

IMPORTANTES FATORES A CONSIDERAR NA PRODUÇÃO DE PELOTAS DE MINÉRIO DE FERRO E SUA UTILIZAÇÃO NOS PROCESSOS DE REDUÇÃO DIRETA⁽⁰⁾

José Tadeu de Moraes⁽¹⁾
Jorge Arturo Montes Cano⁽²⁾

RESUMO

A especificação da matéria-prima para os processos de redução direta é determinada principalmente pelas necessidades e aspectos econômicos das plantas de redução direta associadas a fabricação de aço, aciaria.

Estas matérias primas podem estar na forma de pelotas ou granulados de minério de ferro oxidado e frequentemente são usadas misturadas e são procedentes de diversas fontes. Por outro lado, os fornecedores de minério de ferro e operadores das usinas de redução direta estejam continuamente buscando incrementar a qualidade da matéria prima e consequentemente aumentar a produção do produto final.

A Samarco Mineração S/A como produtora de pelotas de minério de ferro em parceria com seus clientes, consegue detalhadas informações das operações e processos das usinas de redução direta, servindo como guia para atualizar procedimentos e implantar primeiro testes de laboratório piloto e logo, a nível industrial, usando os aditivos e aglomerantes mais adequados para produzir pelotas, melhorando suas características químicas, físicas e de redução.

(0) Contribuição Técnica ao I Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro: Caracterização, Beneficiamento e Pelotização-Ouro Preto/MG 01 a 04 outubro 1996

(1) Gerente Geral da Unidade de Ponta Ubu - Samarco

(2) Assistente Técnico da Gerência Geral - Samarco

1. INTRODUÇÃO

A qualidade do minério de ferro reduzido (DRI) está diretamente relacionada à qualidade do minério de ferro oxidado na forma de pelotas ou de granulado, usado como alimentação ao reator nos processos de redução direta.

Portanto, é importante que os operadores das plantas de redução direta utilizem matérias primas que sejam adequadas em suas operações e que permitam produzir DRI cujas especificações de qualidade sejam as mais convenientes para uso no processo de fabricação de aço.

Conhecendo a grande importância que a matéria prima têm nos processos de redução direta, concordamos enfocar neste trabalho alguns fatores importantes de qualidade na produção, principalmente, de pelotas de minério de ferro para produzir DRI. O DRI está atualmente desempenhando um papel muito importante nos fornos elétricos (EAF) na produção de aço.

Os fornos elétricos (EAF) na produção de aço continuamente exigem a mais alta qualidade de sucata, e DRI como um complemento ou substituto da sucata para aqueles produtores de aço cuja necessidade é o baixo alimento residual contido na matéria prima como carga aos fornos elétricos.

Durante anos as plantas de redução direta têm operado com muitos tipos de pelotas e granulados de minério de ferro e cada vez mais melhorando suas características químicas, físicas e de redução por exigências dos produtores de DRI; o que permite selecionar a melhor combinação de pelotas e granulados nas operações do reator, DRI - forno elétrico, EAF.

A Samarco sente esta necessidade e baseado nos trabalhos de investigação e informações técnicas de seus clientes modificou e melhorou os procedimentos operacionais de planta, obtendo como resultado a fabricação de pelotas para os processos de redução direta Midrex e Hyl com características químicas, físicas e de redução, para produzir um DRI de alta qualidade e mais baixo custo na fabricação de aço.

A Samarco Mineração S/A dedica-se desde 1977 a produção de concentrados e pelotas de minério de ferro, com uma capacidade de produção em 1995 de 9.5 milhões de toneladas/ano. A Samarco têm como acionistas a S.A Mineração da Trindade (SAMITRI) com 51% do capital e a australiana BHP Minerals com 49%.

Da quantidade total de pelotas produzidas em 1995, aproximadamente 5.8 milhões de toneladas/ano; 50% têm sido usadas nos processos de redução direta Midrex e Hyl.

A Samarco está ampliando sua capacidade de produção de pelotas para 12 milhões toneladas/ano, aproveitando o aumento da demanda por pelotas e principalmente pela aceitação de seus produtos no mercado internacional.

O investimento total será de US\$ 250 milhões, com início previsto de operação no segundo semestre de 1997.

2. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

As características na composição química das matérias primas do minério de ferro oxidado, com o avanço da tecnologia dos processos de redução direta, é ditado principalmente no processo posterior a redução, na produção de aço.

Nos processos de redução direta a única mudança química na matéria prima, é a remoção do oxigênio do minério de ferro oxidado, sendo que a maior parte da ganga está presente no produto reduzido (DRI). Por esta razão, o conteúdo de ferro no minério deveria ser o mais alto possível e o conteúdo da ganga o mais baixo possível.

A remoção do oxigênio causa um aparente incremento na porcentagem do ferro e nas impurezas no produto reduzido. Excessiva ganga no minério ou elementos indesejáveis como Cu; Ni; Ti; Sn; e Cr podem ter um efeito negativo na economia do processo de fabricação de aço no forno elétrico.

Segundo certos processos de fabricação de aço, uma alta ganga ácida no DRI, incrementa o consumo de energia elétrica e de refratários nos fornos elétricos, EAF.

Os seguintes constituintes devem ser considerados na matéria prima, pelotas e granulado:

- O Fe Total deveria ser tão alto quanto possível, sendo de preferência com um mínimo de 67%.

- A ganga ácida como sílica e alumina deveriam ser mantidas num limite máximo de 2.2%. Alguns processos aceitam um limite de até 3.0%.

- Porcentagem de CaO e MgO são geralmente determinados pelas características da escória necessária na fabricação de aço. Valores até 2.0% para CaO e 1.0% para MgO são usualmente aceitáveis nas pelotas. Em alguns casos mais alto CaO e MgO adicionadas como aditivos na fabricação de pelotas podem interferir na velocidade de redução. Por outro lado, a adição de CaO e MgO usualmente aumenta a temperatura de "sticking" da matéria prima o qual por sua vez permite mais altas temperaturas de operação do reator para compensar a baixa reducibilidade do minério.

A Samarco chegou a usar uma mistura de cal dolomítica e magnesita para elevar o conteúdo de MgO na fabricação de pelotas para os processos Midrex. Atualmente é

TABELA I - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS - 1995

<i><u>PELOTAS TÍPICAS PARA PROCESSOS MIDREX</u></i>		<i><u>PELOTAS SAMARCO PARA PROCESSOS MIDREX</u></i>
FeT	67.0 - 68.0	67.70
FeO	0.50 Máx.	0.10
SiO ₂	1.0 - 2.0	1.65
Al ₂ O ₃	0.2 - 0.8	0.45
CaO	0.2 - 2.0	0.55
MgO	0.2 - 1.0	0.30
P	0.04 Máx.	0.040
S	0.01 Máx.	0.004
TiO ₂	0.35 Máx.	0.05
Cu	0.001 - 0.01	0.006
Na ₂ O+K ₂ O	0.10 Máx.	0.07
Mn, Cr, Zn, Pb	traços	0.05

<i><u>PELOTAS TÍPICAS PARA PROCESSOS HYL</u></i>		<i><u>PELOTAS SAMARCO PARA PROCESSOS HYL</u></i>
FeT	66.0 - 68.0	66.50
FeO	0.80 Máx.	0.10
SiO ₂	1.0 - 2.0	1.70
Al ₂ O ₃	0.2 - 0.8	0.45
CaO	0.2 - 2.0	1.80
MgO	0.2 - 1.0	0.30
P	0.04 Máx.	0.040
S	0.03 Máx.	0.005
TiO ₂	0.35 Máx.	0.05
Cu	0.001 - 0.01	0.006
Na ₂ O+K ₂ O	0.20 Máx.	0.07
Mn, Cr, Zn, Pb	traços	0.05

adicionado calcáreo dolomítico em ambos os casos de fabricação de pelotas; para os processos Midrex e Hyl.

- O conteúdo de fósforo na matéria prima depende do tipo de aço produzido e da técnica empregada na fabricação de aço. É importante anotar que o fósforo está na forma de P_2O_5 , o qual é mais fácil de removê-lo. Valores de P na pelota de até 0.040% são aceitáveis, porém, algumas plantas aceitam até 0.045%.

- O conteúdo de enxofre na matéria prima do minério de ferro oxidado é um assunto de maior interesse das plantas de redução direta do que aquelas de fabricação de aço. Se possível, o enxofre deveria manter-se o mais baixo possível. O enxofre da matéria prima é liberado em parte, durante a redução e posteriormente no gás de processo ao reformador.

Durante anos, a experiência na operação das plantas têm mostrado que o máximo de enxofre contido na matéria prima que alimenta os reatores de redução direta é em torno de 0.01%, e que é também aceitável na produção de aço. Esta porcentagem pode variar dependendo da porcentagem do enxofre liberado da matéria prima no processo. As pelotas Samarco contêm um enxofre total de 0.004% com uma liberação no processo Midrex de 5 a 10 ppm.

- Outros elementos como Titânio (TiO_2), devem ser controlados sendo o limite de 0.15%, e como aceitável até 0.35%. Titânio (TiO_2); Vanádio (VaO_5); Chumbo (Pb); Zinco(Zn); Arsênico (As); Cromo (Cr); etc, são muito baixos percentualmente nas pelotas Samarco para os processos de redução direta.

Critérios específicos devem ser verificados pelos usuários de DRI; onde excessivos percentuais destes outros elementos podem criar dificuldades em produzir certa qualidade de aço.

A Tabela I, mostra as características químicas dos dois tipos de pelotas de redução direta produzidas pela Samarco, comparadas com as especificações típicas para os processos Midrex e Hyl.

3. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

As características físicas das pelotas como matérias prima aos processos de redução direta são importantes fatores no manuseio do produto e no processo de redução no reator D. R.

- Tamanho das pelotas deveriam variar entre 9mm e 16mm entre 85% a 95%.
- A resistência à abrasão deve ser suficiente para minimizar a degradação e evitar gerar finos durante a manipulação, embarque e no processo operacional do reator D. R.

TABELA II - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS - 1995

<i>TAMANHO (%)</i>				
$\frac{+ 16\text{mm}}{8.0}$	-	$\frac{16 \text{ mm} + 9 \text{ mm}}{85.5}$		$\frac{- 6.3\text{mm}}{1.0}$
<i>TUMBLE INDEX</i>	<i>ABRASÃO</i>	<i>COMPRESSÃO</i>	<i>D.APARENTE</i>	<i>POROSIDADE</i>
$\frac{\%+6.3 \text{ mm}}{93.5}$	$\frac{\%-0.5 \text{ mm}}{5.5}$	$\frac{\text{Kg/pelotas}}{270}$	$\frac{\text{T/m}^3}{1.95}$	$\frac{\%}{34}$

- O tumble index deveria ser 92 a 95% +6.3mm e a compressão a frio deveria estar acima de 250 Kg.

Tamanho, tumble index e compressão são fatores importantes de qualidade e significa que as pelotas deveriam conservar a forma esférica através do processo de redução para manter a necessária permeabilidade do reator.

- Densidade aparente (bulk density) das pelotas é importante do ponto de vista da capacidade volumétrica dos silos e reator. O valor deveria estar entre 1.90 e 2.2 T/M.

- A porosidade das pelotas deveria ser suficientemente alta para permitir o mais rápido tempo de redução da carga.

A Tabela II, mostra as características físicas dos dois tipos de pelotas de redução direta produzidas.

4. CARACTERÍSTICAS DE REDUÇÃO

As características de redução das matérias primas do minério de ferro oxidado são mais importantes no processo de redução no reator da planta DR que no processo de fabricação de aço na aciaria.

- Reducibilidade: Nos processos de redução os reatores mais modernos estão calibrados para uma residência de carga de 6 horas na zona de redução. As pelotas Samarco têm atingido um grau de aceitabilidade no mercado de redução direta devido aos altos valores de reducibilidade e metalização. Estas características são fatores de qualidade para o desempenho e eficiência na redução de custos no processo posterior na fabricação de aço.

Os diferentes processos conhecidos tais como a Midrex, Hyl, SL/RN, Lurgi, etc. usam procedimentos de testes para avaliar estas propriedades metalúrgicas das matérias primas, estabelecendo valores de metalização de pelo menos 90% quando testado no laboratório. Industrialmente as plantas operam como mínimo 92% de metalização.

- Tendência a formação de cachos (clustering): A formação de cachos (clustering) das partículas é o resultado de aquecimento da carga, além de sua temperatura de amolecimento.

A otimização da operação do reator é normalmente operado num ponto onde um pequeno número de aglomerados são gerados, qual maximiza a utilização do gás de redução.

Em geral, as pelotas têm uma mais baixa temperatura de amolecimento que o "lump ore", e em particular, as pelotas ácidas tendem a ter mais baixa temperatura de amolecimento. Existem atualmente duas opções comumente seguidas para incrementar a efetiva temperatura de amolecimento da carga no reator RD.

A primeira é usar uma combinação de "lump ore" e pelotas. A segunda é o uso de pelotas maquiadas com cimento, bauxita, cal, etc. que tem propriedades de diminuir a

TABELA III - CARACTERÍSTICAS DE REDUÇÃO - 1995

<u>PELOTAS TIPO MIDREX</u>		<u>PELOTAS TIPO HYL</u>	
Linder Test (760⁰C)		Reducibilidade	
Metalização (%)	94.5	K x 102 (Min-1)	
Carbon	1.5	800 ⁰ C	4.0
- 6 Mesh (%)	2.0	950 ⁰ C	5.3
Compressão (Kg/pel)	90		
Static Bed (816⁰C)		Metalização (%)	
Metalização (%)	95.0	800 ⁰ C	91.8
+ 6 Mesh (%)	99.5	950 ⁰ C	92.3
- 6 Mesh (%)	0.5		
Compressão (Kg/pel)	90	Inchamento	
		800 ⁰ c	6.8
		950 ⁰ C	5.5
Reducibilidade (780⁰C)		Desintegração	
R90 (% 1 min)	0.90	+ 6.3 mm (%)	94.2
T90 (minutos)	45	- 3.2 mm (%)	2.1
T95 (minutos)	65	Pelotas Intactas(%)	91.5
Clustering Test (850⁰C)		Clustering Test (950⁰C)	
Revestido com bauxita 3-8%		Revestido com bauxita	5 - 10 %

tendência a colar. A Samarco dentro do desenvolvimento para o controle da colagem, no início, realizou mudanças na formulação química da pelota com aumento de MgO, através da adição de cal/calcareo dolomítico e magnesita, garantindo um melhor desempenho durante a redução. O aumento de MgO na pelota não foi suficiente para minimizar a colagem no processo de redução, logo a Samarco após estudos de pesquisa, iniciou a adição industrial de aspersão do anticolante bauxita o qual surtiu os efeitos desejados. Tabela III

- Degradação: A maioria de “lump ore” (minério graúdo) está sujeito a fragmentação; as pelotas não sofrem este fenômeno. A fragmentação ocorre quando a temperatura de aquecimento do minério está na faixa de 375 °C a 425 °C, durante a redução de hematita a magnetita, e desde a superfície até o centro. O “lump ore” (minério graúdo), o qual inerentemente não é muito elástico, tende a fragmentar devido a tensão física interna estabelecida pela expansão progressiva. A quantidade de fragmentos varia, e os finos produzidos por estes fragmentos são comumente recuperados como finos metálicos e briquetados para uso nos fornos elétricos (EAF).

As pelotas Samarco geralmente têm uma baixa redução de fragmentação, como mostrado na Tabela III.

- Resistência do produto reduzido: A resistência do minério reduzido (DRI) depende quase sempre das características do minério oxidado de alimentação ao reator e geralmente relacionado a resistência das pelotas queimadas. Tabela III.

As características de redução tais como: reducibilidade, degradação durante a redução, tendência a clusterizar; estão sendo exigidas pelos consumidores para serem incluídas nas especificações contratuais da matéria prima. Porém, atualmente, não existe um procedimento de teste internacionalmente aceito para avaliar estas propriedades no processo de redução direta; logo, é difícil que os fornecedores de matérias primas aceitem especificações contratuais, ainda mais se existem penalidades.

Atualmente, mesclas de diferentes materiais (especialmente combinações de pelotas e “lump ore”) são usados para determinar qual combinação resulta no mais baixo custo operacional para satisfazer a máxima produção e manter a qualidade do produto (DRI).

5. CONCLUSÃO:

As especificações das matérias primas para os processos de redução direta, estão principalmente determinadas pelas necessidades e economia das plantas de redução direta associadas as plantas de fabricação de aço.

No caso da Samarco Mineração S/A, como produtora de pelotas de minério de ferro, algumas alternativas estão atualmente sob revisão, no que diz respeito ao uso de outros aditivos variando a composição química para melhorar ainda mais a qualidade física, química e metalúrgica para os processos DR; levando em consideração o custo da pelota/conteúdo de ferro total.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. D. MEISSNER, G. BRANNING. Experience with iron oxide raw material - Direct from Midrex. 1990. p. 8-11.
2. J.A.MONTES, F. WENDLING. Development of direct reduction pellets with various MgO rates by Samarco Mineração S/A, February, 1992.
3. R.BREÑA, J.A.MONTES. Samarco pellets for direct reduction. May, 1993.
4. HYL Report - The direct reduction quaterly, 1994 p.3.