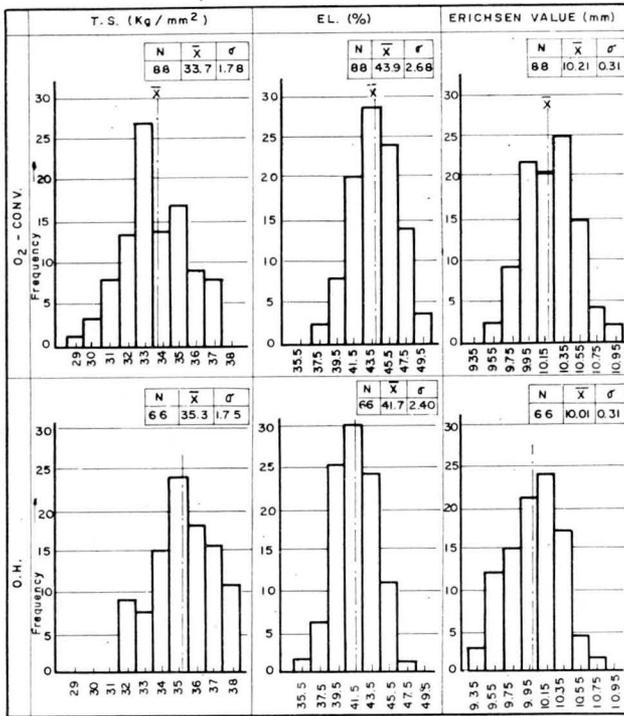


Fig. 16 — Comparação das propriedades mecânicas de chapas laminadas a frio; bitola 0,8 mm; qualidade comercial; alongamentos em 50 mm.

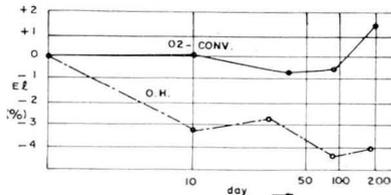


Fig. 17 — Relação comparada do alongamento em função do envelhecimento. Médias de três corridas para ambos os processos.

de esmaltagem. Para assegurar essa propriedade específica, é necessário manter nesse aço abaixo de 0,10% o total das impurezas (C, Si, Mn, P, S), as quais influenciam especialmente as características de distorção de chapa no forno de esmaltagem. Essa característica

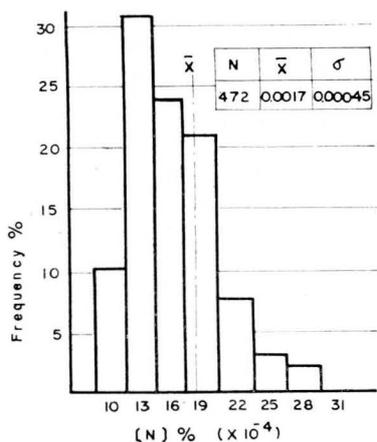


Fig. 18 — Distribuição normal do N em aço efervescente de baixo carbono, oriundo de conversor.

é avaliada pelos ensaios de “sagging”. Foram feitos ensaios de acordo com a “Japan Inspection Specification” para chapas laminadas a frio, e chapas esmaltadas seguindo a “American Enamel Association”, obtendo-se os seguintes resultados:

Temperatura e Tempo	600°C 10 min.	750°C 10 min.	870°C 10 min.
Chapas de ferro esmaltadas	0,7 mm	4,9 mm	27,2 mm
JIS SPC-1	2,2 mm	11,0 mm	46,5 mm

Os valores acima indicam a pequena deformação que se verifica na qualidade do esmalte ao cozimento, devido ao alto ponto de transformação, resultante do baixo nível de impureza. Com esta qualidade, a aderência do esmalte à superfície é excelente, sendo poucos os defeitos superficiais. É também excelente a soldagem de componentes.

São as seguintes as propriedades mecânicas típicas de chapas de 1 mm de espessura:

- Limite de escoamento 22,6 kg/mm²
- Limite de resistência 32,3 kg/mm²
- Alongamento % 39,5
- Ensaio Erichsen 10,1 mm

g) *Folha de Flandres:*

(I) — Folha de Flandres eletrolítica comum — O uso de aço de conversor a oxigênio, devido às excelentes qualidades mecânicas que pode oferecer, vem aumentando para essa aplicação. A composição química típica é a seguinte, em % : C 0,10; Mn 0,30 a 0,50; P 0,040;

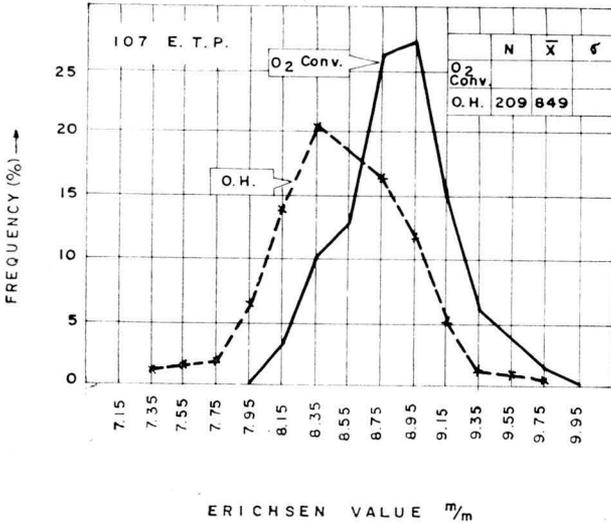


Fig. 19 — Comparação de aço oxigênio e S M em ensaios Erichsen.

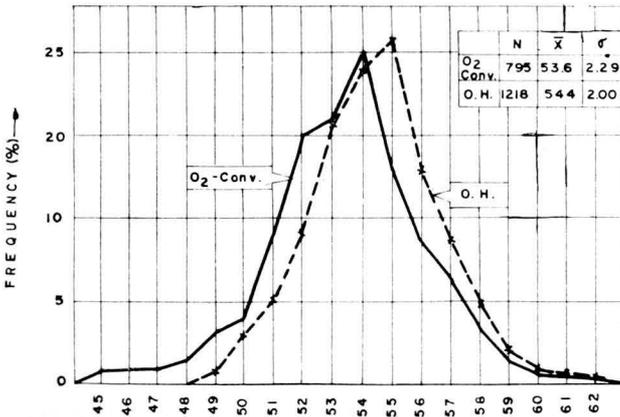


Fig. 20 — Comparação de aço — oxigênio e SM em ensaios de dureza; Rockwell superficial, escala 30 t.

S 0,040. Como mostram as figuras 19 e 20, os valores dos ensaios Erichsen são mais altos e os da dureza ligeiramente mais baixos do que os de aços equivalentes SM.

(II) *Fôlha de Flandres — Têmpera 1.*

Com o processo de conversor a oxigênio pode-se produzir facilmente aço com mais baixo teor de carbono em comparação ao do forno Siemens-Martin. É portanto este aço mais conveniente para Fôlha de Flandres Têmpera 1, que requer 50 no máximo de dureza superficial Rockwell (30 T), difícil de ser obtido com o aço do forno Siemens-Martin. Além disso, com o lingote de aço de conversor pode produzir bobinas com menos flutuação nas propriedades.

Abaixo segue a composição de corridas típicas do aço de conversor, em %:

Corrida	C	Si	Mn	P	S
1	0,033	0,01	0,35	0,014	0,021
2	0,040	0,01	0,33	0,011	0,015
3	0,030	0,01	0,27	0,009	0,014

Cálculos típicos de variação de dureza ao longo de uma placa são os seguintes:

Placa	Recozido			Após temp. por laminagem		
	N	X	—	N	X	—
Tôpo	32	47,47	1,32	32	47,16	1,58
Meio	32	47,16	1,71	32	46,81	1,77
Fundo	31	46,00	1,74	31	46,06	2,01

- h) *Chapas Galvanizadas* — Devido ao baixo teor de nitrogênio, os produtos galvanizados estão menos sujeitos a ranhuras “fluting” e outros problemas correlatos.

8. SUMÁRIO E CONCLUSÕES

Em resumo, o Quadro seguinte demonstra a comparação das propriedades do aço de conversor a oxigênio e do aço do forno Siemens-Martin:

		O _a — Aço do Conversor	Aço do Forno Siemens — Martin.
Composições químicas ..	P	Regular	Baixa
	S, N (CU)	Baixa	Regular
Propriedades mecânicas	L. escoamento	Igual	
	L. resistência	Igual	
	Alongamento	Melhor	Regular
	Erichsen	Melhor	Regular
Propriedades de envelhecimento		Melhor	Regular
Propriedade de esmaltagem		Melhor	Regular
Fôlha de Flandres	Erichsen	Melhor	Regular
	Dureza	Mais doce	Regular
«Fluting» em chapa galvanizada		Melhor	Regular

Assim, os produtos de chapas laminadas de aço de conversor de oxigênio são, em numerosos pontos, superiores aos de aço de forno SM; são as seguintes as principais razões que contribuem para isso:

- 1 — No conversor a oxigênio emprega-se alta proporção de gusa na carga; o banho contém assim menor porcentagem de elementos nocivos oriundos de sucatas contaminadas.
- 2 — A eliminação do fósforo e do enxofre é realizada com eficiência; o lingote obtido apresenta menores teores de impurezas, menos segregadas.
- 3 — Devido ao baixo teor de nitrogênio, os efeitos de “fluting” e do envelhecimento são baixos.

Além das vantagens mencionadas, o processo a oxigênio possibilita altas produções, sendo também elevado o rendimento dos produtos primários. Como prova mais evidente, o uso do aço de conversor vem aumentando rápida e vertiginosamente.



Ao apresentar os presentes dados técnicos comparativos, deixei de mencionar a minha opinião sôbre o custo de produção do aço LD, pelo fato de que o preço dos lingotes varia consideravelmente com os preços e teores adotados de gusa e da sucata. Prefiro que os ouvintes decidam por si próprios êsse aspecto da questão.