

REUTILIZAÇÃO DE FINOS DE PENEIRAMENTO DE MINÉRIO DE FERRO POR PELOTIZAÇÃO*

Amanda Duarte Fonseca¹
Amanda de Freitas Lobo²
Déborah Fagundes de Souza³
Gisele Chaves Garducci⁴
Davi Silva Braga⁵
Danilson Gonçalves de Melo e Silva⁶

Resumo

O presente trabalho avaliou a reutilização de finos de minério rejeitados do peneiramento na alimentação do alto-forno de uma empresa siderúrgica, através do processo de pelletização, com prévia etapa de concentração gravítica. Para a etapa de pelletização, objetivou-se a produção de 03 tipos de pelotas. Duas das preparações utilizaram pellet feed beneficiado de uma pelletizadora e finos de minério, com e sem concentração prévia. Por último, uma preparação de pelota foi produzida apenas com os finos de minério após concentração. Na etapa de caracterização das pelotas, o produto obtido da mistura do pellet feed beneficiado, insumos da pelletizadora e dos finos concentrados, foi o que apresentou melhor resultado no teste de resiliência e maior teor de ferro (63,5%) após a queima. Entretanto, a pelota produzida utilizando apenas o concentrado de finos de minério apresentou melhor resultado no teste de resistência à compressão. Desta forma, avaliando apenas aspectos químicos e mecânicos, a utilização dos finos de minério da siderúrgica para a produção de pelotas demonstrou ser tecnicamente viável.

Palavras-chave: Finos de minério de ferro; Indústria siderúrgica; Alto-forno; Pelotização.

REUSE OF IRON ORE FINES FROM SIEVING BY PELOTIZATION

Abstract

The present work evaluated the reuse of iron ore fines from sieving in the blast furnace of a pig iron producer, through the pelletizing process, with a previous stage of gravitic concentration. For the pelletizing stage, the objective was to produce 03 types of pellets. Two of the preparations used pellet feed benefited from a pelletizing plant and iron ore fines, with and without previous concentration. Finally, a pellet preparation was produced only with the ore fines after concentration. In the pellet characterization stage, the product obtained from the mixture of the benefited pellet feed, pelletizing additives and the concentrated fines, presented the best results in the resilience test and higher iron content (63.5%) after burning. However, the pellet produced using only the ore fines concentrate showed the best result in the compressive strength test. Thus, by evaluating only chemical / mechanical aspects, the use of iron ore fines for the production of pellets proved to be technically feasible.

Keywords: Iron ore fines; Pig iron producer; Blast furnace; Pelletizing plant.

¹ Estudante de Graduação em Engenharia Química, PUC-MG, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

² Estudante de Graduação em Engenharia Química, PUC-MG, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

³ Estudante de Graduação em Engenharia Química, PUC-MG, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

- ⁴ *Engenheira Química, Mestre, Professora, PUC-MG, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.*
- ⁵ *Engenheiro Químico, Engenheiro de Processos, Pelotização, Vallourec Soluções Tubulares do Brasil S.A., Jeceaba, Minas Gerais, Brasil.*
- ⁶ *Engenheiro Químico, Doutor, Engenheiro, Tecnologia e Engenharia de Processos, Vallourec Soluções Tubulares do Brasil S.A., Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil..*

1 INTRODUÇÃO

A utilização dos minerais exerce grande influência econômica no mercado, uma vez que, diversas atividades em vários campos fazem uso desses e de seus derivados. Dentre as substâncias minerais, destacam-se os minérios metálicos, sobretudo os minérios de ferro, muito utilizados na indústria para produção de ferro-fundido e aço [1]. Entretanto, esses minérios não são encontrados na natureza na forma que são utilizados na indústria. Dessa forma, após ser lavrado, o mesmo passa pelo processo de beneficiamento na própria mina onde é extraído, sendo submetido a operações como cominuição, peneiramento, concentração, espessamento e secagem. Essas operações são utilizadas para modificar a granulometria do material e remover parte da ganga [1,2].

O minério obtido em uma faixa granulométrica específica (cerca de 6 a 50 mm) é alimentado no alto forno juntamente ao carvão vegetal fundentes, para que ocorra a sua redução. Durante todo o processo de beneficiamento e obtenção do ferro-gusa, são gerados finos, caracterizados como coprodutos desse processo. Esses materiais, por conterem o metal de interesse, poderiam ser reutilizados se forem reprocessados por aglomeração [3].

Um dos métodos difundidos no mercado é a pelotização. Esta técnica consiste na aglomeração das partículas finas de minério (< 0,15 mm) com auxílio de aglomerantes, aditivos e água na etapa de pelotamento, seguida pelo processo de tratamento térmico (queima). A esta mistura pode-se adicionar algum combustível sólido em sua composição, objetivando reduzir a quantidade de combustível utilizado na etapa de queima. O produto obtido, denominado pelota, deve possuir propriedades físicas, químicas e metalúrgicas adequadas, para serem utilizadas no processo de obtenção do ferro gusa. A composição química requerida depende da sua utilização (alto-forno ou redução direta e suas subdivisões). A granulometria deve compreender-se entre 10 a 15 mm de diâmetro e o valor médio da resistência mecânica a frio deve ser superior a 150kgf/pelota[1,4,5,6].

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo reutilizar finos de minério de uma indústria siderúrgica e matérias-primas de uma pelotizadora para a produção de pelotas em escala laboratorial. Três tipos de produtos foram fabricados, onde dois utilizaram tortade minério beneficiado da pelotizadora e finos de minério de uma siderurgia, concentrados e não concentrados, e na última preparação, utilizou-se apenas os finos de minério concentrados. As características química, física e mecânica foram obtidas para os três tipos de pelotas produzidos.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1. Metodologia

2.1.1. Caracterização dos finos

Inicialmente, os finos foram caracterizados por análise granulométrica, depois de secos, para verificação da porcentagem de material classificado como *pellet feed*. Os resultados obtidos foram ajustados ao modelo estatístico de distribuição GGS, *Gates-Gaudin-Shaumann*, que correlaciona a quantidade de material com o tamanho das partículas. Através do modelo criado, foi possível determinar o percentual de material com granulometria inferior a 0,15 mm. A análise química via

úmida foi feita a fim de avaliar como os teores de ferro, fósforo, manganês, sílica, alumina e perda por calcinação variam nas diferentes faixas granulométricas.

2.1.2. Análises granulométrica e química das pilhas

A siderúrgica em estudo dispõe-se dos finos de minério em seis pilhas, de formas e tamanhos variados. Portanto, a metodologia adotada para a amostragem foi não probabilística com método proporcional, onde o peso estimado de cada pilha foi levado em consideração para definição do número e massa dos incrementos coletados. Foi realizada análise química e granulométrica da amostra de cada pilha, sendo determinados na análise química os teores de ferro, fósforo, manganês, sílica, alumina, óxido de cálcio, óxido de magnésio, umidade e perda por calcinação. Com os resultados obtidos, uma composição química e granulométrica global foi calculada por média ponderada. Uma mistura de 17 kg foi preparada de acordo com a proporcionalidade de cada pilha, de forma a se obter uma composição química próxima a composição química global calculada.

2.1.3. Produção e análise das pelotas

Foram produzidos três tipos de pelotas, que se diferem principalmente pelo tipo de *pellet feed* utilizado. Na Tabela 1 estão apresentadas as matérias primas utilizadas na composição de cada tipo de pelota.

Tabela 1. Especificação da Pelotas produzidas

PELOTA TIPO 1	Produzida com matérias primas de uma pelotizadora e finos de minério sem concentrar de uma siderurgia.
PELOTA TIPO 2	Produzida com matérias primas de uma pelotizadora e finos de minério concentrados de uma siderurgia.
PELOTA TIPO 3	Produzida com calcários e finos de minério concentrados de uma siderurgia, aglomerante de uma pelotizadora e coque da PUC-MG.

2.1.3.1. Concentração dos finos de minério da siderurgia

Para obtenção dos finos de minério concentrados da siderurgia em estudo, o método de concentração utilizado foi o gravítico utilizando mesa vibratória (Modelo: Comprimento 40" e Largura 18" - Série MCL). Para isso, o fino precisou passar em um moinho de disco (Modelo: MD-200; Série: MD) para adequação da granulometria (300 a 850 μm). Dos 17 kg da mistura de finos preparada, 16,5 kg passaram pelo processo de concentração, enquanto os outros 0,5 kg foram reservados para produção da pelota Tipo 1.

2.1.3.2. Balanço de massa

Para determinação da quantidade de cada matéria prima na produção das pelotas, cálculos de balanço de massas foram realizados de acordo com os resultados das análises químicas de cada matéria prima.

2.1.3.3. Produção e análise das pelotas verdes

As matérias primas fornecidas pela pelletizadora já se encontravam na granulometria ideal para o processo de pelletização (< 45 µm). Já as matérias primas fornecidas pela siderurgia (minério concentrado e não concentrado, calcário calcítico e calcário dolomítico) e o coque fornecido pela PUC-MG passaram por um moinho de bolas (modelo: MB 12x12; Série: MB).

O pelletamento foi realizado no Disco de Pelotização piloto (modelo: PP- 400; Série: PP), com a alimentação nas proporções calculadas no balanço de massa. Após o pelletamento, foi avaliada a resiliência ao teste de resistência a queda das pelotas verdes e a umidade.

2.1.3.4 Produção e análise das pelotas queimadas

Para a queima das pelotas verdes foi utilizada uma mufla (Modelo: 20x20x40 – temperatura. Máx. 1200°C). O perfil térmico utilizado foi estabelecido por: 8 minutos para a etapa de secagem (T= 300°C), 8 minutos para a pré-queima (T= 900°C) e 30 minutos para a queima da pelota (T=1200°C).

Os parâmetros utilizados para identificar a qualidade das pelotas queimadas foram a análise química, como base nas normas ISO 2597 e ISO 11535. A resistência mecânica das pelotas, utilizou a máquina universal de ensaios (tensão e compressão), modelo: F500 e marca: EMIC, e uma máquina hidráulica, modelo: 20 TAZ, marca: Amsler e o software Testview.

2.2. Resultados

Com base no desenvolvimento da metodologia apresentada, os seguintes resultados foram obtidos, sendo descritos e discutidos nas próximas seções.

2.2.1. Caracterização dos finos

A análise química em cada faixa granulométrica está representada na Tabela 2.

Tabela 2. Análise química a úmido obtida da amostra de 10 kg

Abertura da peneira	%Fe	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%P	%Mn	%PPC
2,36 mm	51,1	17,4	3,10	0,051	1,01	4,9
2,00 mm	50,2	18,4	3,26	0,050	1,05	5,1
1,18 mm	48,3	20,0	3,93	0,036	0,92	5,7
1,00 mm	47,3	21,4	4,17	0,049	0,86	5,4
600 µm	45,9	22,6	4,90	0,047	0,77	5,6
300 µm	44,6	24,8	4,59	0,043	0,56	5,8
212 µm	46,9	23,3	3,80	0,057	0,43	4,9
75 µm	46,0	24,9	3,24	0,046	0,38	5,2
Fundo	42,5	27,5	4,70	0,068	0,40	6,1

O modelo estatístico GGS, que descreve a quantidade de material versus o tamanho das partículas, é representado na equação 1.

$$X = \left(\frac{D}{k}\right)^m \quad (1)$$

onde:

X = fração cumulativa com diâmetro menor do que D [adimensional]

D = Diâmetro da partícula [mm]

k = parâmetro do modelo GGS [mm]

m = parâmetro do modelo GGS [adimensional]

Os parâmetros do modelo GGS encontrados e ajustados à curva de distribuição granulométrica foram iguais a $k=3,27$ mm e $m=0,47$. Através do modelo, foi possível determinar a quantidade de finos que se enquadrava dentro da faixa de *pellet feed* ($< 0,15$ mm). O valor encontrado foi igual a 23%.

Com os resultados obtidos na Tabela 2, pode-se perceber a tendência de diminuição do teor de ferro e aumento do teor das impurezas a medida que se diminui a granulometria. Isso pode ser explicado pela dureza apresentada pelos minerais de ferro em relação aos outros minerais presentes. Além disso, percebe-se que o teor de ferro para materiais considerados *pellet feed* é baixo (aproximadamente 46%) e que partículas com granulometria maior possui maior teor (aproximadamente 50%). Dessa forma, torna-se necessário avaliar a utilização de processos de cominuição e concentração para os finos das pilhas, caso a técnica de pelotização seja adotada. Essas análises foram realizadas para uma caracterização inicial dos finos de minério de ferro, para que os posteriores estudos fossem realizados.

2.2.2. Análises granulométrica e química das pilhas

A distribuição granulométrica global e a composição química global das pilhas de finos de minério estão representadas na Figura 1 e Tabela 3, respectivamente.

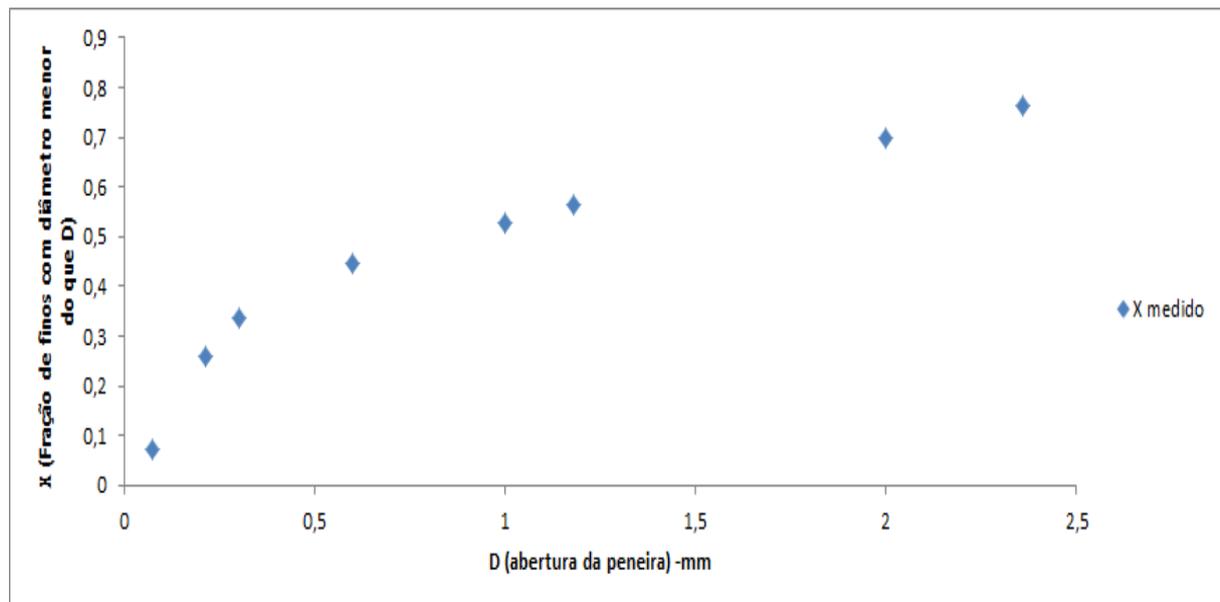


Figura 1 – Distribuição granulométrica global das pilhas de finos de minério

Tabela 3. Composição química global da região externa das pilhas de finos de minério

% Fe	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%P	%Mn	% CaO	% MgO	%PPC	%Um
54,5	15,8	1,85	0,050	0,22	0,19	0,10	3,7	3,4

Através da composição global granulométrica da região externa das 6 pilhas ajustada ao modelo estatístico GGS, foi possível definir que 21,7 % do material se enquadrou dentro da faixa de pellet feed. Os parâmetros k e m apresentaram os seguintes valores, 4,150mm e 0,459, respectivamente. A composição química global calculada foi considerada no balanço de massa para determinação da quantidade de minério da siderúrgica a ser utilizado na produção da pelota tipo 1.

2.2.3. Produção e análise das pelotas

2.2.3.1. Concentração dos finos de minério da siderurgia

A Tabela 4 apresenta a composição química encontrada para o concentrado após o processo de concentração.

Tabela 4. Composição química do concentrado após a concentração do minério em mesa vibratória

% Fe	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%P	%Mn	% CaO	% MgO
59,6	13,0	1,18	0,045	0,09	<0,1*	<0,1*

* Abaixo do limite detectável por titulometria.

Considerando a composição química global apresentada na Tabela 4, percebe-se que o teor de Fe subiu de 54,5 para 59,6% e os teores de todos os outros elementos foram inferiores ao apresentado na Tabela 3. Portanto, do ponto de vista dos teores dos minerais, a concentração demonstrou-se vantajosa para a posterior produção das pelotas, uma vez que a quantidade de ferro foi incrementada em 5 pontos percentuais. Não foi avaliado o rendimento metalúrgico da operação em laboratório.

2.2.3.2. Balanço de massa

A Tabela 5 apresenta a análise química de todas as matérias primas utilizadas na produção dos 3 tipos de pelotas.

Tabela 5. Análise química das matérias primas utilizadas na produção das pelotas

Matérias Primas (%)		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P	Mn	CaO	MgO	PFF	Umidade
TORTA FILTRADA	Calcário Calcítico	2,4	2,7	0,73	0,090	0,10	55,00	3,00	34,8	2,6
	Calcário Dolomítico	6,8	3,4	0,50	0,010	0,47	28,00	17,00	40,6	3,2
	Coque*	0,1	0,1	0,05	-	-	0,05	0,01	-	0,2
	Minério da pelotizadora	65,0	4,1	0,77	0,040	0,16	0,05	0,05	1,7	13,0

Matérias Primas (%)	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P	Mn	CaO	MgO	PFF	Umidade
<i>Bentonita</i>	2,0	60,9	22,30	0,020	-	2,23	3,02	5,0	11,4
<i>Minério da siderúrgica</i>	54,5	15,8	1,85	0,049	0,22	0,19	0,10	3,7	3,4
<i>Minério da siderúrgica concentrado</i>	59,6	13,0	1,18	0,045	0,09	0,10	0,10	0,1	3,4
<i>Coque*</i>	0,3	0,7	0,70	-	-	0,30	0,01	99,2	0,2
<i>Calcário Calcítico</i>	2,3	2,3	0,70	0,037	0,03	53,00	0,70	34,8	2,6
<i>Calcário Dolomítico</i>	5,1	3,2	0,60	0,015	0,02	47,00	6,50	40,6	3,2

*Para o coque foi considerado um teor de 88% de carbono fixo e 10,95 de voláteis.

Com base nas composições da Tabela 5, o balanço de massas obtido para produção dos três tipos de pelota está descrito na Tabela 6. Para a produção de cada tipo de pelota, foi preparado uma mistura de 3 kg conforme as composições fornecidas pelo balanço de massa.

Tabela 6. Composição percentual da mistura a pelletizar para produção dos 3 tipos de pelotas

Componente	Composição percentual da mistura a pelletizar (%)		
	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
Torta	95,80	94,60	-
Bentonita	0,70	0,70	0,68
Minério da Siderurgia	3,50	-	-
Minério da Siderurgia concentrado	-	4,70	93,23
Calcário Calcítico da siderurgia	-	-	-
Calcário Dolomítico da siderurgia	-	-	5,45
Coque da PUC-MG	-	-	0,64
Total	100	100	100

Na Tabela 7 estão presentes os valores da análise química calculada pelo balanço de massa dos 3 tipos de pelotas queimadas.

Tabela 7. Análise química calculada das pelotas queimadas

Pelota	% Fe	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%P	%Mn	% CaO	% MgO	%PPC
Tipo 1	63,5	5,0	0,98	0,040	0,17	2,05	0,49	0,17
Tipo 2	63,7	5,0	0,96	0,040	0,17	2,02	0,49	0,17
Tipo 3	59,7	13,6	1,37	0,046	0,26	2,85	0,50	0,17

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 7, o maior teor de ferro calculado foi da pelota Tipo 2, seguido da pelota Tipo 1 e da Tipo 3. Pode-se considerar que as especificações foram atendidas para os 2 primeiros tipos, considerando as características químicas das pelotas de minério de ferro típicas para altos fornos [6]. Porém, faz-se necessário a realização das análises químicas das pelotas queimadas, objetivando conferir os resultados dos balanços realizados.

2.2.3.3. Produção e análise das pelotas verdes

A Figura 2 apresenta os 3 tipos de pelotas cruas formadas.



Figura 21. Pelotas cruas Tipo 1, Tipo 2 e Tipo 3 (esquerda para a direita).

A Tabela 8 apresenta os resultados do ensaio de número de quedas para cada um dos três tipos de pelotas.

Tabela 8. Resiliência da pelota crua

	Amostra	Número de quedas	Resiliência (Média)
PELOTA TIPO 1	1	3	5
	2	7	
	3	5	
PELOTA TIPO 2	1	3	6,7
	2	6	
	3	11	
PELOTA TIPO 3	1	8	12,3
	2	7	
	3	22	

A resiliência mede a resistência das pelotas cruas úmidas à queda. Entretanto, um valor alto de resiliência pode não indicar uma elevada resistência da pelota, pois a mesma pode apresentar comportamento visco-elástico, o qual favorece a deformação [9]. Observou-se que as pelotas Tipo 1 e 2 apresentaram fragilidade, em contrapartida, a pelota Tipo 3 não trincou com facilidade apresentando assim, um elevado valor de resiliência e um possível comportamento visco-elástico. A pelota Tipo 1, em escala industrial, poderia suportar 4 quedas (inferiores a 45 cm) durante o transporte do disco de pelotamento até o forno grelha. Já o Tipo 2, aproximadamente 5, e o Tipo 3, 11 quedas. Conforme a prática comum para o teste, as pelotas ensaiadas foram pré-selecionadas na faixa de tamanhos entre 12,5 e 16mm de diâmetro, de forma a evitar maiores influências do tamanho no resultado. A Tabela 9 apresenta o percentual de umidade do processo de pelotização de cada um dos três tipos de pelotas cruas produzidas.

Tabela 9. Umidade dos três tipos de pelotas cruas

Pelota	Massa de Pelota úmida (g)	Massa de Pelota seca (g)	Umidade (%)
Tipo 1	1918	1644	14,3
Tipo 2	2364	2066	12,6
Tipo 3	2060	1762	14,5

2.2.3.4 Produção e análise das pelotas queimadas

A Figura 3 apresenta os 3 tipos de pelotas queimadas formadas.



Figura 3. Pelotas queimadas Tipo 1, Tipo 2 e Tipo 3 (esquerda para a direita).

A análise química das pelotas queimadas está demonstrada na Tabela 10.

Tabela 10. Composição química dos 3 tipos de pelotas após queima

Pelota	%Fe	%SiO₂	%Al₂O₃	%P	%Mn	%CaO	%MgO	%PPC
Tipo 1	63,8	4,9	0,81	0,038	0,17	2,20	0,41	0,24
Tipo 2	65,5	5,3	0,84	0,045	0,19	2,37	0,50	0,19
Tipo 3	57,4	11,5	2,40	0,042	0,28	3,78	0,53	0,23

De acordo com a análise química das pelotas queimadas, pode-se observar que a pelota tipo 2, produzida com minério da siderúrgica concentrado, apresentou o maior teor de ferro, seguido dos produtos do Tipo 1 e Tipo 3. As do Tipo 1 e do Tipo 2 se enquadraram nas especificações químicas de pelotas de minério de ferrotípicas para altos fornos [6]. A do Tipo 3, ficou fora das especificações, principalmente pelos altos teores de sílica e alumina e baixo teor de ferro. Em relação ao valor de basicidade binária, os produtos do tipo 1 e 2 apresentaram valores dentro da faixa de pelotas consideradas ácidas. Estas geralmente apresentam elevada resistência mecânica, porém propriedades metalúrgicas moderadas (baixa redutibilidade).

A Tabela 11 apresenta os resultados de resistência à compressão para todos os corpos de prova testados referente às pelotas queimadas.

Tabela 11. Resistência mecânica a frio das pelotas queimadas

Pelota TIPO 1		
Corpo de prova	Carga de ruptura (kgf)	Resistência mecânica média (kgf/pelota)
1	304	236
2	203	
3	309	
4	183	
5	179	
Pelota TIPO 2		
Corpo de prova	Carga de ruptura (kgf)	Resistência mecânica média (kgf/pelota)
1	311	340
2	457	
3	278	
4	356	
5	297	
Pelota TIPO 3		
Corpo de prova	Carga de ruptura (kgf)	Resistência mecânica média (kgf/pelota)
1	279	746
2	1454	
3	675	
4	834	
5	485	

Pode-se observar que a média dos resultados de resistência mecânica dos três tipos de pelotas produzidos, superou o valor de referência de 150kgf/pelota. O resultado crescente do valor de resistência da pelota (Tipo 3 > Tipo 2 > Tipo 1) pode ser explicado pelo maior teor de sílica registrado na composição química dos produtos queimados. Aescória formada pela presença da sílica, cal e outros óxidos se funde abaixo de 1200°Ce contribui como ligante. Quanto maior o teor de sílica maior a contribuição destemecanismo na formação das ligações das pelotas. Estas ligações têm característicavítrea, conferindo elevada resistência à pelota. Contudo, uma piora na sua redutibilidade deve ser observada [10].

3 CONCLUSÃO

A geração de finos durante o beneficiamento do minério de ferro exige uma destinação desse coproduto. Por motivos estratégicos e econômicos, uma dessas destinações é o processamento para obtenção de um produto com alto teor de ferro e granulometria adequada. Visando isso, o principal objetivo deste estudo foi estabelecer o reaproveitamento dos finos de minério de ferro gerados de uma siderúrgica através da técnica de pelotização. Para isso os finos

foram caracterizados, concentrados e submetidos à produção de três tipos de pelotas. Foram verificadas as suas características físicas, químicas e mecânicas. Analisando a caracterização dos finos, foi observado maior teor de ferro nas partículas com maior granulometria. Além disso, a quantidade de finos na faixa de *pellet feed* (< 0,150mm) é baixa, necessitando então de uma etapa de cominuição, seguida de um processo de concentração.

De acordo com as análises das pelotas cruas, a pelota tipo 2 apresentou o melhor resultado de resiliência e maior teor de Fe da pelota queimada. A pelota Tipo 3, apesar não atender à especificação química típica para altos-fornos, apresentou o melhor resultado de resistência à compressão. Este fato é explicado pelo alto teor de sílica em sua composição.

Durante a execução dos procedimentos para obtenção das pelotas, algumas fontes contribuíram para erros nos resultados obtidos. Inicialmente, o método de amostragem utilizado influenciou diretamente nas amostras obtidas, sendo possivelmente não representativas do todo, uma vez que a amostragem diretamente em pilhas não permite a mesma probabilidade de qualquer partícula do lote em ser amostrada. Além disso, outro erro associado aos experimentos foi a utilização de umidificação excessiva e de maneira manual no processo de pelotamento. Isso pode ter influenciado diretamente, na forma de aglomeração das partículas, o que acarreta em modificações em suas propriedades físicas.

Cabe ressaltar a necessidade de se realizar ensaios metalúrgicos para avaliar a viabilidade técnica do emprego destas pelotas no processo de produção de ferro gusa. Finalmente, outros métodos de aglomeração devem ser estudados, objetivando avaliar a produção em escala industrial e custos envolvidos na implantação, operação e manutenção, de forma a permitir a seleção do processo de reaproveitamento de melhor custo/benefício e viabilidade técnica de uso.

REFERÊNCIAS

- 1 Luz AB, Lins FAF, França SCA. Tratamento de Minérios. 5. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT; 2010.
- 2 Takehara L. Caracterização geometalúrgica dos principais minérios de ferro brasileiros - fração sinter feed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 2004.
- 3 Policarpo FF. Minério de ferro: desafios para as indústrias mineral e siderúrgica. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais; 2012.
- 4 Maia ES. Pelotização e Redução de Concentrado Magnetítico. Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro; 2011.
- 5 Matos AP. Influência da temperatura, pressão, produção e granulometria no processo de secagem das pelotas cruas. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto; 2007.
- 6 Mourão JM. Aspectos conceituais relativos à pelotização de minérios de ferro. Vitória: 2017.
- 7 Mourão MB. Introdução a Siderurgia. 2. ed. São Paulo: ABM; 2007.
- 8 Pereira SÁC. O Mercado de Minério de Ferro. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais; 2012.
- 9 Fonseca MC. Influência da Distribuição granulométrica do *pellet feed* no processo de aglomeração e na qualidade das pelotas de minério de ferro para a redução direta. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto; 2004.
- 10 Biswas AK. Principles of Blast Furnace Ironmaking. Austrália: Cootha Publishing House, 1981.