

COMPORTAMENTO DE LINGOTAGEM EM MONLEVADE ⁽¹⁾

ARMÊNIO DE LIMA E SILVA ⁽²⁾
- JOSÉ ABRÃO ⁽²⁾
AFRÂNIO CAMARÃO SOBRINHO ⁽²⁾

RESUMO

Descreve formas e dimensões, condições de utilização, influência dos elementos constituintes do ferro fundido, microestrutura e o consumo de lingoteiras em Monlevade.

1. INTRODUÇÃO

Os Autores, antes de apresentar qualquer resultado experimental de seu trabalho, procuram agrupar todos os dados estatísticos tomados desde janeiro de 1960 até dezembro de 1961, compreendendo o total de 1934 lingoteiras. O objetivo foi evitar a exposição de dados de experiências eventuais e a repetição de trabalhos já feitos.

Nos gráficos constam retas determinadas por métodos estatísticos, compreendendo um conjunto de pontos entre os quais estão incluídos aqueles que poderiam ser considerados como aberrantes. A dispersão foi tão pouco sensível que os pontos foram representados por retas em vez de curvas médias.

Cada gráfico, observado individualmente, não deve ser tomado como resultado comum para os diversos tipos de lingoteiras, pois refere-se somente ao tipo em estudo.

A comparação entre os dados de Monlevade e os estrangeiros foi feita com base em enquetes e artigos franceses, alemães, espanhóis e norte-americanos.

(1) Contribuição Técnica n.º 484. Apresentada ao XVII Congresso Anual da ABM; Rio de Janeiro, julho de 1962.

(2) Membros da ABM e Engenheiros da Usina de Monlevade da Companhia Siderúrgica Belgo-Mineira; Monlevade, MG.

2. FORMAS E DIMENSÕES

São três os principais tipos de lingoteiras usados em Monlevade, tôdas diretas e assim discriminadas: Oval; Quadrada; Quadrada com cabeça quente.

A tabela I mostra as dimensões das lingoteiras e os tipos de aço nelas lingotado, dados em porcentagem de carbono. Essas lingoteiras têm as faces internas côncavas.

Os dados mostram que a esbeltez das lingoteiras de Monlevade é bem maior que a das alemãs. Na "Deutsche Edelstahl Werke"¹, para lingotes de 1.000, 1.500 e 9.000 kg, os índices de esbeltez são 3,0; 2,3 e 1,6, respectivamente. A tabela II mostra uma comparação entre algumas características das lingoteiras de Monlevade, inglesãs, alemãs e francêsas.

As lingoteiras de Monlevade são em média mais pesadas, têm os raios de ângulos e as espessuras das paredes e nos ângulos, maiores que as estrangeiras. Essas tendências estão sendo modificadas como mostra, na tabela I, o tipo L. Com o uso dessa lingoteira houve uma severa diminuição na ocorrência de trincas de ângulos no lingote, e conseqüentemente nos "blooms" e placas.

A relação espessura no ângulo sôbre a espessura da parede é em média, 0,88 para as lingoteiras de Monlevade, 0,90 para as francêsas e 0,95 a sugerida pelo BISRA. Êsse fraco índice das primeiras, é um dos fatores que concorrem para a maior ocorrência nas lingoteiras de trincas verticais nos ângulos, sendo sua porcentagem sob sucatamento por trincas, de 90%.

A conicidade, embora sendo menor para as lingoteiras de Monlevade quando comparadas com as francêsas e alemãs, acreditamos não ser necessário aumentá-la segundo as recomendações do BISRA. Como prova, na Aciaria S.M. a desmoldagem é feita normalmente, sem auxílio do estriper, para lingoteiras com 60 corridas. A potência do estriper usado é de 100 t.

3. CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO

Em sua recepção as lingoteiras são sujeitas a um exame rigoroso. Elas devem ser isentas de defeitos, sendo os seguintes mais encontrados:

- 1) Machos deslocados, provocando pequena espessura no ângulo, o que resulta em sucatamento prematuro, por ocorrência de trinca;
- 2) Superfície interna irregular, por excesso de limpeza com esmeril e
- 3) Trincas superficiais e vazios na orelha.

TABELA I

Forma e dimensões das lingoteiras de Monlevade

TIPO DE LINGOTEIRA	DIMENSÕES		ALTURA	DIÂMETRO MÉDIO DO LINGOTE	RAIO NO ÂNGULO		ESPESSURA DA PAREDE		ESPESSURA NO ÂNGULO		ESPESSURA DO REFORÇO NO PÉ	CONVICIDADE		ESBELTEZ	B-ÂNGULO E-PAREDE		PESO DA LINGOTEIRA P ₁	PESO DO LINGOTE P ₂	P ₁ /P ₂	ALTURA DO LINGOTE	% DE CABEÇA QUENTE	Nº DE ORÉLHA	TIPO DE AÇO %
	BAIXO	TÔPO			BAIXO	TÔPO	BAIXO	TÔPO	BAIXO	TÔPO		LADO MAIOR	LADO MENOR		BAIXO	BAIXO							
G	534	452	2000	493	73	62	154	105	135	90	20	2,05	2,05	4,06	0,88	0,67	3,59	3,10	1,16	1850	12,4	2	<0,40
H	534	452	2000	493	73	64	154	92	125	88	20	2,05	2,05	4,06	0,81	0,96	3,49	3,15	1,11	1900	12,4	2	>0,40
J	658 478	620 357	1850	497	68	68	141 122	97 122	155	80	40	1,03	1,65	3,72	1,10 0,95	0,82 0,66	3,96	2,80	1,41	1650	10,5	2	>0,40
K	658 478	620 357	1850	497	68	68	141 122	110 135	155	93	40	1,03	1,65	3,72	1,10 0,95	0,85 0,69	4,08	2,80	1,46	1650	—	2	<0,40
L	680 443	635 353	1850	521	40	40	141 146	107 112	135	100	20	1,22	1,62	3,55	0,95 0,92	0,93 0,89	3,60	3,24	1,10	1700	—	2	—
M	410	370	1750	390	100	100	95	85	95	85	—	2,28	2,28	4,49	1,00	1,00	1,77	1,60	1,11	1600	—	2	<0,20

TABELA II

Algumas características de lingoteiras inglesas, alemãs, francesas e de Monlevade

	LINGOTEIRA CALCULADA SEGUNDO RE- COMENDAÇÃO DA BISRA	LINGOTEIRA STANDARD ALEMÃ	MÉDIA PARA LINGOTEIRAS FRANCESAS IRSID	MÉDIA PARA LINGOTEIRAS MONLEVA DE
PÊSO DA LINGOTEIRA P_1	4,05	4,7	5,25	3,75
PÊSO DO LINGOTE P_2	4,15	4,5	4,2	3,02
P_1 P_2	0,97	1,04	1,2	1,24
CONICIDADE %	1,04	1,75	1,9	1,64
ALTURA	1980	2000	2100	1910
ESPESSURA NO MEIO DA PAREDE NO TÔPO	95	ESPESSURA MÉDIA 130	112	107
ESPESSURA NO ÂNGULO NO TÔPO	90		100	90
ESPESSURA NO MEIO DA PAREDE EM BAIXO, REFÔRÇO COM- PREENDIDO	142		162	149
ESPESSURA NO ÂNGULO EM BAIXO, REFÔRÇO COMPREENDIDO	132		140	169
RAIO DO ÂNGU- LO NO TÔPO	36	41	50	60
RAIO DO ÂNGULO EM BAIXO	36	41	55	64

O contrôle da superfície interna da lingoteira é feito com um interesse especial, uma vez que ela deve ser boa e lisa. Havendo incorreção, além de provocar defeitos superficiais no lingote, impede a estripagem, sendo necessário golpear a lingoteira com uma "pera" (choque), o que pode ocasionar trincas e conseqüentemente prejudicar sua vida.

As principais causas de sucatamento das lingoteiras são as trincas de tensão nas paredes e as queimaduras ou pequenas trincas entrecruzadas superficiais.

Entre os fatores de maior influência para ocasionar trincas prematuras, têm consideração particular os seguintes: temperatura de corrida do aço, velocidade de corrida, permanência do lingote na lingoteira, distância entre as lingoteiras durante a corrida, temperatura da lingoteira no início da corrida, sistema de corrida (direta ou "en source"), modalidade de corrida (no chão da área de serviço ou sobre troles), temperatura máxima alcançada pela lingoteira durante a corrida, sistema de deslingotamento (descascamento), uso de masselote e sistema de resfriamento das lingoteiras.

Em Monlevade, uma lingoteira, ao ser colocada em uso, é aquecida na faixa de 50°C a 90°C.

Este aquecimento é feito sobre uma grelha com gás (altos fornos). Nessa faixa de temperatura ela é pintada por meio de um aparelho com pulverizador de ar comprimido, com contrôle seguro da velocidade de aspersão e quantidade de tinta que reveste o molde. Na Aciaria S.M., a pintura é feita atualmente por uma mistura de melão e água; na L.D., é usado o alcatrão; a temperatura da tinta é de 50°C. As lingoteiras devem ser mantidas nessa faixa de temperatura (50°C a 90°C) até o momento de vazamento.

A disposição das lingoteiras durante o vazamento é uma causa importante a ser observada no aquecimento de suas faces. A ventilação dentro da fossa, as distâncias e as posições relativas das lingoteiras devem ser observadas. Na fossa de Monlevade as lingoteiras são dispostas sobre as bases "en source", que estão colocadas sobre troles.

Para identificação de sua numeração pelo fiscal, elas eram colocadas sempre na mesma posição. Como a distância entre os troles não era suficiente, resultou que as faces situadas frente a frente entre dois troles queimavam com prioridade. Daí a necessidade de proceder à rotação das faces em cada corrida sucessiva.

O tempo necessário para uma lingoteira de Monlevade entrar na faixa de 50°C a 90°C, após o vazamento do aço, é cerca de 8 horas ao ar livre. Para seu uso em menor espaço de tempo, ela fica numa temperatura acima de 90°C, provocando maior queima da camada de tinta, que fica pouco espessa. Doutro lado, quando a temperatura cai abaixo de 50°C, a umidade deposita-se nos veios de queimaduras da face interna, provocando durante o vazamento a formação de vapores d'água, cuja pressão contribui para deteriorar esta face. Além disso, a camada de tinta formada é mais espessa, acarretando maior umidade e conseqüentemente, bolhas de gás na superfície do lingote.

Os resultados com respeito ao uso de lingoteiras com temperaturas acima de 90°C são significativas, como mostram os gráficos n.ºs 1 e 2, houve uma queda no consumo durante o ano de 1961 em relação ao ano de 1960; quando neste, o rodízio das lingoteiras dava margem ao uso ainda muito aquecidas.

Na interpretação dos gráficos deve-se levar em conta que, durante o segundo ano, foi acrescentado um refôrço no pé das lingoteiras G, e houve também maior exigência no contrôle.

A medida tomada foi de manter um estoque suficiente de lingoteiras de modo a garantir o seu ciclo tão restrito e contínuo quanto possível. Quando um jôgo de lingoteiras está muito aquecido, não deve ser usado e, para tal, aquece-se um segundo jôgo, na faixa de 50°C a 90°C, continuando o vazamento com este último.

Na Aciaria S.M. é usado um jôgo de lingoteiras para as corridas ímpares de cada forno, e outro para as corridas pares.

Uma lingoteira retirada do ciclo durante sua campanha, ao retornar ao serviço, passa pelo mesmo método utilizado, para que uma lingoteira nova entre em uso.

É pois, importante manter o ciclo de utilização da lingoteira durante sua vida. Consiste no seguinte: Após a estripagem a lingoteira fica depositada sôbre uma grelha durante 8 horas ao ar livre. Uma vez resfriada, procede-se à limpeza, e logo em seguida é feita a pintura. Duram estas operações para um jôgo de 14 lingoteiras, 40 minutos na Aciaria S.M. e na Aciaria L.D. cerca de 24 minutos para 12 lingoteiras. Depois são colocadas sôbre a base e submetidas, em seguida, ao vazamento do aço.

O tempo de permanência do lingote na lingoteira varia com o tipo de aço, sendo maior para os vazados nas lingoteiras com cabeça quente.

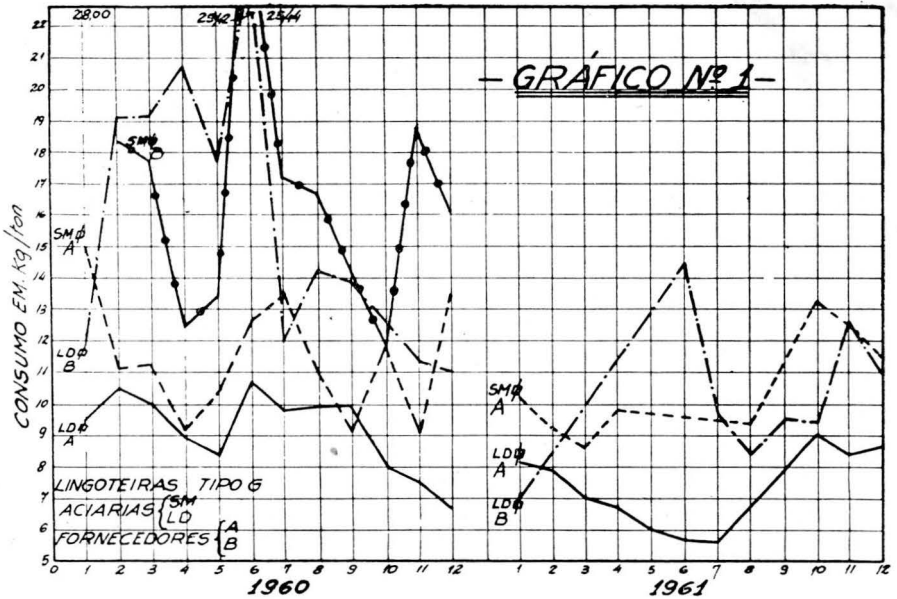


Gráfico I — Consumo de lingoteiras tipo G dos fornecedores A e B, durante os meses de 1960 e 1961, nas aciarias S.M. e L.D.

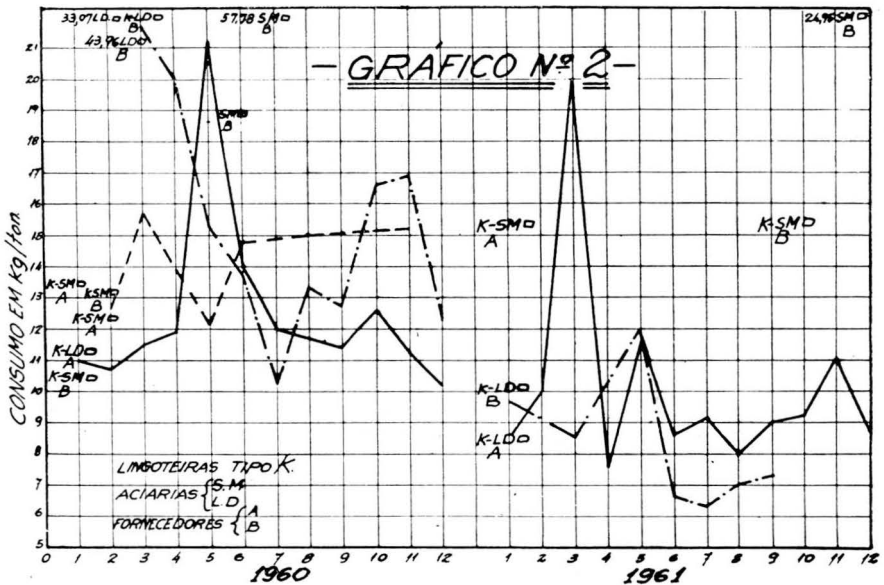


Gráfico II — Consumo de lingoteira tipo K, dos fornecedores A e B, durante os meses de 1960 e 1961, nas aciarias S.M. e L.D.

À medida que as lingoteiras envelhecem em uso, aparecem pequenas queimaduras na sua face interna. Em vista disso, elas são marcadas pelo número de corridas, dando-se preferência, para aços com maior exigência em qualidade, àquelas que trabalharam menos.

Os Autores notificam que, em caráter experimental, foi feita a recuperação com o emprêgo de martetele e esmeril, em vinte lingoteiras queimadas na face interna. Nelas, a vida aumentou em média de 60 corridas.

4. INFLUÊNCIA DOS ELEMENTOS CONSTITUINTES DO FERRO FUNDIDO

Um dos principais fatôres de que depende a vida da lingoteira é a composição química do metal empregado. Os Autores procuram determinar a composição química a ser adotada para as melhores condições de trabalho e consumo, em cada tipo de lingoteira. A tabela III indica a composição química das lingoteiras, segundo diferentes autores, comparada com os valores médios dos tipos usados em Monlevade e adotados pelos fornecedores A e B.

Além dos demais fatôres considerados no bom ou mau comportamento de uma lingoteira, a composição e a estrutura estão entre os mais importantes, e são suficientemente correlacionados. A êsse respeito existem duas opiniões. Um grupo de especialistas considera que a estrutura mais conveniente seja a ferrítico-perlítica, atribuindo o rápido deterioramento das lingoteiras às rupturas por efeitos de trincas e tensão e baixa resistência ao choque. Outro grupo adota a estrutura totalmente perlítica, acusando as queimaduras e, conseqüentemente, as trincas e pequenas fendas superficiais, como principal fator de afastamento das lingoteiras.

O gráfico 3 indica a posição, no diagrama de Mauret, modificado, dos valores dados pelas faixas dos elementos C e Si da tabela V, para as lingoteiras tipo K, segundo os fornecedores A e B. Os valores atestam estrutura ferrítica mais grafitada para o fornecedor A, com uma faixa de estrutura idêntica para o fornecedor B. Sendo que êste trabalho, também, com a estrutura ferrítica-perlítica + grafitada. Os graus de saturação 0,990 e 0,968 situam a zona onde as lingoteiras do fornecedor A deram melhor performance, e os 0,945 e 0,930, as do fornecedor B.

Nota-se que o fornecedor A funde numa faixa de análise mais estreita, porém numa zona um pouco acima do calor ótimo.

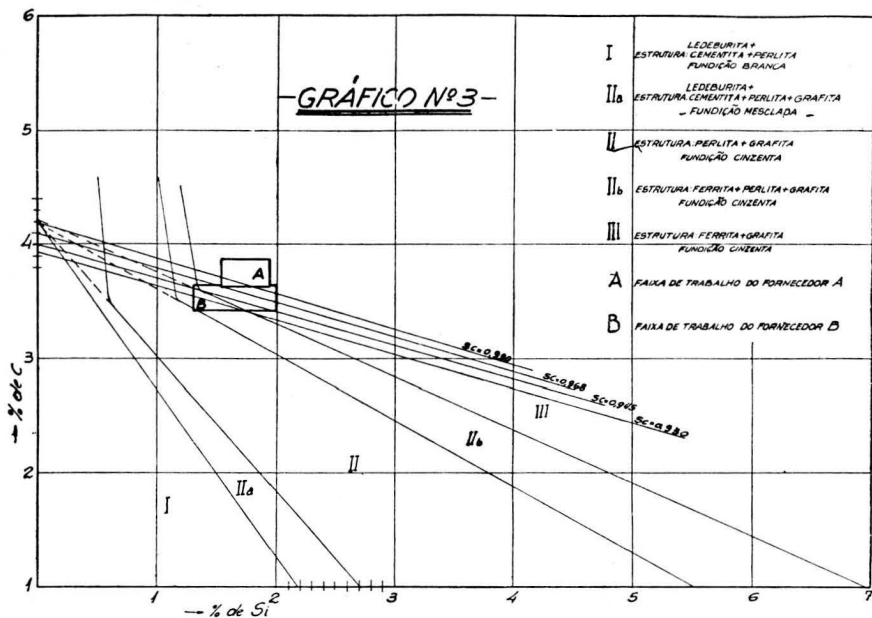


Gráfico III — Faixa de trabalho adotada pelos fornecedores A e B, para as lingoteiras tipo K, localizadas no diagrama de Maurer, modificado

Segundo E. Piwoworsky ⁴, a fundição para lingoteiras deve apresentar uma estrutura ferrítico-perlítica com a grafita finamente dividida e uniformemente distribuída. Acrescenta-se todavia, que a subdivisão da grafita não deve ser conseguida mediante um aumento da velocidade de esfriamento da lingoteira após o vazamento, mas, por medidas de caráter térmico-metalúrgico, tais como: cargas bem escolhidas, temperatura do metal fundido, desoxidação do ferro fundido líquido e adição de elementos capazes de subdividir a grafita, tais como, o titânio, o cromo, etc.

Regularmente, a literatura recomenda um alto teor de carbono. A. Legrand ⁴ recomenda uma alta porcentagem de carbono, sobretudo quando a porcentagem de manganês é elevada. K. Hoffmann ⁴ demonstra que somente um alto teor de carbono pode proporcionar à lingoteira a resistência necessária para suportar as grandes variações de tensão interna, a que está submetida por causa de grandes variações de temperatura.

Os valores estatísticos tomados individualmente, para cada elemento C, Si, Mn e P, nos diferentes tipos de lingoteiras, de ambos fornecedores, não apresentaram nenhuma conclusão óbvia.

Faz exceção àquela apresentada no gráfico 4, onde o teor de carbono cresce sensivelmente quando o consumo de lingoteiras aumenta.

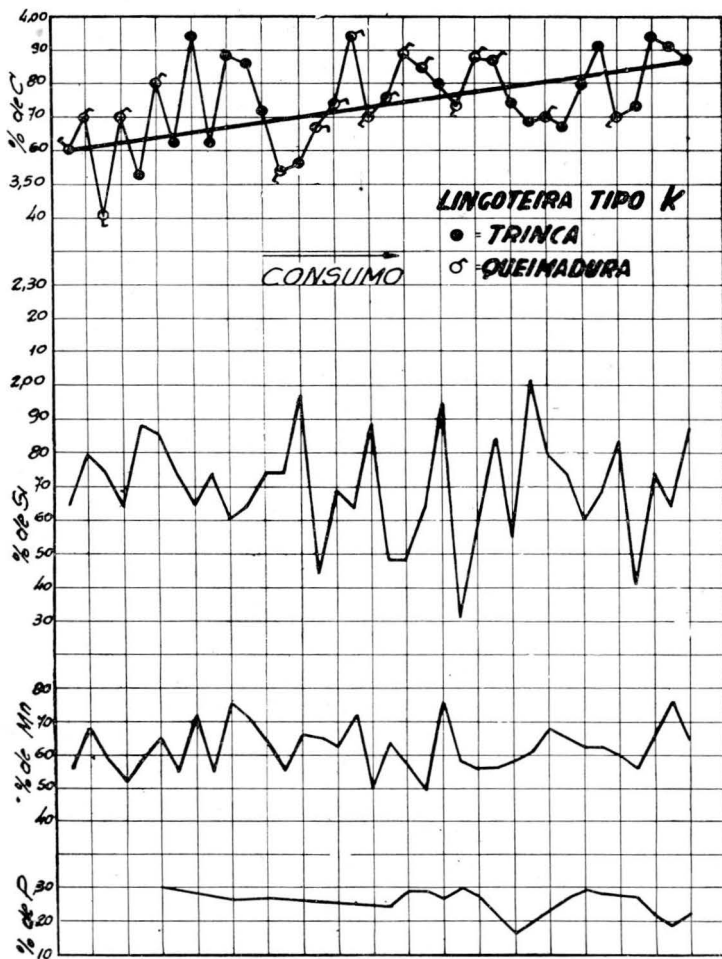


Gráfico IV — Análise química dos elementos, segundo o valor crescente do consumo.

Os valores dos graus de saturação (Sc), são diferentes para cada tipo de lingoteira. Os gráficos 5, 6 e 7 indicam o seguinte: 1) o consumo de lingoteiras ovais tipo K do forne-

cedor A, aumenta com o grau de saturação. 2) Para lingoteiras quadradas tipo G, do mesmo fornecedor, há uma bifurcação onde os valores médios de Sc, com pequenas exceções, correspondem àqueles em que as lingoteiras deram melhor performance e foram afastadas por causa de trincas e queimaduras.

Há duas outras zonas, uma acima e outra abaixo da supra citada, na qual as lingoteiras são afastadas por trincas. O gráfico 6 mostra que, para os menores valores de Sc, as lingoteiras foram afastadas por queimaduras e, para os mais elevados, foram por trincas.

A fórmula adotada para calcular o grau de saturação é:

$$Sc = \frac{\%C}{4,23 - 0,312 Si - 0,33 P + 0,066 Mn\%}$$

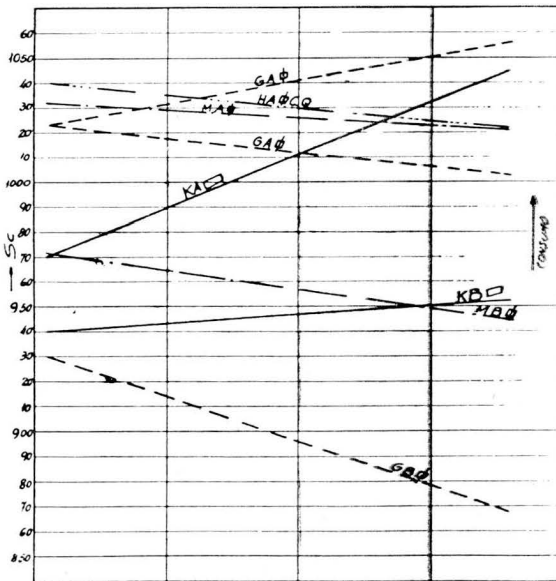


Gráfico V — Graus de saturação pelos diferentes tipos de lingoteiras usados em Monlevade.

Correlacionados com o grau de saturação, são reproduzidos nos gráficos 6 e 7 os valores de Si/Mn, os quais de preferência na lingoteira de secção quadrada, tipo G, indicam que:

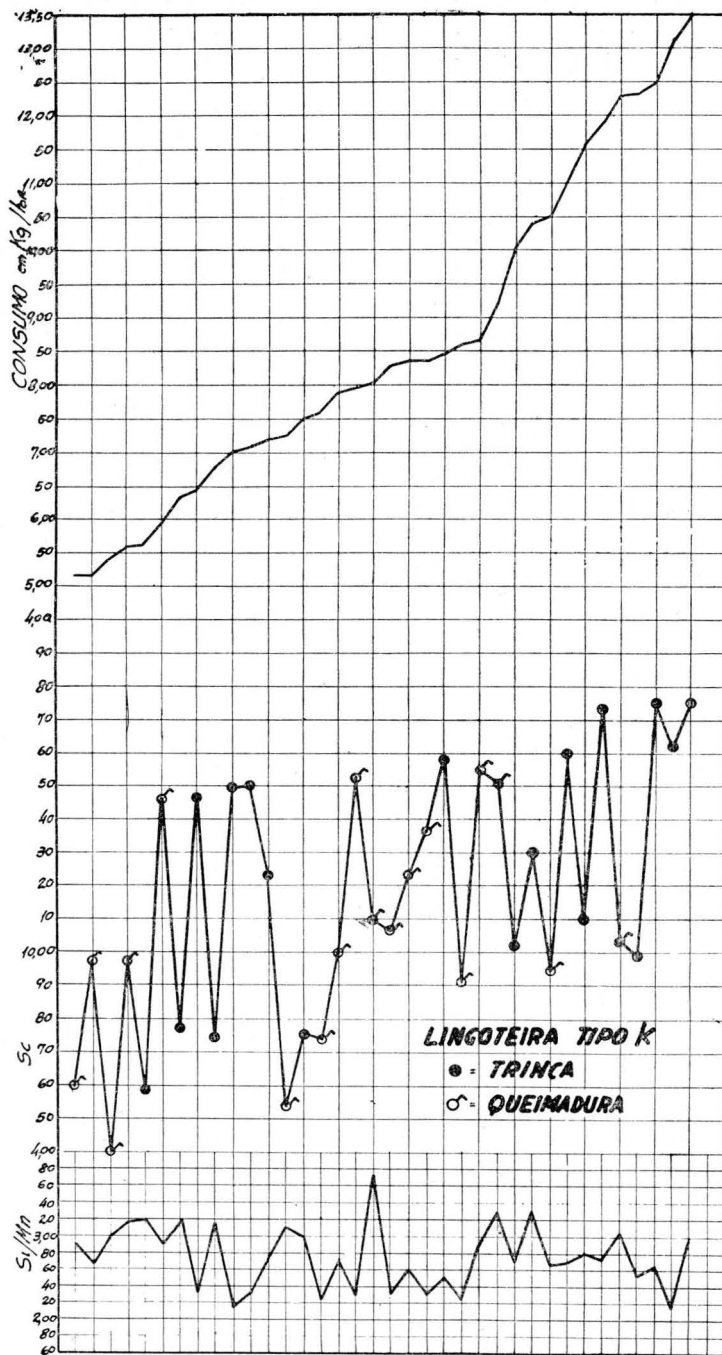


Gráfico VI — Consumo, grau de saturação, relação Si/Mn e tipo de defeito que determinou o afastamento das lingoteiras tipo K

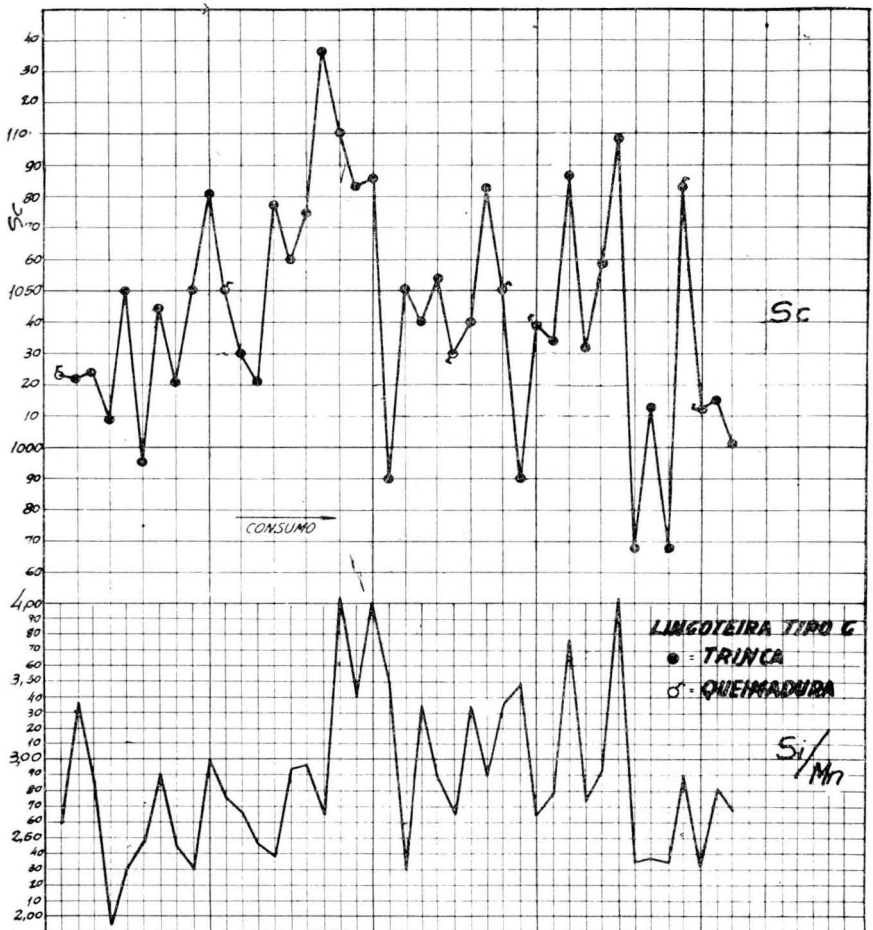


Gráfico VII — Grau de saturação, relação Si/Mn e tipo de defeito que determinou o afastamento das lingoteiras tipo G, segundo os valores crescentes do consumo.

- 1) Quando o valor de S_c é alto e a relação Si/Mn é baixa, ou vice-versa, as lingoteiras cumprem boa performance, e o defeito principal é a queimadura.
- 2) De outro lado, quando o valor de S_c e a relação Si/Mn são ao mesmo tempo elevados, ou são conjuntamente baixos, as lingoteiras cumprem pior performance e o defeito principal é a trinca.

Quando os Autores trataram de verificar o crescimento do grão³ a fórmula:

$$G = 0,32 - 0,21 \text{ Mn}\% + 0,13 \text{ Si}\% - 0,73 \text{ P}\%$$

aplicada às lingoteiras de Monlevade, não apresentou resultado satisfatório.

A tabela IV apresenta a relação entre as porcentagens dos elementos dados pelas lingoteiras estrangeiras e as de Monlevade, segundo os fornecedores A e B.

TABELA IV

Média das porcentagens de análise química das lingoteiras estrangeiras e de Monlevade

	FRANCESAS (IRSID)	INGLESAS (KERLIE)	ALEMÃS (BACON)	AMERICANAS (AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE)	MONLEVADE (A)	MONLEVADE (B)
C%	3,55	4	3,8	—	3,77	3,48
Si%	1,9 - 1,95	1,12	1,5	1,43 - 1,48	1,75	1,65
Mn%	0,58	0,8 - 1	0,7	1,02 - 1,18	0,41	0,64
P%	0,115	0,2	0,1	0,126 - 0,137	0,246	0,14
S	0,07	0,06 MAX.	0,08	0,042 MAX.	—	—

Nota-se que a porcentagem de carbono do fornecedor B é menor que as outras, assim como a porcentagem de P do fornecedor A é maior que as demais.

A tabela V mostra os valores encontrados dos elementos C, Si, Mn e P, segundo os fornecedores A e B, para o seu uso nas cartas de controle.

Os Autores concordam que o controle mais eficaz será obtido quando forem determinadas as faixas de trabalho das cartas, segundo um número suficiente de lingoteiras que cumpriram boa performance.

5. MICROESTRUTURA

Foi feito um estudo metalográfico de 8 lingoteiras de ambas as procedências, cujo resumo aparece na tabela VIII. Visando melhor comparar o desenvolvimento da grafita durante o uso das lingoteiras anexamos uma coluna comparativa de espessura dos veios convencionalmente apresentado na tabela IX.

TABELA V

Valores das análises químicas dos elementos determinados para uso nas cartas de controle

TIPO DE LINGOTEIRA	FORNECEDOR	ELEMENTOS	UCL	\bar{x}	LCL	UCLR	\bar{R}	LCLR
G	A	C	3,92	3,81	3,70	0,40	0,19	ZERO
		Si	1,90	1,71	1,52	0,70	0,33	"
		Mn	0,70	0,60	0,51	0,36	0,17	"
		P	0,28	0,26	0,24	0,06	0,03	"
	B	C	3,57	3,45	3,33	0,44	0,21	"
		Si	1,81	1,70	1,52	0,65	0,31	"
		Mn	1,40	0,83	0,56	0,99	0,47	"
		P	0,21	0,17	0,13	0,15	0,07	"
H	A	C	3,88	3,77	3,65	0,42	0,20	"
		Si	2,03	1,77	1,51	0,97	0,46	"
		Mn	0,80	0,64	0,48	0,59	0,28	"
		P	0,27	0,21	0,15	0,23	0,11	"
	B	C	3,81	3,66	3,51	0,55	0,26	"
		Si	1,86	1,72	1,58	0,53	0,25	"
		Mn	0,49	0,46	0,43	0,13	0,06	"
		P	0,15	0,14	0,13	0,42	0,02	"
K	A	C	3,87	3,75	3,63	0,44	0,21	"
		Si	1,95	1,75	1,55	0,74	0,35	"
		Mn	0,71	0,61	0,51	0,38	0,18	"
		P	0,28	0,24	0,20	0,15	0,07	"
	B	C	3,64	3,53	3,42	0,42	0,20	"
		Si	2,00	1,66	1,32	0,12	0,58	"
		Mn	0,72	0,75	0,58	0,63	0,30	"
		P	0,18	0,15	0,12	0,10	0,05	"
M	A	C	3,88	3,78	3,68	0,38	0,18	"
		Si	2,11	1,78	1,45	1,20	0,57	"
		Mn	0,70	0,60	0,50	0,38	0,18	"
		P	0,33	0,27	0,21	0,21	0,10	"
	B	C	3,31	3,27	3,22	0,17	0,08	"
		Si	1,60	1,54	1,48	0,21	0,10	"
		Mn	0,57	0,51	0,45	0,23	0,11	"
		P	0,14	0,12	0,10	0,08	0,04	"

O exame da tabela VIII revela que as lingoteiras de procedência A (ferrítico-perlítica) cumprem melhor performance do que as da procedência B (perlíticas).

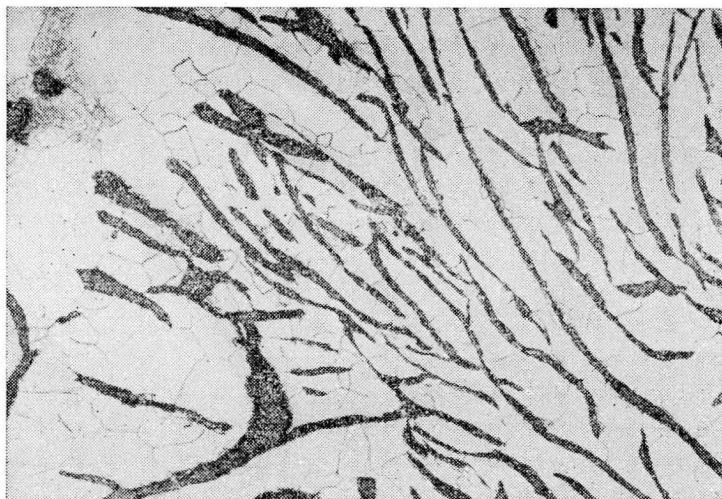


Fig. 1 — Micrografia da lingoteira n.º 1 (procedência A). Seção transversal junto à face interna; 100 ×; ataque Nital.



Fig. 2 — Micrografia da lingoteira n.º 1 (procedência A). Seção transversal no meio da parede; 100 ×; ataque Nital.

As micrografias das figuras 1 a 6, tomadas de lingoteiras que suportaram um máximo de corridas, ilustram bem a questão: a de procedência A de maior vida que a de B, e aparenta menor uso.

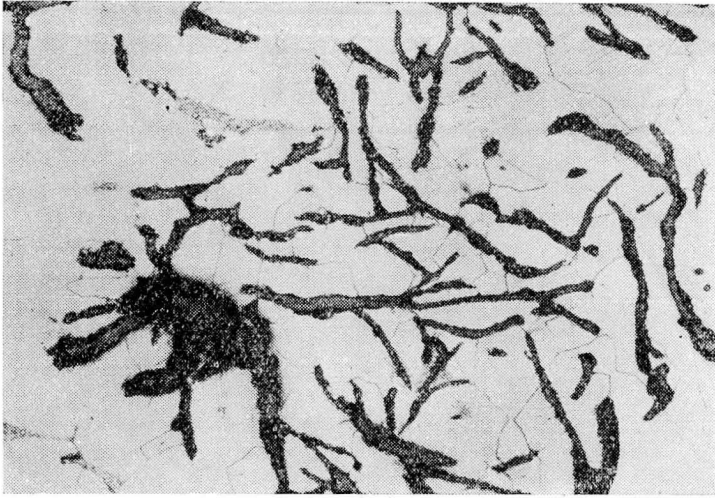


Fig. 3 — Micrografia da lingoteira n.º 1 (procedência A). Seção transversal junto à face interna; 100 ×; ataque Nital.

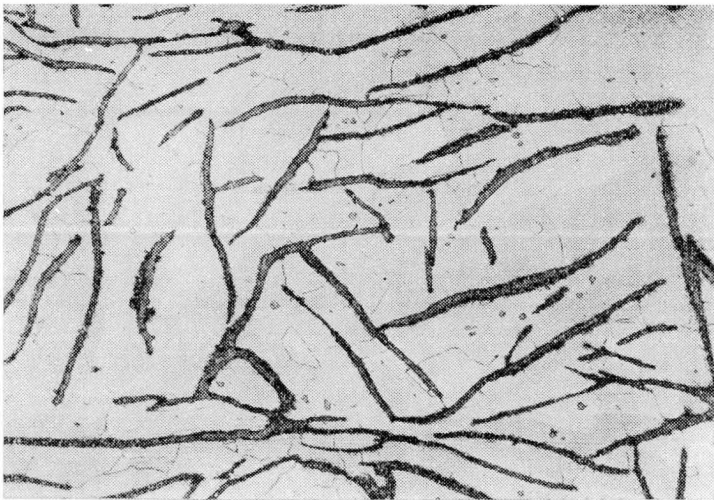


Fig. 4 — Micrografia da lingoteira n.º 6 (procedência B). Seção transversal junto à face interna; 100 ×; ataque Nital.



Fig. 5 — Micrografia da lingoteira n.º 6 (procedência B). Seção transversal no meio da parede; 100 ×; ataque Nital.

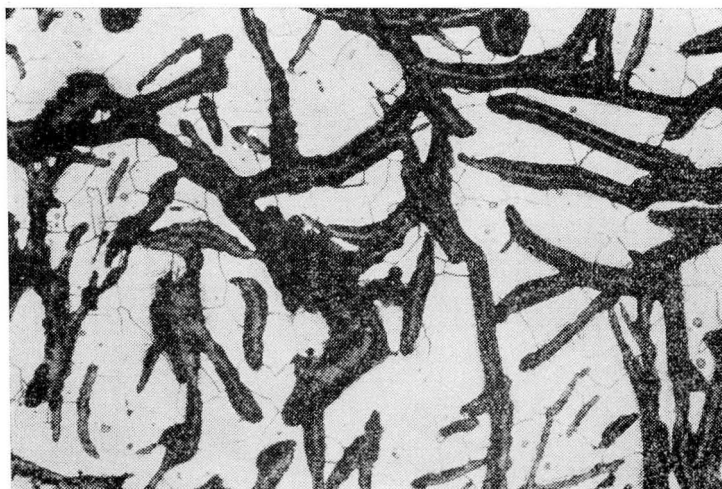


Fig. 6 — Micrografia da lingoteira n.º 6 (procedência B). Seção transversal junto à face interna; 100 ×; ataque Nital.

A lingoteira n.º 7 (procedência B) foi afastada por apresentar rachadura após a primeira corrida. Ao que parece, não suportou o choque térmico, devido sua estrutura perlítica fina (fig. 7).



Fig 7 — Micrografia da lingoteira n.º 7 (procedência B), que apresenta trinca de tensão interna após a 1.ª corrida; 250 x; ataque Nital.

6. CONSUMO

Os numerosos fatores que influem na vida das lingoteiras podem ser classificados como dependentes de seu projeto, do método aplicado na fundição e de seu uso. O consumo médio de lingoteiras em Monlevade foi de 11,94 no ano de 1960 e 9,26 kg/t no ano de 1961. Os dados apresentados na tabela VI são relativos aos anos de 1960 e 1961, e os da tabela VII referem-se ao ano de 1961.

Na tabela VI nota-se o seguinte:

- 1) Que todos os tipos de lingoteiras, com exceção do H, tiveram menor consumo no ano de 1961. Porque houve maior permanência do lingote na lingoteira durante o 2.º ano, para o tipo H.
- 2) Para as mesmas condições de trabalho (lingoteiras tipo G e K), o consumo cresce com a relação peso na lingoteira sobre peso do lingote. (Considerando espessuras de paredes entre limites normais).
- 3) O consumo aumenta com o tempo de permanência do lingote na lingoteira.

TABELA VIII

Resumo do estudo metalográfico de 8 lingoteiras de ambas as procedências

Fornecedor	Lingoteira	No de corridas. (vida)	Análise química							Grafita (veios tipo A)		Estrutura			Micrografia Fig. No		
			%Ct	%Cg	%Cc	%Mn	%P	%Si	%S	Tamanho predomi.	Espessura (conforme Tab.IX)	Ferrita	Perlita	Steadita			
A	1	E M I	224 (máx)	3,34	3,03	0,31	0,47	0,20	2,00	0,033	2-3	Velos finos e médios	80%	20%	Pequenas e numerosas praias	1	
											3-4	Velos médios e grossos, algumas praias.	80%	20%			2
											3-4	Velos médios a muito grossos, praias.	100%	aus.			3
A	2	E M I	96	3,78	3,50	0,28	0,47	0,24	1,77	0,041	3	Velos médios e alguns grossos, praias.	90%	10%	Idem	-	
											2-4	Idem	90%	10%			
											3	Velos médios a muito grossos, numerosas praias.	Abundante	rara			
A	3	E M I	77	3,60	3,53	0,07	0,56	0,30	1,50	0,048	2-3	Velos médios e grossos	Abundante	Alguma	Idem	-	
											3-4	Velos grossos	Abundante	Alguma			
											3-4	Velos médios e grossos, algumas praias.	Abundante	rara			
A	4	E M I	77	3,18	3,16	0,02	0,55	0,23	1,91	0,057	3-4	Velos finos e médios, praias	Abundante	rara	Alguma	-	
											3	Velos grossos	Abundante	rara			
											2-3	Velos grossos, grandes praias	100%	aus.			
A	5	I	60	3,10	2,82	0,28	0,59	0,24	1,29	0,052	2-3	Velos grossos, alguns excessivamente grossos, algumas praias.	Predominante.	Algumas grandes praias	Pequenas e numerosas.	-	
B	6	E M I	188 (máx)	3,62	3,60	0,02	0,52	0,14	1,94	0,059	3-4	Velos médios e alguns grossos, algumas praias.	Abundante	Alguma	Fouca	4	
											2-3	Velos grossos e algumas praias	Abundante	aus.			5
											2-3	Velos grossos e muito grossos aglomerados e grandes praias.	Abundante	aus.			6
B	7	M	1	2,90	2,41	0,49	1,09	0,18	1,54	0,035	4	Velos finos e médios.	Muito rara.	Abundante.	Fouca	7	

E — Amostra interessando a face externa

M — Amostra do meio da parede da lingoteira

I — Amostra interessando a face interna

TABELA IX

Esquema comparativo de espessuras de veios de grafita

DESIGNAÇÃO	ESPESSURA mm	x100
Veios finos	0,010	
Veios médios		
Veios grossos	0,015	
Veios muito grossos	0,020	
Veios excessivamente grossos	0,030	
Praias	-	

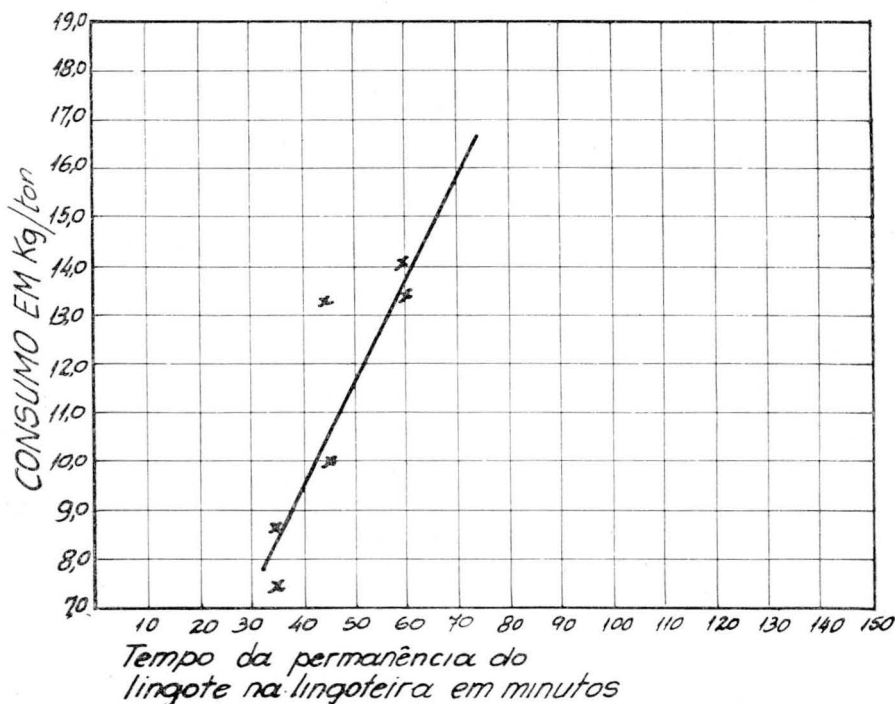


Gráfico VIII — Valores de consumo segundo o tempo de permanência do lingote na lingoteira.

Segundo os dados da tabela VII conclui-se que:

- 1) As lingoteiras que dão maior performance são as afastadas por queimaduras.
- 2) A porcentagem de queimaduras é maior para as lingoteiras em que a relação peso da lingoteira sobre peso do lingote, é mais elevada.
- 3) A porcentagem de trinca diminui quando a relação peso da lingoteira sobre peso do lingote aumenta.
- 4) O consumo é mais elevado para as lingoteiras que trincam na orelha.
- 5) O consumo na Aciaria S.M. é maior que na Aciaria L.D., porque o tempo de permanência médio do lingote na lingoteira é maior para a primeira.
- 6) A porcentagem de lingoteiras, do mesmo tipo, afastadas por queimaduras, é maior na Aciaria L.D. que no S.M.
- 7) A lingoteira tipo M. é a que apresenta maior porcentagem de trincas. Observou-se que tôdas as trincas são longitudinais e ocorrem no meio das paredes sem orelha. As características dêste tipo são:
 - a) Maior relação espessura no ângulo sobre espessura na parede.
 - b) Falta de refôrço no pé.
 - c) Baixa conicidade e elevada esbeltez.
- 8) Verificou-se que os defeitos de trincas que ocorrem nas lingoteiras tipos J e K, localizam-se todos na parede menos espessa da lingoteira, fazendo exceção as com trincas na orelha.

7. CONCLUSÕES

1 — As formas e dimensões das lingoteiras têm grande influência sobre o seu consumo, devendo antes atender à qualidade no lingote.

2 — O ciclo de utilização tem importância primordial na conservação da lingoteira durante sua vida.

3 — A composição e a estrutura estão entre os mais importantes fatores considerados no bom ou mau comportamento das lingoteiras e, suas influências, devem ser correlatamente consideradas.

BIBLIOGRAFIA

1. ROSSI JÚNIOR, J (Presidente) — *Reunião Aberta sobre "Práticas de lingotamento"*. ABM-Boletim, vol. 16, n.º 60, págs. 641-664, julho de 1960.
2. DUFLOT, J. — *"Enquête sur les Lingotiers d'Acier Thomas l'Institut de Recherches de la Siderurgie"* (IRSID). Série A, n.º 74, setembro de 1954.
3. *"Stell Making Division, The British Iron and Steel Research Association"*. Third of the Ingot Moulds Sub-Committee n.º 52, número especial de fevereiro de 1955.
4. PIU, E. P. — *"Normas para projectistas de lingoteiras"*. Instituto Hierro y del Acero, págs. 183-217, número especial de fevereiro de 1960.



DISCUSSÃO (*)

E. Patury Monteiro (1) — Está a palavra franqueada a quem desejar solicitar esclarecimentos ao expositor do trabalho ora apresentado.

S. L'Abbate (2) — Parece-me que a Belgo-Mineira, ultimamente, tem usado lingoteiras de «Mehanite». O senhor não poderia informar a respeito de qual o comportamento dessas lingoteiras?

A. Camarão Sobrinho (3) — Segundo informações que tenho, quem está usando esse material é a Mannesmann.

Helmut Richter (4) — Na Mannesmann, experimentámos o «Mehanite»; até agora, os resultados não foram melhores do que os obtidos com as lingoteiras antigas. Estamos fazendo experiências, mas ainda estamos com 8 até 10 corridas menos do que obtínhamos com as lingoteiras pelo processo antigo.

S. L'Abbate — Estaria presente alguém que tenha alguma prática ou conhecimento dos resultados com lingoteiras em ferro nodular? Alguém já usou essas lingoteiras?

Herbert Gremer (5) — Na usina de Aços Villares, temos feito experiência com lingoteira de ferro nodular e obtido resultados bons. Se não estou enganado, o consumo tem sido da ordem de 6 a 9 kg/t em lingoteiras.

(*) Ver: KRYVICKYI, WOLODOMIR & HAYDT, H. M. — *"Fabricação de lingoteiras na Usina de Volta Redonda da Companhia Siderúrgica Nacional"*. ABM-Boletim, vol. 16, pág. 272.

— Reunião Aberta sobre *"Práticas de lingotamento"*. Belo Horizonte, julho de 1959; ABM-Boletim, vol. 16, pág. 641.

(1) Membro da ABM; Coronel do Exército e Engenheiro Metalurgista; Presidente da Comissão Técnica "C"; Rio de Janeiro, GB.

(2) Membro da ABM e Metalurgista Consultor; São Paulo, SP.

(3) Membro da ABM e Engenheiro Metalurgista da CSBM; Monlevade, MG.

(4) Membro da ABM e Engenheiro da CSM; Belo Horizonte, MG.

(5) Membro da ABM e Engenheiro da Aços Villares S/A.; São Paulo, SP.

R. Wood ⁽⁶⁾ — Os autores citaram um trabalho que conheço bem, pois estudei-o detalhadamente, durante um período longo em que estive preocupado com o assunto. Quanto à composição, de modo geral, no IRSID, não chegaram a conclusão alguma sobre a vantagem em termos de certa porcentagem deste ou daquele elemento.

A. Camarão Sobrinho — No nosso trabalho, também acusamos isso, ou seja que, quanto à composição, tomada de modo geral para todos os tipos de lingoteira, não conseguimos resultado algum. Mas, uma vez tomada para cada tipo de lingoteira, conseguimos chegar a uma composição ideal correlacionada com a boa estrutura. Isso o senhor pode notar pelo grau de saturação; pelo menos no tipo K, está bem notório que, quanto mais baixo for o grau de saturação, melhores serão os resultados.

R. Wood — É relativo. Quer dizer que cada um terá que concluir à vista da sua própria experiência.

A. Camarão Sobrinho — Nós, que temos diversos tipos, não podemos parar todos eles e, tomando um por base, chegar a algum resultado. Mas, quando tomamos um dado tipo isoladamente, uma composição e uma estrutura, aí então chegamos a um certo resultado.

A. Augusto da Silva ⁽⁷⁾ — Sabemos que, para um determinado tipo de ferro fundido, é importante a composição da carga com os seus diversos elementos constituintes, visando determinada composição química. Pergunto aos autores se tiveram oportunidade de estudar as composições para melhores resultados em estrutura ou microestrutura de determinada lingoteira.

A. Camarão Sobrinho — Quanto às composições de carga, parte mais relacionada com as condições dos fornecedores, infelizmente não podemos adiantar nenhum dado, porque os fornecedores não puderam, em tempo de sair este nosso trabalho, responder ao questionário que lhes formulamos. Mas posso acrescentar que nossos fornecedores usam ferro fundido de cubilô.

Devo acrescentar que, no estudo metalográfico que fizemos, concluímos que uma certa porcentagem das lingoteiras do fornecedor «B» foram sucataadas por trincas ocasionadas por «kish».

A. Augusto da Silva — Essa porcentagem foi inclusive obtida na vida de diversos tipos de lingoteiras?

A. Camarão Sobrinho — Sem dúvida. Até posso acrescentar que, no caso que estou citando, fizemos estudos com lingoteiras idênticas àquelas, provenientes do mesmo fornecedor de «Mehanite», que apresentavam diferenças nas aparências de grafita e ferrita livre. São defeitos que provocam o sucataamento prematuro da lingoteira. Mas, como esses dados não se referem às 1.034 lingoteiras (e eram tôdas de menor número), não acrescentamos no nosso trabalho para não dar valores estatísticos com resultados de poucos dados metalográficos. De maneira que acredito que o defeito da lingoteira «Mehanite» não seja proveniente do processo usado, mas simplesmente do tipo de estrutura, que, naturalmente, é o que deve estar acontecendo. Lingoteiras procedentes do mesmo fabricante apresentavam o mesmo defeito.

(6) Membro da ABM e Engenheiro Metalurgista-Consultor do BNDE; Rio de Janeiro, GB.

(7) Membro da ABM e Engenheiro Metalurgista, da «Perfilação» Comércio e Indústria de Aços S/A.; São Paulo, SP.

R. Wood — Foram feitas comparações com a lingoteira de alto forno?

A. Camarão Sobrinho — Não, porque os nossos dois fornecedores usam cubilô. Mas, trabalhos de Volta Redonda chegaram à conclusão de que a melhor «performance» era exatamente para lingoteiras de gusa de alto forno e não ferro fundido de cubilô ou de ferro revérbero.

Helmut Richter — A despeito da carga para o ferro fundido, posso informar que, em usinas da Europa, chegaram à conclusão de que a melhor composição é a de hematita e 30/35% de sucata das mesmas lingoteiras, com teor de P menor que 0,15% nas lingoteiras. Chegaram a esses resultados depois de dois ou três anos de experiência. Usaram 65% de hematita com baixas impurezas.

S. L'Abbate — Vemos aqui que as lingoteiras do fornecedor «A» se comportam melhor do que as do fornecedor «B». No entanto, vemos que o fornecedor «A» apresenta 0,25% de fósforo, enquanto que o fornecedor «B» apresenta o teor de 0,14% de fósforo.

A. Camarão Sobrinho — No caso dos fornecedores «A» e «B», por nós referidos, acredito que a nossa observação principal, além da matriz grafitica, que tem grande influência (pode-se ver que no fornecedor «A» a grafita tem maior porcentagem do tipo «A»), foi a de que o nosso fornecedor «B», como mostram as microestruturas dadas no trabalho, apresentam mais sulfuretos de manganês, o que não ocorre com o fornecedor «A», onde há somente traços de sulfureto de manganês.

S. L'Abbate — A respeito da influência do manganês, posso dizer que, na Siderúrgica Aliperti, trabalha-se com lingoteiras pequenas, no máximo 1,5 t. Mas, quando baixarmos o teor de manganês a menos de 0,80, o consumo sobe de maneira enorme. Então mantemos o teor entre 0,80 e 0,90. Qual a causa disso? Rachaduras internas.

A. Camarão Sobrinho — Então, veio concorrer com o nosso trabalho. Chegamos à mesma conclusão. Quando o valor do Sc é alto e a relação Si/Mn é baixa, ou vice-versa, as lingoteiras cumprem boa «performance» e o defeito principal é a queimadura. Quando o valor de Sc e a relação Si/Mn são ao mesmo tempo elevados, ou são conjuntamente baixos, as lingoteiras apresentam piores resultados. O defeito principal é a trinca.

A. Augusto da Silva — Os autores relatam que «segundo E. Piworsky, a fundição para lingoteiras deve apresentar uma estrutura ferrítico-perlítica com a grafita finamente dividida e uniformemente distribuída».

Já li, naturalmente em outra literatura, que a grafita é recomendada para esse caso específico de lingoteira. Os senhores tiveram oportunidade de observar alguma coisa a respeito, se essa recomendação é favorável ou não?

A. Camarão Sobrinho — Nesse caso, ainda não tivemos oportunidade, mas, se quiser minha opinião particular, independentemente do trabalho apresentado, devo dizer que acredito que o melhor tipo seja o da grafita «A». O tipo «A» significa que as palhetas de grafita estão distribuídas ao acaso, sem disposição preferencial. Sob a ação de atrito, a presença das palhetas de grafita em quantidade suficiente e numa distribuição ao acaso, diminui o contacto, pois, desgastando-se, permite que a superfície do lingote deslize sobre pequenas partículas, promovendo

do uma ação de polimento, em vez de ser abrasiva. Outro fator é a baixa porcentagem de ferrita livre.

S. L'Abbate — A respeito da economia da ordem de 4 kg conseguida na «Villares» com ferro nodular reduzindo o consumo de 11 para 7 kg/t, perguntaria se para ferro gusa é ela obtida.

A. Camarão Sobrinho — Acredito que êsse é um cálculo que deve ser feito para cada usina.