

REDUÇÃO DE MINÉRIOS DE FERRO COM CARVÃO NACIONAL-EXPERIÊNCIA
E RESULTADOS DA AÇOS FINOS PIRATINI S.A. (1)

FRANCISCO GUILHERME DE A. OLIVEIRA (2)
EDISON PAULO MENEZES (3)
HELENA LEISTER (4)

RESUMO

Esboça-se, no trabalho, a situação brasileira quanto a redutores para a Siderurgia, localizando-se, neste contexto, a redução direta a carvão.

Apresenta-se sucinta descrição do processo SL/RN utilizado pela AFP, da evolução operacional havida nos últimos anos e da influência das matérias-primas no desempenho daquele.

Comentam-se, ao final, o custo do produto e os fatores que o determinam.

-
- (1) Contribuição Técnica a ser apresentada no Seminário sobre Redução de Minérios de Ferro e Matérias-Primas da ABM em Porto Alegre - SET/87
 - (2) Engenheiro Metalúrgico, Diretor Industrial da Aços Finos Piratini S.A.
 - (3) Engenheiro Metalúrgico, Chefe da Divisão de Redução Direta da Aços Finos Piratini S.A.
 - (4) Química Industrial, Assessora da Diretoria Industrial da Aços Finos Piratini S.A.

1. INTRODUÇÃO

A Siderurgia clássica, com seus altos-fornos de grande capacidade de produção, exige do coque metalúrgico excelentes características físicas e químicas, resistência mecânica elevada, baixos teores de cinza e de enxofre. Estas características só podem ser obtidas com a utilização de muito bons carvões coqueificantes, até a data não encontrados em território nacional.

Países carentes de carvões deste tipo e, também, de reservas cambiais, estão se voltando para outros processos de redução -processos de redução direta que lhes permitam a aplicação de redutores autóctones, como gás natural e carvões não aglutinantes. Isto está acontecendo no México, em países do Oriente Médio, na Índia e na África do Sul, por exemplo.

No Brasil, apenas duas empresas produzem ferro de redução direta: a USIBA, que utiliza o processo de redução gasosa Hyl, original do México e a AFP, que se serve das amplas reservas de carvão sub-betuminoso existentes no Rio Grande do Sul, através do processo SL/RN.

É sobre a experiência e os resultados de operação obtidos com este processo que falaremos no presente trabalho, no qual comentaremos, também, alguns aspectos técnicos e econômicos da produção e da utilização do ferro de redução direta na fabricação de aços especiais.

2. O PROCESSO DE REDUÇÃO

A Unidade de Redução Direta da AFP tem sido descrita com detalhes em publicações anteriores⁽¹⁾. Os fluxogramas anexos (Figs. 01 a 06) mostram, de forma esquemática, os diversos sistemas que a compõem:

- a) O sistema de alimentação com seus silos de minério, carvão e calcário, correias transportadoras, balanças dosadoras eletrônicas, peneiras, etc.
- b) O forno rotativo, tubo cilíndrico com 50 m de comprimento, 3,6 m de diâmetro externo e 1,5% de inclinação em relação à horizontal, que recebe o minério, o carvão e o dessulfurante devidamente dosados, e descarrega o ferro na forma reduzida, sólida, sem passagem pelo estado de fusão, em mistura com resíduos de carvão desgaseificado, cinza, óxido e sulfeto de cálcio. A carga é aquecida pela combustão dos voláteis do carvão e do monóxido de carbono que escapa da mesma; o ar de combustão é aspirado da atmosfera por ventiladores montados sobre a carcaça do forno e ligados a sopradores dispostos ao longo desta; utiliza-se, também, o sistema de insuflação de ar de um queimador de óleo situado na extremidade de descarga (destinado ao pré-aquecimento do forno, nas re-entradas em operação). Além deste sistema, que introduz o ar em contra-corrente com o movimento da carga sólida, foram colocados na zona de aquecimento (primeiros 12 metros do forno) sopradores radiais, que melhoram a combustão nesta região.
- c) O resfriador, tubo cilíndrico de 30 m de comprimento, diâmetro de 3 m e 2% de inclinação. O esfriamento é indireto, com lançamento de água sobre a parede externa do tubo.
- d) O sistema de separação do produto, destinado a separar a fração magnética, o ferro de redução (DRI), do resíduo não magnético, constituído de cinza de carvão e carbono e calcário ou dolomita calcinados e sulfurados. Este material é tratado por separadores magnéticos, precedidos por peneiras. O DRI é estocado nas granulometrias >1 mm e <1 mm, e o não magnético é rejeitado.
- e) O sistema de tratamento de gases. Estes últimos fluem em contra-corrente à carga, sendo descarregados pela extremidade de alimentação do forno. Contêm poeiras e gases combustíveis residuais (C, CO, H₂, etc), que são

queimados em torre de pós-combustão e esfriados mediante jatos d'água. Parte das poeiras é depositada por gravidade, em câmara de deposição; outra parte, é retida por multiclones e o resíduo finíssimo é emitido pela chaminé.

3. MATÉRIAS-PRIMAS

3.1. Carvão Redutor

Os carvões explorados no Rio Grande do Sul são do tipo sub-betuminoso, não aglutinante. São minerados com alto teor de cinzas (até 60% no r.o.m) e suas características de lavabilidade inviabilizam a diminuição do seu teor de cinzas aquém de 30-35% (Exceção: carvão da mina Leão I, que apresenta melhor rendimento em frações com cinza mais baixa). Devido à elevada quantidade de carvão com cinza de teor intermediário, inevitavelmente produzida no beneficiamento, a produção do carvão mais nobre é condicionada à utilização da fração intermediária, por exemplo na geração de energia elétrica.

Dependendo das características do carvão, o beneficiamento pode ser feito em jig ou em ciclones de meio denso, e produzirá um material cuja aptidão ao processo de redução se caracteriza pelos teores de cinza, umidade e enxofre, pela composição granulométrica e pela reatividade.

A reatividade é o principal parâmetro na avaliação da qualidade do redutor: quanto mais elevada for, menor será a exigência de temperatura na redução e menor, em consequência, a tendência a colagens e formação dos temidos "anéis". Estes são resultantes de fenômenos de sinterização entre óxidos ácidos (SiO_2 , Al_2O_3 - produtos de decomposição altamente reativos da matéria mineral do carvão) e óxidos básicos (CaO , FeO - provenientes do dessulfurante e do minério), existentes em forma finamente dividida na carga sólida e dispersos na atmosfera do forno. Tais reações de sinterização são

muito sensíveis à temperatura.

Sendo do tipo sub-betuminoso, os carvões sul-riograndenses apresentam boa reatividade, bastante inferior à dos linhitos, por um lado, mas muito superior à dos antracitos e dos finos de coque (estes, utilizados na produção de DRI, respectivamente na África do Sul e no Peru). O elevado teor de cinzas do carvão utilizado pela AFP (em torno de 30%) aumenta, porém, a tendência à sinterização dos finos, limitando as temperaturas de redução a 1000-1020°C.

Teores de S até 1,2% são perfeitamente controláveis pela adição de calcário ou dolomita, mantendo abaixo de 0,020% a proporção deste elemento no DRI.

A composição granulométrica do carvão deve ser escolhida em função da do minério e da tendência à degradação de ambos ao longo do processo; procura-se manter baixos os teores de finos < 1 mm, facilmente arrastados pelo fluxo gasoso, bem como das frações muito graúdas, pois nos extremos da faixa granulométrica podem aparecer problemas de segregação na carga.

A Tabela I mostra a composição química (base seca) e granulométrica do carvão redutor utilizado na AFP. Teores de umidade até 15% são perfeitamente aceitáveis. Mostram os valores aqui apresentados a boa tolerância do processo em relação ao redutor, porquanto o teor de carbono-fixado deste não alcança 40%, em base seca; com um teor de umidade total de 13%, introduzem-se no forno, em uma tonelada de redutor, apenas 330 kg de C-fixado e este é, por excelência, o elemento redutor que se combina com o oxigênio do minério.

A matéria volátil do carvão, por sua vez, oferece vantagem operacional, cobrindo parte da demanda de combustível para a manutenção do perfil térmico do forno. Os efeitos da sua participação na redução são controversos.

3.2. Minério de Ferro

Minérios pelotizados de diversos tipos e alguns granulados tem sido utilizados na AFP, com resultados variáveis. Atualmente, empregam-se pelotas especiais para RD, de boa redutibilidade, baixa degradação granulométrica e elevado teor de Fe (Tab.II). São pelotas de alta qualidade, cujo emprego se justifica pelo seu elevado teor de Fe e sua baixa produção de finos.

São características importantes para o processo a degradação do minério durante a redução, a tendência à aglomeração dos finos formados nesta e a redutibilidade, ao lado da composição granulométrica.

A redutibilidade do minério, embora não tenha a importância que tem a reatividade do carvão, co-determina com esta, no estágio final da redução, a velocidade com que o oxigênio é removido do óxido de Fe e, portanto, o grau de metalização alcançado pelo DRI⁽²⁾ e⁽³⁾.

A composição granulométrica do minério atua na redução de várias formas:

- a) Grãos de grandes dimensões exigem elevado tempo de residência na zona de redução, para a obtenção de metalização homogênea, ao longo do seu diâmetro;
- b) A mistura homogênea de carvão e minério, indispensável para o bom andamento do processo, só é obtida para certas relações de bitola entre estes materiais;
- c) Material muito fino é sujeito a perdas por arraste.

O parâmetro decisivo na qualificação do minério para o processo é a degradação granulométrica que ocorre durante a redução, bem como o comportamento dos finos formados, quando sujeitos às temperaturas vigentes no forno.

Finos < 1 mm tendem a produzir perdas por arraste nos gases, conforme anteriormente comentado; prejudicam a

qualidade do DRI e participam, por reação com os já citados produtos de decomposição da matéria mineral do carvão e do calcário, da formação de aglomerados. Ensaaios-piloto na AFP mostram diferenças acentuadas na tendência à sinterização dos finos formados por alguns minérios granulados e pelletizados, confirmadas por observações feitas na prática operacional⁽³⁾.

Quanto ao teor de ferro do minério, este se manifesta na fabricação do aço, influenciando o volume de escória, o consumo de energia e o tempo de fusão. X

3.3. Dessulfurantes

O dessulfurante participa em pequena proporção da mistura que compõe a carga do forno (3% do minério). Calcários calcíticos e dolomíticos tem sido utilizados, indistintamente. A Tabela III apresenta as características básicas do dessulfurante atualmente em uso.

X 4. O PRODUTO DA REDUÇÃO DIRETA

Dentre as características do DRI atualmente produzido na AFP (valores médios, Tab.IV) destacam-se:

- elevado grau de metalização, em média superior a 92%, e baixo teor de ganga; são parâmetros importantes para a produção do aço, onde promovem curtos tempos de fusão e menor consumo de energia;
- grande regularidade de composição, característica desejável em toda a matéria-prima, facilitando o ajuste da composição do aço;
- baixo teor de contaminantes, permitindo ao aciarista compensar a composição da sucata disponível, mantendo elevada a qualidade do produto final.

5. EVOLUÇÃO OPERACIONAL

Após um período inicial (1973-1978) de grande instabilidade, caracterizado por frequentes interrupções na operação e cam

panhas cuja duração raras vezes ultrapassava 20 dias, foi constituído um grupo de trabalho, com o objetivo de analisar as causas e encontrar soluções para as dificuldades existentes.

Estas resultavam, principalmente, da elevada tendência à formação de alomerados, por reação entre componentes da carga (veja-se item "Matérias-Primas"), por um lado, e a falta de um sistema de medição preciso de vários parâmetros operacionais influentes, como temperaturas, vazões de ar, altura da carga, etc.

Como resultado dos trabalhos deste grupo, foram feitas diversas modificações, tanto no equipamento de produção como na instrumentação e na sistemática de operação, citando-se dentre as mais importantes:

- . adoção da medição de temperaturas mediante termopares sensíveis, de resposta rápida, como rotina de trabalho;
- . medição aperfeiçoada e registro contínuo das vazões de ar introduzido no forno;
- . injeção radial de ar na zona de aquecimento, melhorando a combustão na atmosfera gasosa;
- . diminuição do diâmetro livre na extremidade de descarga do forno, com aumento do tempo de residência da carga;
- . adequação das matérias-primas, em termos de granulometria e composição química, às exigências do processo; esta ação permitiu, em particular, melhorar os efeitos da injeção de carvão através da boca de descarga do forno, com efeitos positivos sobre o perfil térmico;
- . desenvolvimento de sonda para a coleta de gases, extraí - dos separadamente, do seio da carga e da atmosfera gasosa, permitindo o acompanhamento do desenrolar do processo;
- . desenvolvimento de um sistema de medição do nível da carga (grau de enchimento), indicador da formação de aglomerados aderentes à parede do forno.

Estas e outras modificações, adaptações e inovações permitiram a adoção de uma sistemática operacional, baseada em regu

laridade de parâmetros e apurado controle, que resultou em campanhas de maior duração, menores tempos de interrupção, redução dos índices de consumo, diminuição de custos e melhor qualidade do produto.

A partir de 1983 tem sido dada maior ênfase à elevação do grau de metalização do ferro-esponja, atendendo à conveniência da Aciaria, que assim reduziu seus tempos de fusão e seu consumo específico de energia (Fig.7). Nas Figuras 8 à 10 po ser acompanhada esta evolução, de 1983 a 1986, em termos de tempo médio anual de interrupções de operação, que passou de 27,1% em 1983 a 8,5% em 1986, e se reflete na produção horária de ferro metálico, cuja média anual aumentou, apesar da elevação do grau de metalização. Este último atingiu a média de 91,7% no corrente ano, com valores mensais médios de até 93%, sendo bastante sensível à qualidade do carvão redutor.

6. CONSIDERAÇÕES POLÍTICO-ECONÔMICAS

Retomando o assunto abordado na introdução a este trabalho, voltamos a enfatizar a situação dos países em desenvolvimento quanto à disponibilidade de redutores para a Siderurgia e quanto ao mercado de capitais:

- . carência de carvões adequados à produção de coque metalúrgico, ao lado da abundância de carvões não coqueificáveis e/ou de gás natural; o Brasil importou em 1986 aproximadamente 8,54 milhões de toneladas de carvão para coque(4).
 - . Limitada capacidade de investimento e infra-estrutura muitas vezes insuficiente para a instalação de usinas de grande porte, exigindo investimento adicional.
- A produção de aço via redução direta e aciaria elétrica vem, sob muitos aspectos, de encontro a esta situação:
- a) dispensa coqueria e planta de sinterização, apresentando, portanto, menor número de módulos e, conseqüentemente, menor exigência de investimento do que a rota alto-forno e aciaria LD;

- b) atinge viabilidade econômica em produções de cerca de 1 milhão de t/ano, contra 3-5 milhões de t/ano para o binômio AF/LD, dependendo de condições regionais e mistura de aços. (6).
- c) na ausência de coqueria, causa menor impacto ambiental e o sistema de proteção requerido é mais simples e menos dispendioso;
- d) operando com matérias-primas autóctones, evita a evasão de divisas e o alto custo da importação de carvão metalúrgico.

Os aspectos acima citados adquirem importância fundamental na época atual, em que o endividamento externo das nações em desenvolvimento chega a uma fase crítica.

A combinação RD/AE proporciona, ainda, a países do "terceiro mundo" a oportunidade de exportarem tecnologia. Este é o caso, por exemplo, do México, detentor do processo Hyl e do Brasil, possuidor de larga experiência operacional no processo SL/RN.

7. CUSTO DO FERRO ESPONJA

Na composição do custo do DRI produzido na AFP predomina o do minério, onerado em cerca de 40% pelo transporte e seguido do carvão, este último produzido na região. Juntos, estes materiais perfazem mais de 75% do custo total do ferro esponja, que fica em torno de US\$ 100/tonelada.

Apesar do alto custo do minério, que perfaz em torno de 50% do total e da pequena capacidade de produção da Unidade de Redução Direta da AFP (55.000 t/ano), este custo enquadra-se no nível internacional⁽⁵⁾, onde predomina o DRI proveniente da redução gasosa (esta última utiliza módulos de capacidade de produção geralmente bastante mais elevada). A produção deste substituto da sucata torna-se, assim, competitiva com esta, em épocas de economia normal. Mesmo em períodos recessivos, quando a diminuição da demanda reduz o preço desta, o uso do ferro esponja pode ser atraente, face às vantagens

que oferece na produção de aços especiais, principalmente; alguns destes não poderiam ser obtidos a partir das sucatas disponíveis regionalmente e, mesmo, no mercado internacional.

8. BIBLIOGRAFIA

- (1) Oliveira, F.G.A.- Carvão Mineral na Indústria Siderúrgica - Seminário MME/CAEEB/PLANFAP- Itaipava, Rio DEZ-86
- (2) Rangel, R., Schnabel, W. e Serbent, H - Product of Sponge Iron by Using Low Grade Coals. Extr. Metall. 1981
- (3) Leister, H.- Redutibilidade e Degradação de Minério de Ferro - 2º Seminário CTPD- SIDERBRÁS, Ipatinga, MG, 1984
- (4) IBS-Anuário Estatístico, 1987
- (5) Astier, J.- Nuevas Perspectivas Economicas para Redução Direta - Red.Direta - 1986
- (6) Direct from Midrex 1985

CARACTERÍSTICAS DO C. REDUTOR

CF (base seca)	38,0 %
MV (base seca)	29,0 %
Cz (base seca)	33,0 %
S (base seca)	0,7 %
PCS (base seca)	4.700 kcal/kg

GRANULOMETRIA %

Malha (mm)	Alimentação	Injeção
< 1	5,4	4,2
> 1	5,9	1,9
> 2	11,6	1,9
> 3,15	19,7	2,7
> 5	22,2	4,2
> 8	15,4	5,4
> 10	12,2	5,4
> 12	7,0	20,7
> 16	0,4	24,0
> 20	0,2	29,6
Média	6,45 mm	15,41 mm

TABELA I

CARACTERÍSTICAS DO MINÉRIO

COMPOSIÇÃO QUÍMICA %	
Fetot	68,0
CaO	0,73
MgO	0,28
SiO ₂	1,07
Al ₂ O ₃	0,61
P	0,015
S	0,005
Basicidade	0,6

GRANULOMETRIA %	
Malha (mm)	%
< 1	2,4
> 1	0,1
> 2	1,3
> 3,15	1,3
> 5	4,9
> 8	20,4
> 10	31,4
> 12	37,3
> 16	0,9
Média	11,08 mm

TABELA II

CARACTERÍSTICAS DO DESSULFURANTE

COMPOSIÇÃO QUÍMICA	%
CaO	29,4
MgO	22,6
SiO ₂	0,52
P	0,052
S	0,006
P.F.	46,39

Malha (mm)	%
< 1	32,0
> 1	19,2
> 2	15,7
> 3,15	17,2
> 5	10,3
> 8	3,4
> 10	1,3
> 12	0,9

TABELA III

CARACTERÍSTICAS DO DRI

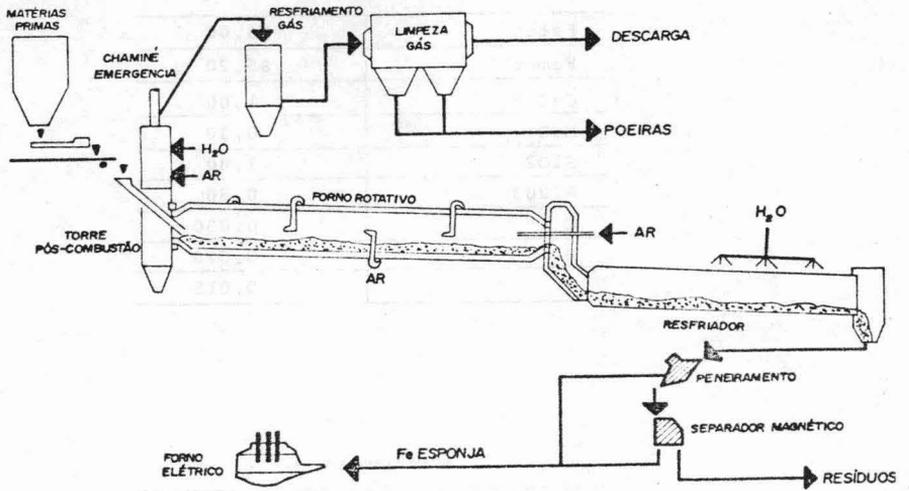
COMPOSIÇÃO QUÍMICA %

Fetot	93,00
Femet	85,20
CaO	1,00
MgO	0,30
SiO ₂	1,80
Al ₂ O ₃	0,50
C	0,050
P	0,020
S	0,015

GRANULOMETRIA %

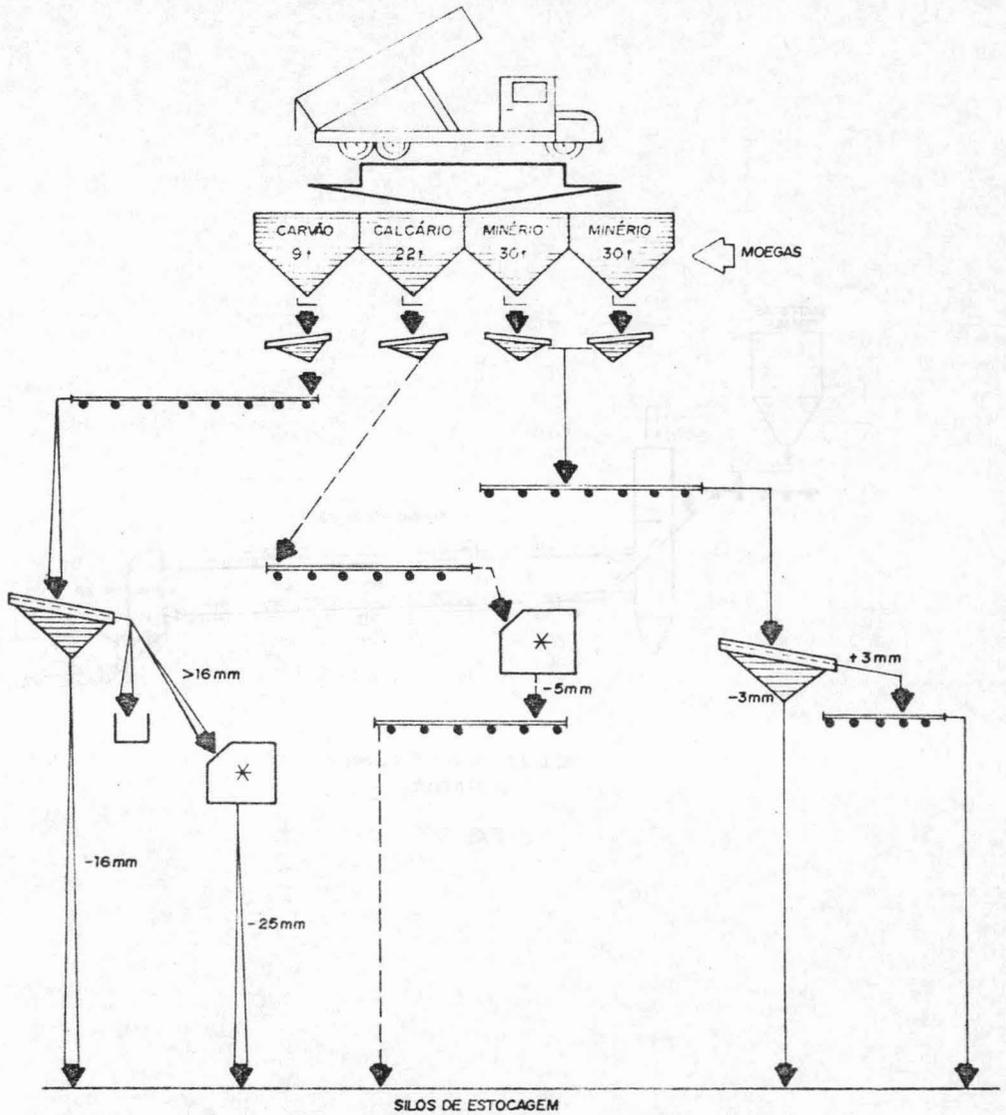
Malha (mm)	%
< 1	2,3
> 1	1,2
> 2	1,8
> 3,15	4,7
> 5	16,2
> 8	29,8
> 10	43,8
> 16	0,2

TABELA IV



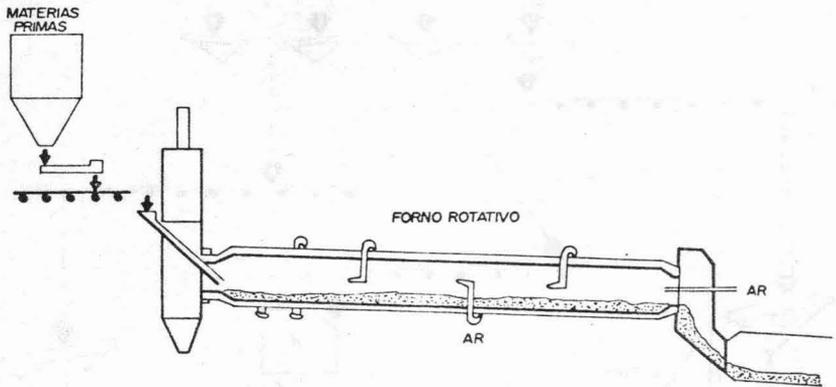
FLUXOGRAMA DA UNIDADE DE REDUÇÃO DIRETA
SL/RN

FIG. 01



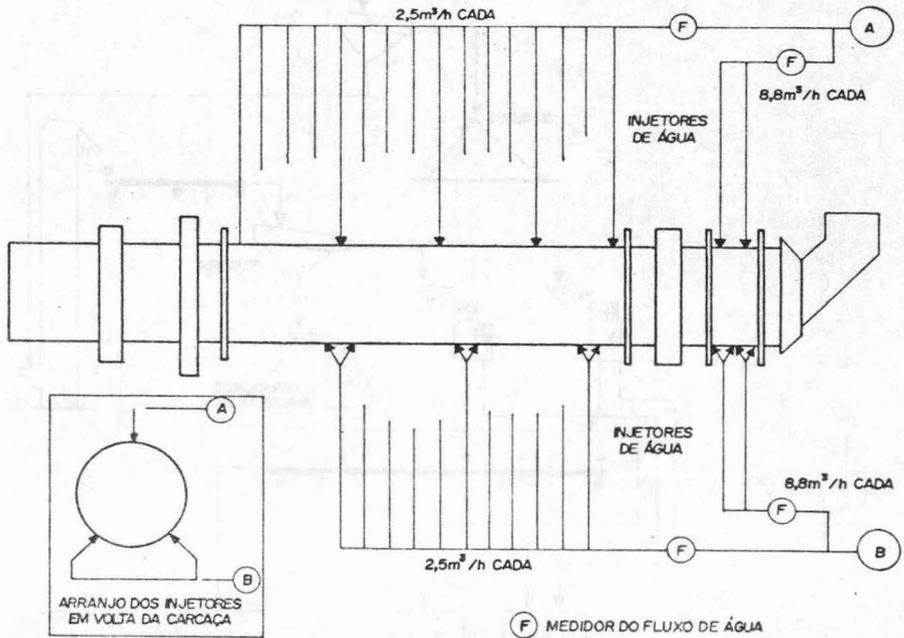
RECEBIMENTO E PREPARAÇÃO DE MATÉRIAS PRIMAS

FIG. 02



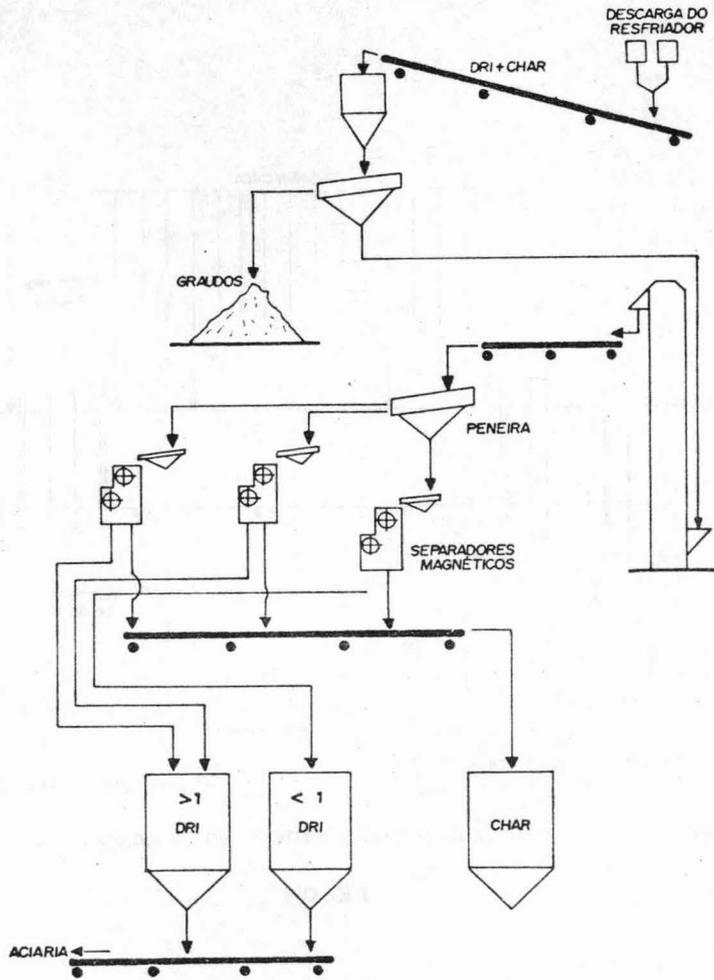
ALIMENTAÇÃO E FORNO
ROTATIVO

FIG. 03



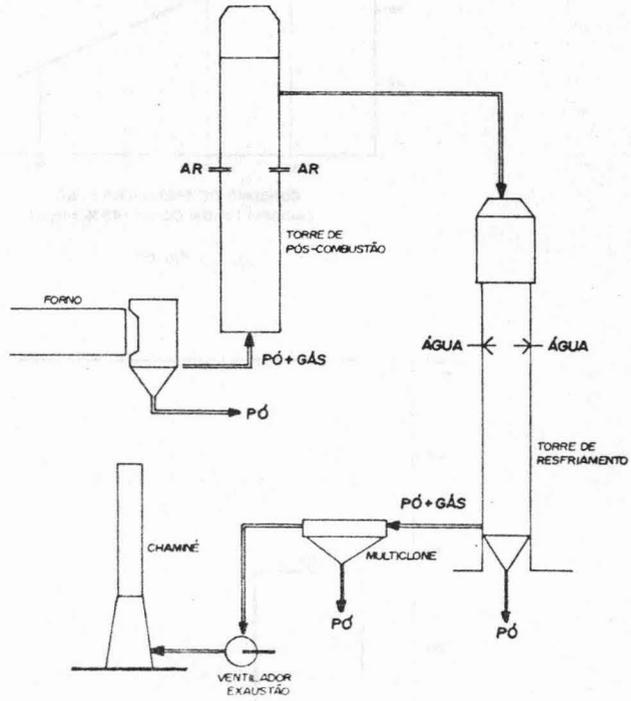
DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA DE RESFRIAMENTO SOBRE A CARÇAÇA DO RESFRIADOR

FIG. 04



SEPARAÇÃO DO PRODUTO

FIG. 05



TRATAMENTO DOS GASES

FIG. 06

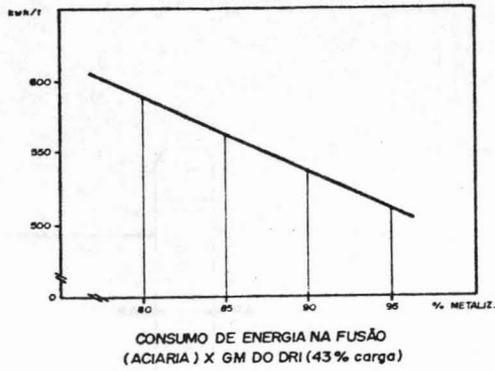


FIG. 07

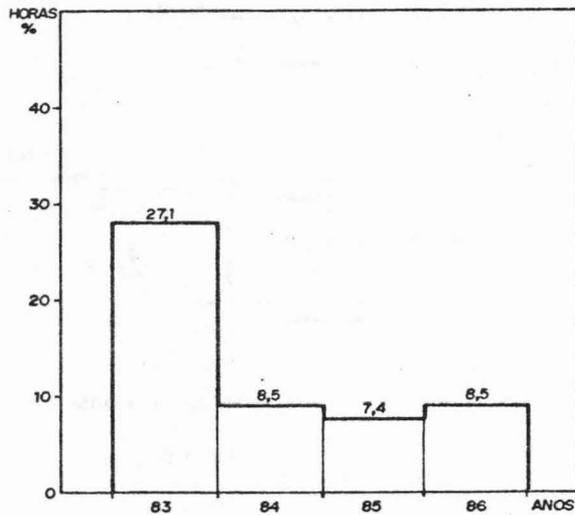


FIG. 08

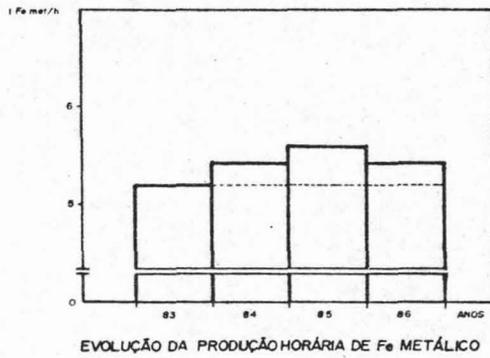


FIG. 09

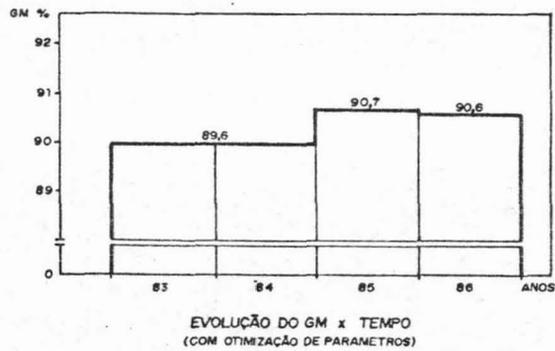


FIG. 10

