

AVALIAÇÃO DO USO DE COMBINAÇÕES DE AGLOMERANTES NA PELOTIZAÇÃO DE CONCENTRADO DE MAGNETITA PELA TECNOLOGIA DE AGLOMERAÇÃO EM TAMBOR (BALLING DRUM)

Sandra Lúcia de Moraes¹
Surendra Komar Kawatra²

Resumo

O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho de aglomerantes, já utilizados com sucesso na pelletização de concentrados hematíticos brasileiros em discos de pelletização, no processo de pelletização de concentrados de minério de ferro magnetítico americano em tambor de aglomeração. É estudado o efeito de diferentes combinações de aglomerantes em comparação à bentonita na qualidade de pelotas obtidas no processo de pelletização em tambor. A qualidade das pelotas foi avaliada por meio de rotina de ensaios que incluíram: compressão simples das pelotas úmidas e secas a 105°C, quedas repetidas das pelotas úmidas e ensaios de choque térmico. Os resultados obtidos comprovam que é possível obter resultados satisfatórios de pelletização de concentrado de magnetita pelo processo de pelletização em tambor, com aglomerantes testados na pelletização de concentrado de minério de ferro hematítico em discos de pelletização.

Palavras-chave: Pelotização; Tambores; Magnetita; Bentonita.

EVALUATION OF THE USE OF COMBINATIONS OF BINDERS IN THE PELLETIZATION OF MAGNETITE CONCENTRATE BY BALLING DRUM TECHNOLOGY

Abstract

This work aims to evaluate how binders successfully used in the pelletizing of Brazilian hematitic iron ores, using disk pelletizer, would perform in the processing of an American magnetite concentrate by balling drums. Different combinations of binders are studied comparing the quality of the obtained pellets with bentonite bonded ones. Pellets were tested by routine tests that included: simple compression of wet and dry 105°C pellets, drops of wet pellets to determine their ability to withstand handling and resistance to thermal shock to determine how they would tolerate drying and preheating. The results show to be possible obtaining good magnetite concentrate pellets in balling drum by adding binders typically used in disk pelletizing process of hematite ores.

Key words: Pelletizing; Balling drum; Magnetite; Bentonite.

I INTRODUÇÃO

Pelotização é o método de aglomeração utilizado para transformar frações finas de minério de ferro num produto adequado (pelota) à alimentação de alto forno e reatores de redução direta, onde será transformado em gusa ou ferro esponja.

Inicialmente, as pelotas de minério de ferro eram produzidas comercialmente em tambores e, com o avanço da tecnologia, foram desenvolvidos os discos de pelletização. Atualmente, são utilizados ambos os equipamentos.

A adição de aglomerantes à mistura que se deseja pelletizar é necessária para:

- aumentar a viscosidade da fase líquida dentro dos capilares;
- manter a coesão das pelotas verdes;
- aumentar a resistência das pelotas tratadas termicamente.

O aglomerante clássico utilizado na pelletização de minério de ferro é a bentonita, na dosagem de 0,5% a 0,7% sobre a massa seca de minério. Trata-se de um material tixotrópico, ou seja, suas placas separam-se quando em contato com a água, formando um gel coloidal.

¹ M.Sc. em Eng^a Mineral, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A, Av. Prof. Almeida Prado, 532, Cidade Universitária, Cep 05508-901, São Paulo, SP, Brasil. E-mail: sandralm@ipt.br

² Professor Dr., Michigan Technological University, 1400, Townsend Drive, Houghton, MI 49931, USA. E-mail: skkawatr@mtu.edu

Esse gel diminui a distância entre as partículas minerais, aumentando a intensidade das forças de Van der Waals⁽¹⁾ e, em consequência, confere resistência às pelotas. Por outro lado, a utilização de bentonita incorpora alumina e sílica na pelota, que são contaminantes.⁽²⁾

Assim, aglomerantes que não deixassem resíduos após o tratamento térmico seriam extremamente interessantes, pois teriam a vantagem de minimizar as variações na qualidade das pelotas, além de permitir a diminuição da quantidade adicionada.

O objetivo deste trabalho é identificar uma maneira de reduzir o uso de bentonita na pelotização de concentrado de magnetita, minério de ferro utilizado nos Estados Unidos. A escolha dos aglomerantes foi feita baseada em experiência anterior dos autores⁽³⁾ com o uso desses aglomerantes na pelotização de concentrado de hematita em disco de pelotização.

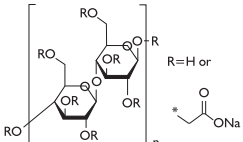
2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização dos ensaios utilizou-se uma amostra de concentrado de magnetita proveniente da Empire Mine (Palmer, MI), recebida pela Michigan Technological University, em 16/03/2009. A Tabela 1 apresenta a composição química da amostra.

Tabela 1. Composição química da amostra de concentrado de magnetita

Composição	Teor (%)
Fe	58,59
SiO ₂	4,59
CaO	6,46
MgO	1,83
Mn	0,04
Al ₂ O ₃	0,25
P	0,014
CaO/SiO ₂	1,41
Total de óxidos	96,98

Tabela 2. Especificação dos aglomerantes

Produto	Fórmula	Propriedades		
		Grau	Teor	Impurezas
Hidróxido de sódio	NaOH	Reagente	98,8%	≤0,001% N ≤0,02% NH ₄ OH ≤1,0% Na ₂ CO ₃
Carbonato de sódio	Na ₂ CO ₃	Reagente anidro	≥99,5%	≤0,001% N ≤0,005% sílica ≤0,01% NH ₄ OH ≤0,01% insolúveis
Metassilicato de sódio pentahidratado	Na ₂ SiO ₃ ·5H ₂ O	Puro	95,7%	-----
Tripolifosfato de sódio (TPP)	Na ₅ P ₃ O ₁₀	Técnico	85,0%	-----
Carboximetilcelulose sódica (CMC)		Média ~ 90.000 Mv	Viscosidade (C=4,0%, H ₂ O a 25°C) = 115 cp.	-----

Os trabalhos foram conduzidos utilizando-se os aglomerantes: bentonita, hidróxido de sódio, carbonato de sódio, metassilicato de sódio, tripolifosfato de sódio e carboximetilcelulose. O hidróxido de sódio e o silicato de sódio foram usados na forma de solução aquosa 50% (v/v) e os demais foram adicionados secos à mistura. As especificações técnicas dos aglomerantes estão apresentadas na Tabela 2.

2.1 Homogeneização e Redução de Massa das Amostras

A amostra de concentrado de minério de ferro, com cerca de 45 kg, foi seca em estufa a 100°C por 24 horas. A amostra seca foi desagregada em peneira de 0,60 mm, homogeneizada e quarteada com auxílio de quarteador rotativo de amostras. Foram obtidas 24 subamostras de aproximadamente 1,7 kg cada.

2.2 Ensaios de Pelotização em Tambor (*Balling Drum*)

Os componentes da mistura a pelotizar (minério, aglomerante e água) foram homogeneizados em misturador de laboratório (Figura 1a) por 2 minutos. Os ensaios de pelotização foram conduzidos em tambor de aglomeração (*balling drum*) em escala de laboratório (Figura 1b) com alíquotas de 1,7 kg de minério (base seca).

O procedimento para pelotização consistiu em:

- peneirar a mistura de minério, aglomerante e água em peneira de 2,4 mm;
- adicionar uma pequena quantidade da mistura ao tambor, girando a 25 RPM;
- aspergir água à mistura no tambor para produção de sementes;
- quando o *top size* das sementes se aproximar de 4,75 mm, removê-las do tambor e peneirar em 4,75 e 3,35 mm. O material na faixa



Figura 1. a) Misturador de laboratório, e b) tambor de aglomeração.

-4,75 + 3,35 mm é reservado em um recipiente hermeticamente fechado, e o retido em 4,75 mm é descartado;

- retornar o material passante em 3,35 mm ao tambor de aglomeração, adicionando material de alimentação e água até que o tamanho das pelotas chegue a 4,75 mm;
- repetir o procedimento até que uma quantidade suficiente de material na faixa -4,75 + 3,35 mm tenha sido produzida (aproximadamente 34 g);
- colocar os 34 g de pelotas dentro do tambor de aglomeração e adicionar manualmente o concentrado por um período aproximado de 6 minutos, aspergindo água se necessário;
- peneirar as pelotas em 13,2 mm e 12,5 mm; reservar as pelotas passantes em 13,2 mm e retidas em 12,5 mm para a realização de testes.

3 CARACTERIZAÇÃO DAS PELOTAS

Tradicionalmente, são utilizados dois testes para determinar a resistência das pelotas, tanto verdes quanto queimadas: resistência a quedas repetidas e resistência à compressão uniaxial.

Na prática industrial, as pelotas são submetidas constantemente a solicitações de queda e impacto, como na descarga do equipamento de pelletização por transportadores de correia, e devem ainda ser capazes de suportar o peso da camada de pelotas sobre elas.

Também deve ser levada em conta a resistência ao choque térmico. Ganhos de resistência ao choque térmico aumentam a capacidade da pelota resistir a pres-

sões internas devido à súbita evaporação da água quando do aquecimento da pelota em fornos. Se a pelota possuir uma quantidade de poros suficiente pelos quais o vapor de água possa escapar, então sua resistência ao choque térmico será maior. Se a superfície for lisa, sem a presença de poros, a pelota terá uma tendência maior a romper se colocada sob aquecimento rápido. Isto determina o aumento da quantidade de finos no produto pelletizado. Assim, um aglomerante que aumente a quantidade de poros formados na pelota aumenta sua capacidade de resistência ao choque térmico.

As pelotas produzidas nos ensaios foram submetidas aos seguintes testes de caracterização:

- determinação da umidade;
- resistência a quedas repetidas – pelota verde;
- determinação da resistência à compressão – pelota verde e seca a 105°C;
- determinação da resistência ao choque térmico.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de pelletização de concentrado de minério de ferro com diferentes aglomerantes. Cada valor apresentado na tabela é a média e o desvio padrão da determinação de resistência à compressão em 20 pelotas. As barras de erro mostradas nos gráficos representam intervalos de confiança de 95%, calculados pela distribuição t-Student. Nos ensaios realizados, a umidade da pelota variou entre 8,5% e 9,8%. O valor mais alto de umidade foi observado no ensaio CMC + NaOH, e o menor valor no ensaio, com carbonato de sódio.

Tabela 3. Resultados dos testes de pelletização

Dosagem de aglomerante	Umidade %	N° quedas/pelota (45 cm) $\pm P_{95}$	Resistência à compressão ((N/pel) $\pm P_{95}$)					
			verde	seca	300°C	500°C	700°C	900°C
Bentonita (0,66%)	9,5	3,2 \pm 0,2	19,0 \pm 1,0	38,3 \pm 2,0	19,9 \pm 3,3	43,0 \pm 12,8	101,9 \pm 17,3	119,9 \pm 22,8
Bentonita (0,40%)+NaOH(0,02%)	9,0	2,9 \pm 0,2	18,1 \pm 0,9	20,7 \pm 0,7	16,8 \pm 1,0	40,3 \pm 8,3	58,1 \pm 31,2	141,78 \pm 5,6
CMC (0,04%)	8,9	2,4 \pm 0,2	16,9 \pm 0,6	15,9 \pm 0,7	10,9 \pm 1,0	19,0 \pm 5,6	67,7 \pm 20,3	51,2 \pm 3,8
CMC (0,04%)+NaOH (0,02%)	9,6	2,4 \pm 0,2	14,8 \pm 0,8	19,1 \pm 1,0	10,7 \pm 1,9	22,9 \pm 5,9	123,4 \pm 22,4	54,3 \pm 4,5
CMC (0,04%)+TPP (0,02%)	9,1	2,9 \pm 0,2	19,6 \pm 0,7	21,5 \pm 1,3	14,7 \pm 2,4	26,7 \pm 8,5	89,8 \pm 15,1	89,3 \pm 11,5
Carbonato de sódio (1,5%)	8,5	2,8 \pm 0,2	19,7 \pm 1,4	44,3 \pm 2,4	33,2 \pm 10,7	36,5 \pm 8,8	167,6 \pm 30,5	180,8 \pm 21,9
Silicato de sódio (1,5%)	9,0	1,9 \pm 0,1	11,2 \pm 0,6	52,6 \pm 4,6	36,6 \pm 7,8	74,7 \pm 6,5	120,2 \pm 16,8	151,4 \pm 21,2
Carbonato de sódio (0,75%)+silicato de sódio (0,75%)	9,8	3,0 \pm 0,2	17,5 \pm 0,7	51,9 \pm 4,9	24,2 \pm 3,9	32,2 \pm 4,9	99,0 \pm 18,3	108,0 \pm 12,0

Os resultados do teste de resistência a quedas repetidas das pelotas são apresentados na Figura 2. O maior valor de resistência a quedas da pelota verde, 3,2 quedas/pel, foi obtido no ensaio realizado com bentonita. Ainda em relação à resistência a quedas, o pior resultado foi obtido com silicato de sódio, 1,9 quedas/pel. Pelotas confeccionadas com carbonato de sódio, bentonita+NaOH e CMC+TPP apresentaram o mesmo valor de resistência a quedas, 2,9 quedas/pel.

4.1 Efeito da Bentonita

A Figura 3 apresenta os resultados de resistência à compressão de pelotas confeccionadas com bentonita. Foram realizados dois ensaios com esse aglomerante. As pelotas obtidas com 0,66% de bentonita apresentaram resultados de resistência à compressão verde e seca, de 19,0 N/pel e 38,3 N/pel, respectivamente. Estes valores são mais elevados que o mínimo aceitável industrialmente,

de 9,0 N/pel (verde) e 22,0 N/pel (seca). Pelotas confeccionadas com bentonita na dosagem de 0,4% e adicionadas de 0,02% de NaOH não alcançaram estes resultados. Porém, o resultado da resistência à compressão da pelota verde, neste caso, é 18,1 N/pel, valor ainda superior ao mínimo aceitável industrialmente. A resistência à compressão da pelota seca é de 20,7 N/pel, valor muito próximo do valor industrial de 22 N/pel. Estes resultados sugerem que as dosagens de bentonita e de NaOH podem ser ajustadas para alcançar os valores estipulados industrialmente.

O comportamento das pelotas confeccionadas com bentonita (0,66%) e com bentonita (0,40%)+NaOH (0,02%) após o choque térmico, pode ser analisado na Figura 3. Não há diferença significativa de resultados obtidos a 300°C e 500°C. Já a 700°C observa-se uma queda na resistência das pelotas com bentonita (0,40%)+NaOH (0,02%), e a 900°C a resistência volta a subir. Estes resultados mostram que é possível reduzir a dosagem de bentonita sem prejuízo da qualidade das pelotas obtidas.

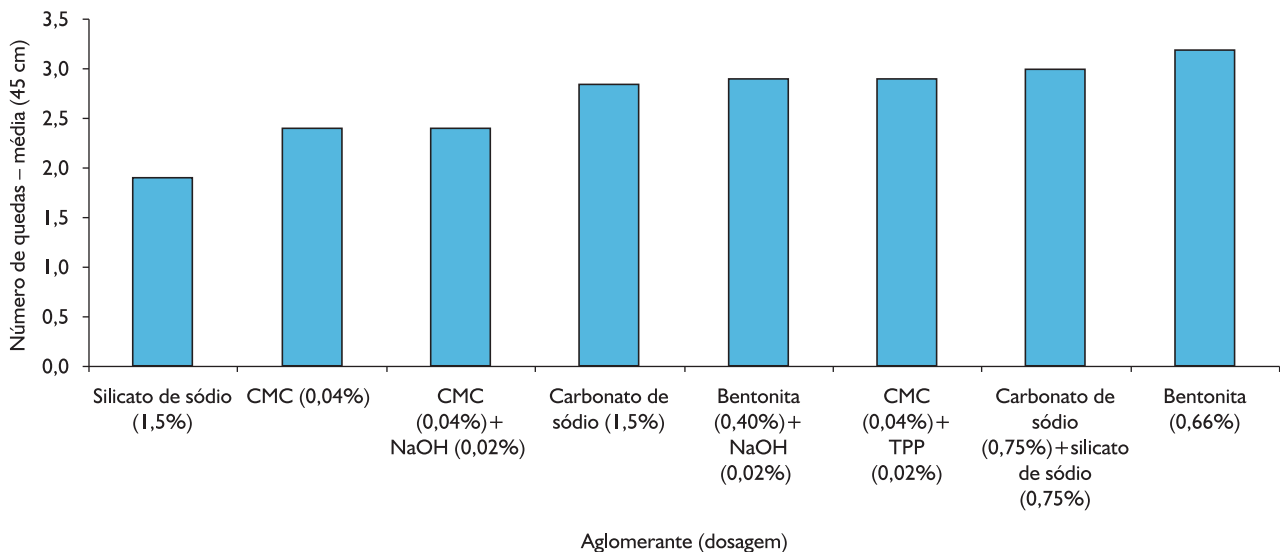


Figura 2. Resultado do teste de resistência a quedas de pelotas verdes.

As pelotas confeccionadas somente com bentonita apresentaram trincas nos ensaios de resistência ao choque térmico, em todas as temperaturas. Não ocorreram explosões durante ensaio de choque térmico de pelotas confeccionadas com bentonita e bentonita+NaOH.

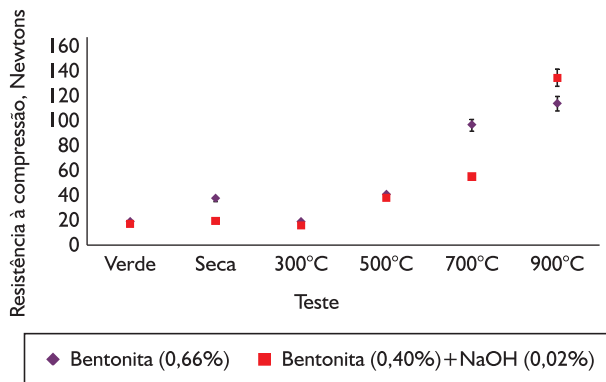


Figura 3. Resultado dos testes de resistência à compressão – bentonita.

4.2 Efeito da CMC

O uso da CMC na pelletização de minérios de ferro já é conhecido. Estudos conduzidos com concentrado de hematita apresentam resultados positivos usando CMC e CMC+TPP como aglomerante.^(4,5) Os autores determinam que a CMC, usada sozinha, não é apropriada, pois as pelotas obtidas não têm resistência ao calor. A adição de TPP aumenta o potencial de uso da CMC como aglomerante. Mais tarde, em 1998, constatou-se que a dispersão das limonitas da superfície de partículas de hematita, devido ao efeito dispersante do TPP foi o mecanismo fundamental para o processo.⁽⁶⁾ Entretanto, deve ser levado em conta que o TPP adiciona teores de fósforo às pelotas, que é um contaminante.

O objetivo do uso de CMC e CMC+NaOH e CMC+TPP, neste trabalho, é verificar a validade dos resultados obtidos por aqueles autores quando se emprega concentrado de magnetita, ao invés de hematita.

A Figura 4 mostra a o resultados dos ensaios utilizando CMC e aditivos, NaOH e TPP. Pelotas de magnetita confeccionadas com 0,04% de CMC como aglomerante apresentaram valores insuficientes de resistência à compressão da pelota seca. O comportamento destas pelotas durante o choque térmico indica que elas não possuem resistência suficiente para as etapas industriais de secagem e queima.

Quando se adiciona NaOH à CMC na confecção de pelotas de magnetita, observa-se um aumento da resistência à compressão da pelota seca, mas que ainda não é suficiente para os padrões industriais. O mesmo ocorre nos testes de resistência ao choque térmico.

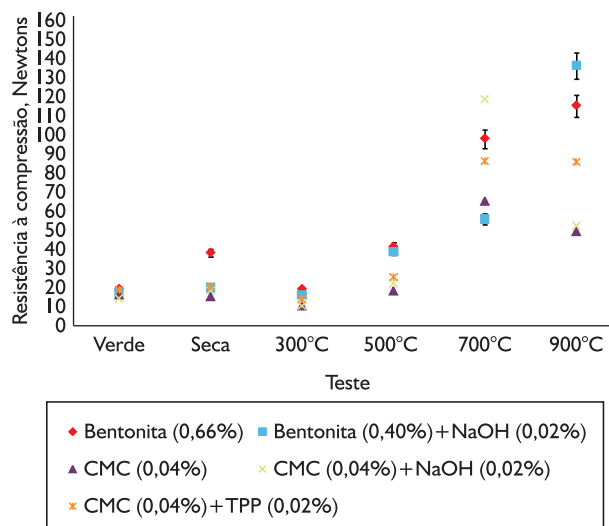


Figura 4. Resultados de resistência à compressão - CMC e aditivos NaOH e TPP.

Pelotas confeccionadas com CMC e TPP apresentam melhores resultados que aquelas confeccionadas com CMC e NaOH. A adição de 0,02% de TPP aumenta a resistência à compressão da pelota seca até o mínimo aceitável industrialmente (22 N/pel). O mesmo ocorre durante os testes de resistência ao choque térmico.

Estes resultados sugerem que o uso de dispersantes é benéfico na pelletização de concentrado de magnetita. Não se observaram explosões durante os testes de resistência ao choque térmico.

4.3 Efeito do Carbonato de Sódio e do Silicato de Sódio

Os resultados de resistência à compressão de pelotas confeccionadas com os aglomerantes carbonato de sódio e silicato de sódio são apresentados na Figura 5. A escolha desses aglomerantes foi feita para verificar o efeito do aglomerante sobre a etapa de queima, ou seja, se seria possível diminuir a temperatura de sinterização.

Pelotas confeccionadas usando 1,5% de carbonato de sódio apresentam resultados melhores que as confeccionadas com 0,66% de bentonita. Porém, 27% das pelotas explodiram nas temperaturas de 300°C, 500°C e 900°C. Isto pode ser devido ao efeito do carbonato de sódio atuando como dispersante das partículas finas presentes no concentrado de magnetita. A dispersão é muito intensa e satura os poros da pelota com água e sólidos, impedindo a passagem de gases da evaporação da água durante a etapa de secagem. Entretanto, a resistência à compressão das pelotas confeccionadas com carbonato de sódio a 700°C e 900°C é superior à das pelotas obtidas com 0,66% de bentonita.

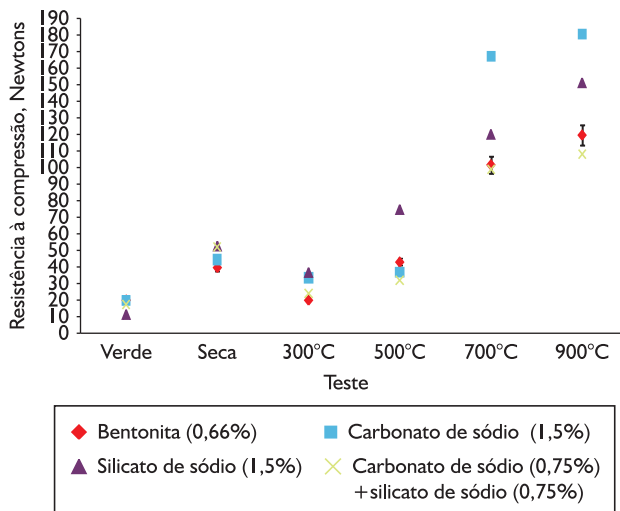


Figura 5. Resultados de resistência à compressão – carbonato e silicato de sódio.

Os melhores resultados deste conjunto de testes foram obtidos com as pelotas confeccionadas com 1,5% de silicato de sódio. Esta dosagem elevou os valores de resistência à compressão muito acima dos valores mínimos

aceitáveis pela indústria, o que demonstra que a quantidade de silicato de sódio adicionada pode ser reduzida. O comportamento das pelotas confeccionadas com silicato de sódio foi excelente, sem a formação de trincas e sem a ocorrência de explosões.

A utilização conjunta de carbonato de sódio (0,75%) e de silicato de sódio (0,75%) foi feita como uma tentativa de eliminar a explosão de pelotas durante os testes de resistência ao choque térmico. Este ensaio mostrou que, com a redução da dosagem e utilização destes dois aglomerantes, é possível obter os mesmos resultados das pelotas confeccionadas com bentonita (0,66%). Neste caso, não foram observadas trincas ou explosões durante o teste de resistência ao choque térmico.

5 CONCLUSÃO

Dos trabalhos realizados pode-se concluir que é possível obter resultados satisfatórios de pelletização de concentrado de magnetita pelo processo pelletização em tambor com aglomerantes testados na pelletização de concentrado de minério de ferro hematítico em discos de pelletização.

REFERÊNCIAS

- 1 RIPKE, S. J. Advances in iron ore pelletization by understanding bonding and strengthening mechanisms. 2002. 186 p. Dissertação (PhD) - Michigan Technological University, Michigan, 2002.
- 2 MORAES, S. L. *Comparação de desempenho de aglomerante orgânico em relação à bentonita na operação de pelletização de concentrados de minério de ferro brasileiros de diversas procedências*. 2004. 80 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) - Escola Politécnica da Universidade São Paulo, São Paulo, 2004.
- 3 MORAES, S. L.; CASSOLA, M. S. Microstructure of iron ore pellets: organic and inorganic binders. In: INTERNATIONAL MEETING ON IRONMAKING, 3.; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON IRON ORE, 2., 2008, São Luis, MA. *Anais...* São Paulo: ABM, 2008. p. 464-71.
- 4 LIMA, J. R. B. *Estudo da carboxi-metil-celulose como aglomerante para pelletização*. 1991. 145 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mineral) - Escola Politécnica da Universidade São Paulo, São Paulo, 1991.
- 5 LIMA, J. R. B.; CHAVES, A. P. *Estudo da carboxi-metil-celulose como aglomerante para pelletização*. São Paulo: EPUSP, 1992. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Minas, BT/PMI/014).
- 6 CASSOLA, M. S.; CHAVES, A. P. Effect of the addition of organic binders on the behavior of iron ore pellets. *KONA: Powder and Particle*, n. 16, p. 136-42, 1998.

Recebido em: 13/12/2010

Aceito em: 12/05/2011