

Aglomeración de resíduos finos de ferro esponja

Hartwig Rupp *
Felipe Amorim Berutti **

1. INTRODUÇÃO
2. MATÉRIA-PRIMA
3. PROPRIEDADES DESEJADAS DO AGLOMERADO
4. EQUIPAMENTO E MÉTODO
5. RESULTADOS
6. CONCLUSÕES
7. ATIVIDADES PLANEJADAS
8. BIBLIOGRAFIA

* Professor Adjunto da Universidade
Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

** Mestrando na Universidade Federal do
Rio Grande do Sul - UFRGS

Resumo

Resíduos finos gerados em indústrias siderúrgicas representam a perda de um produto de alto valor (teor de Fe, Cl, energia, etc.) e acusam problemas de depósito e/ou poluição.

Neste trabalho é observado o aspecto dos resíduos do ferro esponja.

Após uma revisão bibliográfica dos diferentes sistemas e técnicas de aglomeração, são discutidos os problemas

1. Introdução

O processo de produção de aço utilizando a redução direta se distingue do processo via alto-forno também pela redução das pelotas de minério, sem passar pela fase líquida, formando um produto sólido, o ferro esponja (DRI). Ainda que a forma macroscópica do material mude muito pouco durante a redução direta, o produto terá finos devido a ataques físicos e químicos sofridos. Ainda não foi desenvolvida uma solução técnica e economicamente viável para o aproveitamento destes finos de forma direta em aciaria. Portanto, além da produção diária de finos, uma grande quantidade deste material se encontra estocada.

A tabela I dá uma idéia das quantidades de finos geradas em indústrias siderúrgicas convencionais. Uma usina siderúrgica à base de redução direta, além da maior quantidade de finos de minério não aproveitados por não ter sinterização, ainda produz de 3 a 6% da produção de ferro esponja em forma de finos.

O desejo de aproveitamento deste valioso material nos leva aos processos de aglomeração, que estão resumidamente caracterizados na tabela II.

Devido às características específicas dos finos de ferro esponja, os processos de baixa temperatura, briquetagem e pelletização a frio são preferidos, pela possibilidade de ser utilizada uma escala compatível com a geração de resíduos e por

específicos:

- "resíduo" ferro esponja (teor de ganga, enxofre, carbono, granulometria, oxidação, etc...);
- temperatura de aglomeração;
- tipo de ligante (orgânico ou não);

Testes de briquetagem e pelletização a frio são discutidos e os resultados preliminares sobre a briquetagem a frio de finos de ferro esponja com diferentes ligantes são apresentados.

Tabela I - Geração de finos em usinas siderúrgicas

Siderúrgica convencional (porte médio)		
Sinterização	Pó	1,39 Kg/t sinter
Alto-forno	Pó	8,97 Kg/t gusa
Aciaria	Lama	10 Kg/t aço
Laminação	Carepa	60 Kg/t aço

Dados sobre a geração de resíduos finos no processo siderúrgico convencional

Fonte: PEREIRA, J.C.F. et alii (3)

evitarem a reoxidação do ferro metálico que ocorre com a elevação da temperatura em atmosferas oxidantes, sendo portanto os processos abordados neste trabalho.

2. Matéria-prima

2.1. Finos de ferro esponja

Os finos de ferro esponja usados nos testes deste trabalho têm análise química mostrada na tabela III referentes à usina I, e sua análise granulométrica está na figura 1. Observa-se que os finos de ferro esponja obtidos pelos dois produtores nacionais

Tabela II - Processos de Aglomeração

Processo	Princípio	Principal utilização	Aglomerante mais usado
Sinterização	fusão incipiente com combustível sólido	alto-forno	cal
Pelotização	a quente bola de neve com cura a quente	redução direta e alto-forno	bentonita
	a frio bola de neve com cura a frio	aproveitamento de rejeitos	cimento Portland, cal hidratada etc.
Briquetagem	a quente compactação	processos de redução direta sem refriamento acoplado ou interno	sem ligante
	a frio compactação	carvão, minério e aproveitamento de resíduos	melaço alcatrão piche

Comparação entre os Processos de Aglomeração

apresentam diferenças químicas bastante acentuadas devido aos distintos processos de redução direta utilizados, principalmente no que se refere à forma do redutor utilizado. Estas diferenças certamente atuarão na escolha do procedimento mais adequado para a sua aglomeração.

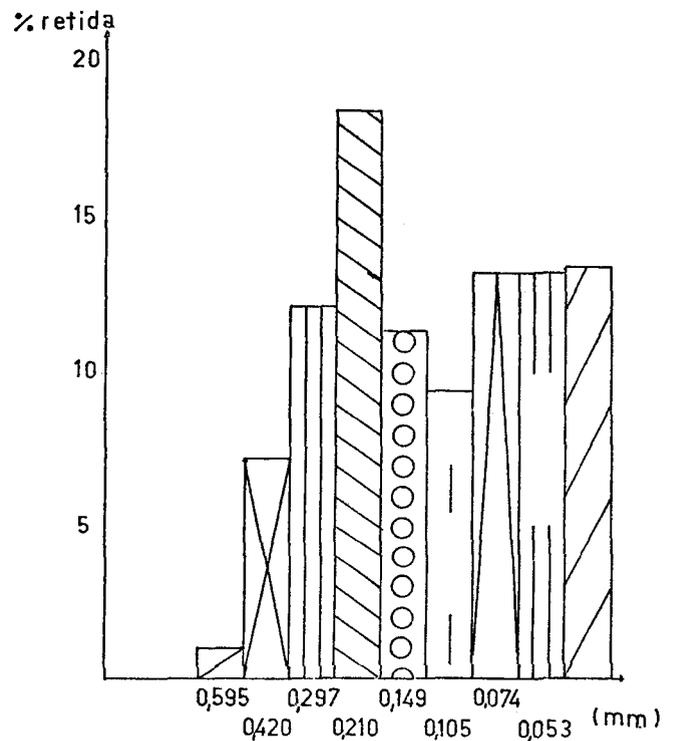
Pela análise granulométrica mostrada na figura 1 pode-se observar que uma grande porcentagem do material é constituída de ultra-finos (menores que 0,074 mm). Devido às suas pequenas dimensões, este material terá grande superfície específica e portanto tenderá a reoxidar mais facilmente.

Tabela III - Análises Químicas Típicas de DRI

	Usina I	Usina II
Ferro total (Fe_t)	85,90	79,70
Ferro metálico (Fe_m)	80,90	64,12
Teor de carbono (%C)	0,60	6,59
Teor de enxofre (%S)	0,23	0,016

Comparação de análises químicas pelos 2 processos de redução direta brasi - leiros

FIGURA 1 - Análise granulométrica ferro esponja (finos)



2.2. Aglomerantes

Dentro da grande faixa de possíveis ligantes, foram escolhidos para estes testes preliminares, o silicato de sódio, apesar do elemento alcalino que contém, impossibilitando seu uso em aciaria, pela

sua eficiência de aglomeração citada em várias fontes. O melaço e o alcatrão ganharam prioridade como ligantes devido à sua disponibilidade, baixo custo e pelo seu conteúdo de carbono que equivale a uma metalização mais alta do aglomerado.

3. Propriedades desejadas do aglomerado

Além da composição química, alterada principalmente pela adição do agente

ligante, destaca-se a importância de propriedades como resistência mecânica, resistência à abrasão, densidade, condutividade térmica e elétrica, entre outras.

Estudos bibliográficos e discussões técnicas possibilitaram a elaboração da tabela IV que dá uma estimativa dos requisitos exigidos para os aglomerados a serem usados na aciaria elétrica, servindo como parâmetro para a preparação de aglomerados e definição de testes de controle de qualidade dos briquetes, que ainda não são satisfatórios.

Tabela IV: Requisitos para Aglomerados de Finos de Ferro Esponja

Propriedade	Qualidade desejada	Valor tolerável	Valor ideal
Granulometria	uniforme	3 a 30 mm	15 mm
Teor de S	baixo	0,05	< 0,025
Teor de P	baixo	0,05	< 0,025
Teor de ganga	baixo	10%	6%
Teor de C	alto	0,1 a 2,0%	2,0%
Densidade	média	3 a 7 g/cm ³	4 a 6 g/cm ³
Condutividade térmica	alta	4 kcal/m.h.°C 1)	(35 kcal/m.h.°C= aço) 1)
Resistência elétrica	baixa	2)	2)
Resistência mecânica	média	80 kg/pelota 3)	250 kg/pelota 3)
Metalização	alta	80% depende do teor de C	> 90%
Porosidade	baixa	60%	< 30%
Teor Cu, Zn, Cr, Co	baixo	- 2)	- 2)
Resistência à abrasão	alta	2)	2)

Estimativa dos Principais Requisitos para Aglomerados de Finos de Ferro Esponja

- 1) difícil de medir valores absolutos em aglomerados complexos
- 2) valores não especificados
- 3) pelota para uso em alto-forno

4. Equipamento e método

Nos testes de briquetagem realizados foi utilizada uma prensa hidráulica com capacidade de até 30 toneladas. Os briquetes foram moldados em uma matriz cilíndrica com dois punções dimensionados conforme a figura 2. As amostras foram individualmente pesadas e quando necessário misturadas com ligante, visando garantir uma alta uniformidade de todos os corpos de prova.

A amostra pesando aproximadamente 25 g foi colocada cuidadosamente no interior da matriz e os punções comprimidos até a força desejada, sendo imediatamente retirada,

efetuando-se a seguir a extração do corpo de prova.

Os briquetes formados são cilindros com diâmetro da base de 21,10 mm e altura variável entre 15 e 20 mm. Os métodos de avaliação do comportamento mecânico até agora utilizados foram:

- avaliação visual;
- medição da densidade;
- resistência à compressão, dada pela força máxima que o briquete resiste antes de deformar-se permanentemente;
- resistência à abrasão, dada pela porcentagem de partículas maiores que 2,83 mm após tamboreamento por tempo definido em um equipamento construído segundo a norma DIN.

FIGURA 2 - Matriz e punções A e C - VC131 B-SAE 1045

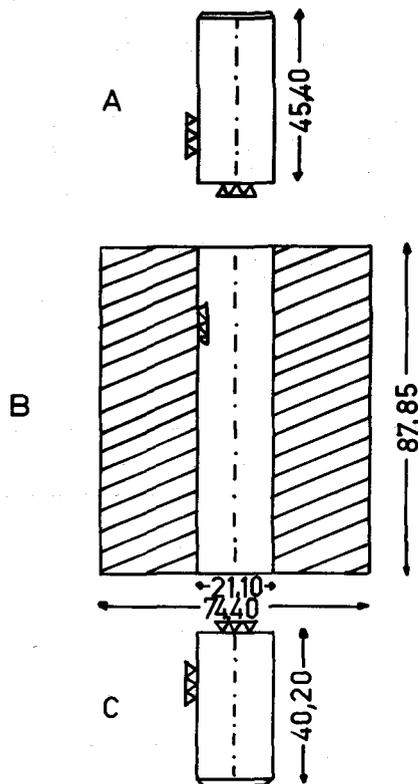


FIGURA 3 - Variação da densidade em função da força de compactação em briquetes sem ligantes

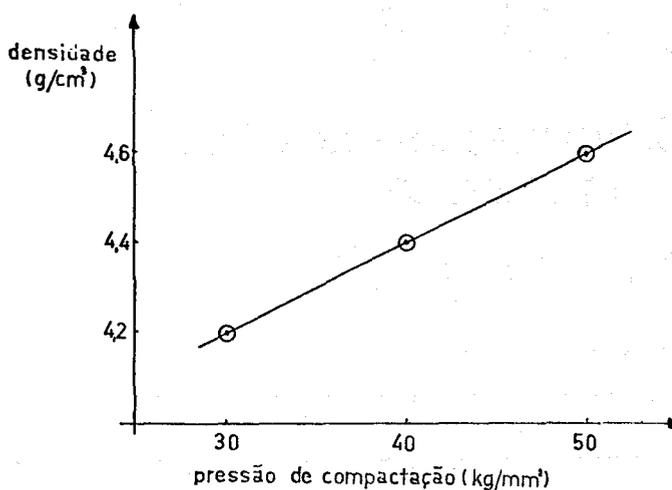
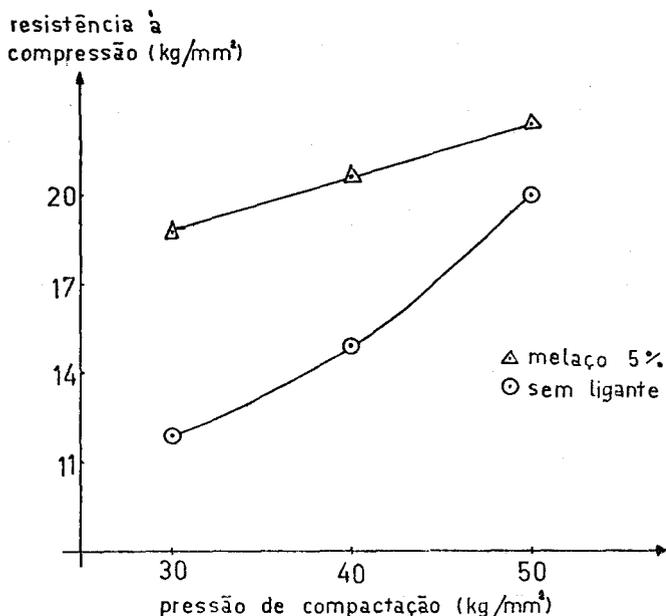


FIGURA 4 - Resistência à compressão em função da força de compactação



5. Resultados

O estudo ainda não está concluído e os resultados apresentados a seguir são preliminares, elaborados em uma fase inicial do projeto.

5.1. Testes sem ligantes

Os aglomerados produzidos sem adição de ligantes apresentaram fácil desagregação ao manuseio (pequena resistência à abrasão) desgastando nos cantos vivos e em alguns casos não resistindo à extração da matriz. Com o objetivo principal de estimar as densidades que poderiam ser obtidas pelas diferentes forças de compactação foi obtida a figura 3. Do comportamento linear da curva conclui-se que entre 30 e 50 kg/mm² ainda não foi atingido o limite de compactação onde uma maior densidade só pode ser obtida com um aumento desproporcional da pressão de compactação. Mesmo assim as densidades obtidas, entre 4,2 e 4,6 g/cm³, podem ser consideradas satisfatórias para uso do aglomerado em aciaria elétrica.

5.2. Testes com ligantes

A figura 4 compara os resultados de testes de resistência mecânica obtidos com aglomerados sem ligante (ver fig. 3) com os valores encontrados usando 5% de melão. Na faixa de forças de compactação usada o aglomerado feito com melão rompeu-se à uma pressão cerca de 5 kg/mm² acima do aglomerado sem ligante, tendo ainda maior resistência ao manuseio conservando os cantos vivos.

Com o objetivo de determinar a quantidade ótima de ligante a ser adicionado, com respeito à propriedades mecânicas, foram feitos testes de compressão com briquetes fabricados com diversos teores de ligante. A figura 5 mostra o caso do silicato de sódio onde aparece um máximo de resistência à compressão com aproximadamente 7% de ligante. Para o caso do melão, a resistência em função do % ligante é dada na figura 6, inesperadamente a resistência à compressão caiu constantemente com a adição de 1 a 9% de melão. Uma análise crítica deste resultado mostrou que o método escolhido não era o adequado para avaliar a degradação de um corpo de prova pelo manuseio e transporte. O valor obtido no teste de compressão indica a força máxima que o corpo de prova resiste. Esta força em alguns casos pode ser maior que em briquetes com ligantes, porém depois da solicitação o corpo de prova com ligante depois de atingida a força máxima apenas deforma-se sem quebrar e sem gerar finos.

FIGURA 5 - Variação da resistência à compressão em função da quantidade de silicato de sódio

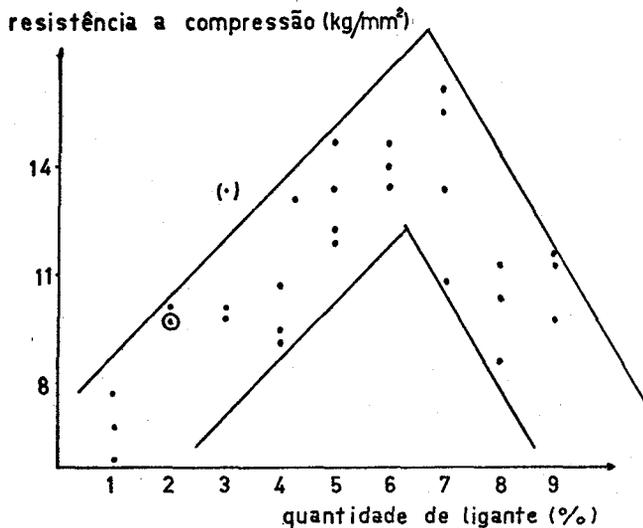
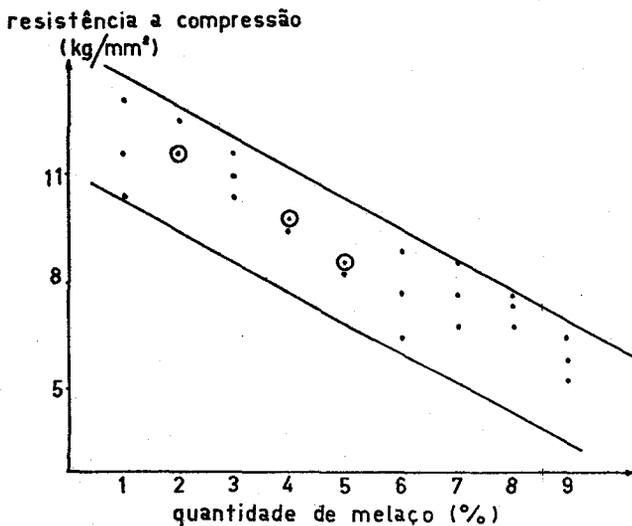


FIGURA 6 - Variação da resistência a compressão em função da quantidade de melaço

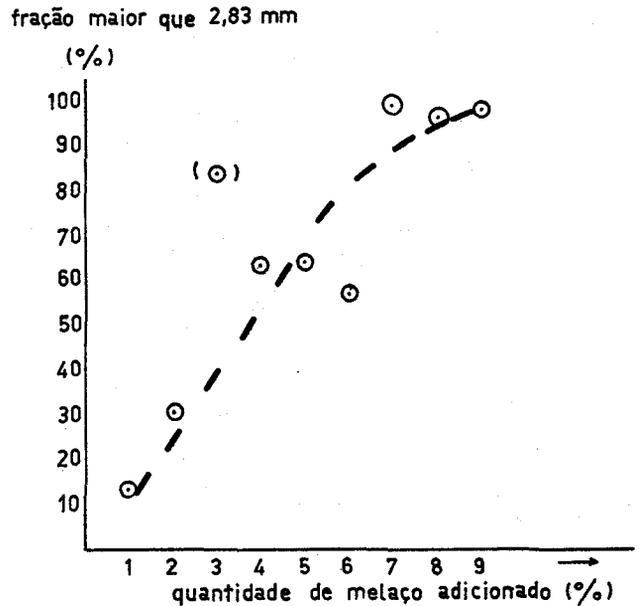


Devido a isto, foi alterado o procedimento de teste, passando-se a considerar a resistência à abrasão mais importante para a caracterização do aglomerado. Foram então realizados testes de tamboreamento visando simular as condições de manuseio e transporte que ocorrem na prática.

As amostras contendo melaço como ligante após o teste de compressão foram também submetidas ao teste de tamboreamento por 3 min. e a 30 rpm. O resultado obtido é mostrado na figura 7 onde observa-se que a resistência à abrasão aumenta continuamente com a quantidade de melaço adicionado, até um limite onde forma-se um patamar (teores a partir de 7%), indicando claramente a grande influência da adição de ligantes sobre a resistência à abrasão. Devido à maior representatividade obtida com estes testes, os corpos de prova obtidos com adição de alcatrão foram diretamente submetidos ao tamboreamento, e como ainda não haviam sido deformados, o tempo foi aumentado para 5 min. A figura 8

mostra que a resistência à abrasão aumenta nitidamente já com pequena quantidade de alcatrão, atingindo o patamar de saturação com aproximadamente 5% de ligante. O fato de chegar-se a um patamar, além das condições do teste de tamboreamento, pode ser explicado pelo fato de que durante a compactação inicial o excesso de ligante que porventura houvesse migrava parcialmente para a superfície do corpo de prova, resultando uma quantidade de ligante efetiva menor que a adicionada.

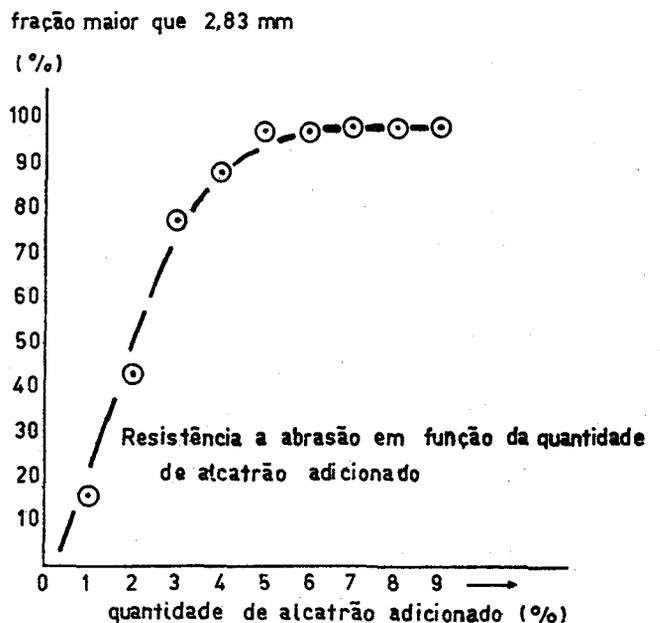
FIGURA 7 - Resultado: Teste de tamboreamento



TESTE DE TAMBOREAMENTO:
Relação entre a fração retida em peneira TYLER 7 (2,83mm) e a quantidade de melaço utilizado

pressão de compactação: 286 kg/mm²

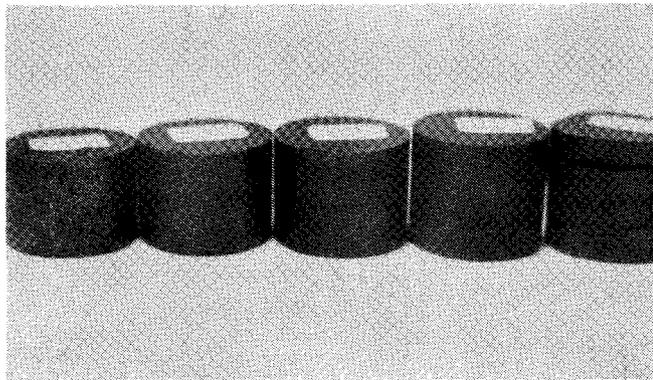
FIGURA 8 - Resultado: Teste de tamboreamento



5.3. Influência do tamanho da partícula

Depois de realizada uma separação granulométrica foram fabricados briquetes com pós de diferentes diâmetros médios. A figura 9 mostra o aspecto destes briquetes, que foram feitos com adição de 5% de melão. Para esta quantidade de ligante observou-se que os briquetes que foram fabricados com pós mais finos apresentam menor resistência. Apresentaram também maior incidência de fraturas e trincas, sendo que fraturas perpendiculares à base ocorreram somente para diâmetros abaixo de 0,074 mm (200 mesh).

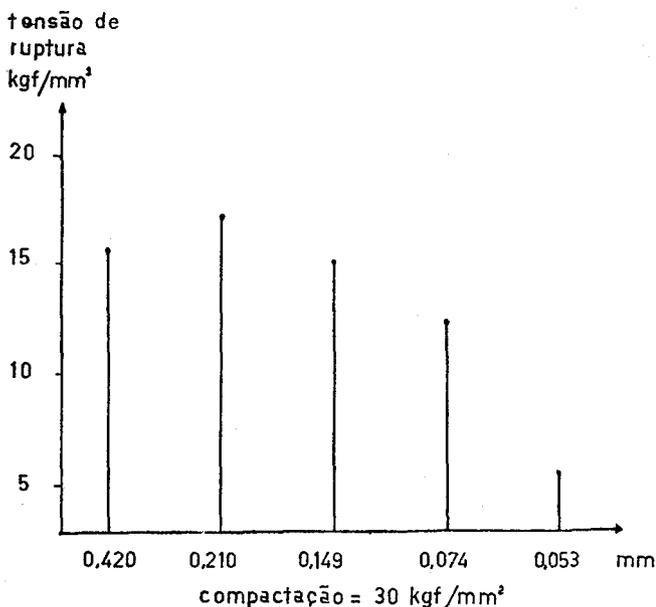
FIGURA 9 - Influência da granulometria em briquetes com 5% de melão



Pela figura 10 observa-se que esta quantidade de ligante promove um máximo de resistência em diâmetro de cerca de 0,210 mm (65 mesh).

Ainda em relação a este fator observou-se que briquetes obtidos com granulometria heterogênea apresentam melhores características físicas que os constituídos por partículas de diâmetros mais uniformes, devido à maior aproximação entre partículas que se obtém pelo preenchimento de espaços internos.

FIGURA 10 - Tensão de ruptura para aglomerado de diferentes granulometrias



6. Conclusões

Apesar do caráter preliminar do estudo desenvolvido até o presente pode-se chegar a algumas conclusões:

- a adição de agentes ligantes ao pó metálico tem efeitos positivos em relação às propriedades físicas desejadas;
- a quantidade de ligante a ser adicionada é função da distribuição granulométrica dos resíduos finos metálicos;
- os agentes ligantes e as pressões de compactação utilizados mostraram-se adequados para a fabricação de briquetes destinados à aciaria elétrica;
- é necessário um maior conjunto de testes a fim de caracterizar melhor as propriedades mecânicas dos aglomerados;
- até o momento não foi observado desgaste sensível nos equipamentos utilizados;
- o teste de tamboreamento é mais significativo para a simulação das condições de utilização e manuseio do aglomerado.

7. Atividades planejadas

- Mostrou-se necessário aumentar o número de corpos de prova de cada mistura para aumentar a significância dos testes;
- prevê-se a execução de testes para medir outras propriedades tais como condutividade térmica, composição química, porosidade, etc.;
- está previsto o início de testes com pelletização a frio utilizando ligantes orgânicos. Este processo parece ser mais viável em pequena escala que a briquetagem (menores desgaste e consumo de energia);
- pretende-se ainda efetuar-se a fusão dos aglomerados em forno elétrico de indução de 20 kg de capacidade para estudar-se o comportamento da fusão dos aglomerados em comparação às pelotas de ferro esponja.

8. Bibliografia

- (1) MEYER, K. Pelletizing of iron ores. s.l., Springer-Verlag Stahleisen, s.d.
- (2) RIESCHEL, H. Ueber die Brikettierung von Eisenschwamm. Fachberichte Huettenpraxis Heft., 1977.
- (3) PEREIRA, J. C. F. et alii. Aproveitamento de resíduos gerados em usinas siderúrgicas. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 36. Anais... s.l., 1981.

- (4) MIZUI, K.. et alii. Briquetting of sponge iron. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AGGLOMERATION, 2. Proceedings... Atlanta, 1977.
- (5) PIETSCH, W. Die Kornvergroesserung in der Verfahrenstechnik und ihre industrielle Anwendung am Beispiel der Direktreduktion von Eisenerzen. Aufbereitungs-Technik n° 4 e 5. 1982.
- (6) MARTINS, J. Algumas notas sobre a pelotização a frio e a economia de óleo combustível no Brasil. Metalurgia ABM, s.d.
- (7) GREENWALT, R.B. & STEPHENSON, J.G. The role of agglomeration in direct reduction processes. Agglomeration, 77 (2), 1977.
- (8) GOKSEL, M.A. Fundamentals of cold bond agglomeration processes. Agglomeration, 77 (2), 1977.
- (9) MOORE, J.E. & MARLIN, D.H. Hot briquetting of partially reduced iron oxide ores and dusts. Agglomeration, 1962, cap. 26.
- (10) ROORDA, H.J., et alii. Organic binders for iron-ore agglomeration. XI IMPC. 1975. (Paper 6)

Agradecimentos

Os autores agradecem à FINEP pelo financiamento do projeto e às empresas Aços Finos Piratini e USIBA pelo fornecimento das amostras.