



EFEITO DA ADIÇÃO DE CAL HIDRATADA NA ETAPA DE AGLOMERAÇÃO DAS PELOTAS DE MINÉRIO DE FERRO PRODUZIDAS PELA SAMARCO*

Anderson Lúcio de Souza¹
 Gleidson Martins dos Santos²
 Raquel Ramos Almeida da Silva³
 Alexandre Juvenal Anacleto⁴
 Mateus Costa Corona⁵
 Thiago Marchezi Doellinger⁶
 Marcelo Borges Mansur⁷

Resumo

Foram realizados testes completos de pelotamento para avaliar os efeitos da adição de uma solução de cal hidratada ao pellet feed na etapa de pelotamento. Foram preparadas soluções com diferentes concentrações de cal hidratada e após a mistura das mesmas no pellet feed foram realizados testes de pelotamento onde os principais parâmetros de qualidade das pelotas cruas geradas foram avaliados. O diâmetro médio final das pelotas foi o principal parâmetro influenciado pela adição de cal hidratada. A presença dos íons Ca^{2+} e CaOH^+ , em função da dosagem de cal, altera o estado de dispersão do minério de ferro, afetando assim o processo de formação das pelotas. Ainda, os cátions Ca^{2+} presentes no pellet feed interagem com o aglomerante orgânico e com a bentonita, reduzindo a capacidade desses agentes em controlar o crescimento das pelotas.

Palavras-chave: Minério de ferro; Cal hidratada; Pelotamento.

EFFECT OF HYDRATED LIME ADDITION ON IRON ORE PELLETS AGGLOMERATION STEP PRODUCED BY SAMARCO S.A

Abstract

Full balling tests were conducted to evaluate the effects of adding hydrated lime solution to the pellet feed in the pelletizing step. Solutions with different hydrated lime concentration were prepared and, after mixing with pellet feed, balling tests were realized and the key quality of green pellets parameters were evaluated. The average pellets diameter was the main parameter influenced by the addition of hydrated lime. The presence of Ca^{2+} and CaOH^+ ions as a function of the lime dosage, affects the iron ore solution dispersion, therefore it reduces the the iron ore ballability. Additionally, the Ca^{2+} cations present in pellet feed, due to the lime dosage, interacts with organic binder and bentonite, reducing the capacity of these agents to control the growth of pellets.

Keywords: Iron ore; Hydrated lime; Balling.

¹ Engenheiro Metalurgista, Engenheiro de Processo da Gerência de Engenharia de Processo, Samarco Mineração, Unidade de Ponta Ubu, ES.

² Técnico em Metalurgia, Técnico de Processo da Gerência de Engenharia de Processo, Samarco Mineração, Unidade de Ponta Ubu, ES.

³ Técnica em Mineração, Laboratorista Físico Metalúrgico da Gerência de Engenharia de Processo, Samarco Mineração, Unidade de Ponta Ubu, ES.

⁴ Técnico em Metalurgia, Técnico de Processo da Gerência de Engenharia de Processo, Samarco Mineração, Unidade de Ponta Ubu, ES.

⁵ Engenheiro Metalurgista, Laboratorista Físico Metalúrgico da Gerência de Engenharia de Processo, Samarco Mineração, Unidade de Ponta Ubu, ES.

⁶ Engenheiro Metalurgista, Chefe de Departamento da Gerência de Engenharia de Processo, Samarco Mineração, Unidade de Ponta Ubu, ES.

⁷ Engenheiro Químico, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil.



1 INTRODUÇÃO

O processo de produção de pelotas de minério de ferro da Samarco Mineração S.A. é realizado em duas unidades industriais: (i) na unidade de Germano (M.G), onde se faz o beneficiamento do minério para elevar o seu teor de ferro, e (ii) na unidade de Ponta Ubu (E.S), onde se faz a pelotização do minério. O minério de ferro é transportado, na forma de polpa, através de três minerodutos. Para evitar problemas no reinício de operação do mineroduto em função da obstrução da linha pela própria polpa devido à sedimentação do minério, adiciona-se cal (CaO) à polpa. A cal altera o estado de agregação da polpa de minério de ferro, reagindo com água da polpa e formando o hidróxido de cálcio, conforme equação: $\text{CaO(s)} + \text{H}_2\text{O(l)} \leftrightarrow \text{Ca(OH)}_2\text{(s)}$. O hidróxido de cálcio formado se dissocia em Ca^{2+} e CaOH^+ , liberando íons OH^- , alterando o pH da solução. O equilíbrio desse sistema é função do pH e da quantidade de cal adicionada. Na Figura 1 é mostrado um diagrama de especiação do cálcio, para uma concentração específica.

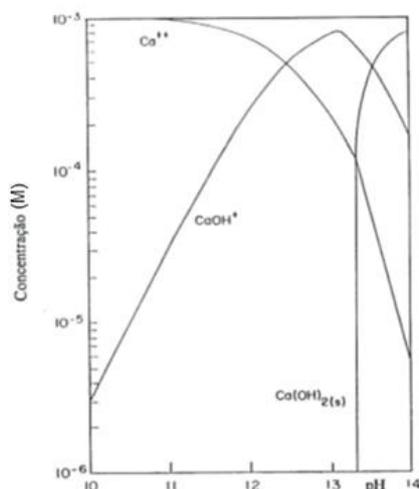


Figura 1. Diagrama de especiação do cálcio ($[\text{Ca}^{2+}] = 10^{-3}$ mol/L; $T = 25^\circ\text{C}$) (Fuerstenau e Palmer)[1].

Alguns autores evidenciaram em seus estudos que os íons de cálcio adsorvem-se na superfície da hematita. Em seus estudos Sampaio [2] comprovou através de medidas de potencial zeta, que a adição de cal aumenta o potencial zeta da amostra de polpa para valores ligeiramente negativos ou positivos, evidenciando o estado de agregação das partículas. O *pellet feed*, a partir da polpa com a adição de cal, terá o seu pH alterado, que por sua vez, irá alterar o estado de agregação das partículas de minério, afetando, assim, o processo de pelotamento. Há uma série de interações que regem o fenômeno do coagulação/dispersão das partículas de minério de ferro. As duas principais são originárias das forças de van der Waals e das forças entre as duplas camadas elétricas das partículas.

A adsorção do cálcio na superfície mineral também foi comprovada pela análise química da água. Iwasaki et al. [3] concluíram que os íons cálcio, na forma CaOH^+ e em faixa de pH alcalino, eram responsáveis pelo aumento na instabilidade de uma dispersão constituída de polpa de minério de ferro.

Conforme descrito por Araujo et al. [4] o íon CaOH^+ pode se adsorver quimicamente, pois possui átomos capazes de formar ligações de hidrogênio. Caso a adsorção do CaOH^+ seja suficientemente elevada, poderá ocorrer a reversão de carga do mineral e conseqüente repulsão entre as partículas.



Conforme descrito por Turrer et al. [5] a cal age coagulando os óxidos de ferro, através de uma combinação de mecanismos, entre eles a adsorção química e física. Na Figura 2 é ilustrado como os íons CaOH^+ e Ca^{2+} interagem com a superfície das partículas do minério de ferro reduzindo a repulsão eletrostática entre as mesmas, em um sistema onde foi adicionada a cal. É ilustrado ainda os mecanismos usados por outros reagentes para promover uma maior aproximação entre as partículas de minério, sendo eles os coagulantes orgânicos e os floculantes.

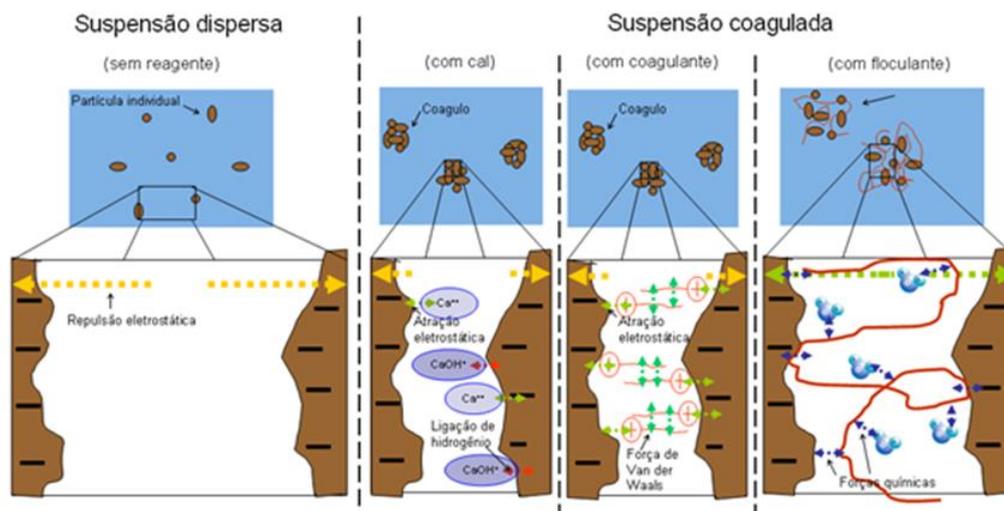


Figura 2. Forças atuando em partículas minerais em suspensão sem reagentes, com cal, com polímeros coagulantes e floculantes (Turrer et al.) [5].

No processo de pelletamento, é desejável que as pelotas cruas formadas nos discos tenham uma distribuição de tamanho entre 8,0 e 18,0 mm. É desejável ainda uma maior concentração das pelotas na faixa de tamanho entre 8,0 e 16,0 mm. Um descontrole no crescimento das pelotas, levando à formação de pelotas acima de 18,0 mm, irá impactar diretamente na produtividade do pelletamento e na qualidade das pelotas cruas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização dos testes foram utilizadas amostras de polpa de minério de ferro coletadas no underflow do espessador de concentrado em Germano - MG, antes da etapa de adição de cal no mineroduto. A polpa coletada foi desaguada e secada, e depois o *pellet feed* foi desagregado e homogeneizado. Foram coletadas amostras do *pellet feed* para caracterização. Na sequência, todo o *pellet feed* foi prensado em uma prensa piloto para que a sua granulometria fosse adequada, conforme os resultados mostrados na Tabela 1.



Tabela 1 - Caracterização química e física do *pellet feed*.

ANÁLISE QUÍMICA DO <i>PELLET FEED</i> (%)		ANÁLISE FÍSICA DO <i>PELLET FEED</i>		
Descrição	Resultados	Descrição	<i>Pellet feed</i> sem prensar	<i>Pellet feed</i> prensado
Fe Total	66,82	GRANULOMETRIA (%)		
FeO	0,89	+100 #	0,3	0,2
SiO ₂	1,27	+200 #	4,1	3,0
Al ₂ O ₃	0,38	+325 #	12,3	7,8
CaO	0,02	-325 #	83,3	89,0
MgO	0,02	Somatório	100,0	100,0
P	0,044	Superfície específica (cm ² /g)	1439	2098
PPC	2,70	Peso Específico (g/cm ³)	4,906	4,905
Outros	27,85	MINERALOGIA DO <i>PELLET FEED</i> (%)		
Somatório	100,00	Hematita Especular	41,9	
		Hematita Porosa	38,2	
		Goethita	12,8	
		Outros	7,2	
		Somatório	100,0	

Para avaliar o efeito da adição de cal hidratada no pH e no grau de dispersão do *pellet feed*, foram preparadas 5 amostras de *pellet feed* com 10 kg cada. Foram preparadas ainda quatro soluções com cal hidratada de forma que a massa de cal usada em cada solução fosse proporcional ao teor de CaO final desejado no minério. Na primeira amostra, na qual o teor de CaO do *pellet feed* já estava em 0,02%, não foi adicionada nenhuma solução de cal, sendo este considerado o teste em branco. Desta forma foi possível avaliar a variação do pH e do grau de dispersão do *pellet feed* após a adição da solução de cal hidratada. Após a mistura da solução de cal ao *pellet feed*, o mesmo foi mantido em um recipiente fechado por 48 horas. Após esse período, foram realizados os testes de pH e de dispersão do *pellet feed* conforme resultados mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 - Variação do pH e da dispersão do *pellet feed* em função da dosagem de cal hidratada.

Variação do pH e grau de dispersão do <i>pellet feed</i>					
CaO <i>pellet feed</i> (%)	0,02	0,08	0,14	0,20	0,26
Dosagem extra cal (g/kg de P.F)	0,00	6,81	13,62	20,43	27,24
pH <i>pellet feed</i>	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
pH <i>pellet feed</i> + cal (48 hs)		10,5	11,0	11,4	11,5
Dispersão <i>pellet feed</i>	2,22	2,22	2,22	2,22	2,22
Dispersão <i>pellet feed</i> + cal (48 hs)		2,13	2,11	2,08	2,10

Para cada teste de pelotamento foi utilizada uma massa de 250 kg de *pellet feed*, na qual foi adicionado uma solução de cal hidratada com uma concentração tal que o percentual final de CaO do *pellet feed* de cada teste fosse 0,02%, 0,08%; 0,14%; 0,20% e 0,26% respectivamente. Os parâmetros para cada teste realizado são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros dos testes de pelotamento.

Descrição	PARÂMETROS DOS TESTES DE PELOTAMENTO								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Teste									
Umidade do <i>pellet feed</i> (%)	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Agente aglomerante	Aglomerante orgânico					Bentonita			
Dosagem agente aglomerante (%)	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,40	0,40	0,40	0,40
Adição extra de cal (g/kg de <i>pellet feed</i>)	0,0	170,3	340,5	510,8	681,0	0,0	170,3	340,5	510,8
Descrição	ANÁLISE QUÍMICA DO <i>PELLET FEED</i> APÓS ADIÇÃO EXTRA DE CAL (%)								
CaO	0,02	0,08	0,14	0,20	0,26	0,02	0,08	0,14	0,20

Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



Os testes de pelotamento foram realizados em disco piloto, ilustrado na Figura 3. O disco possui um diâmetro interno de 100 cm com profundidade total de 20 cm. Os testes foram conduzidos com uma rotação fixa de 15 rpm e inclinação de 45°. A taxa de alimentação do disco durante a formação das pelotas foi mantida constante em todos os ensaios.



MISTURADOR (a) DISCO PILOTO (b)
Figura 3. Misturador (a) e do disco piloto de pelotamento (b).

As pelotas cruas obtidas em cada teste foram avaliadas pelo seu diâmetro médio e pelo teste de quedas de uma altura de 45 cm.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise do pH e Dispersão do *Pellet Feed*

Na Figura 4 são mostrados, respectivamente, os gráficos dos resultados obtidos para as análises de pH e dispersão do *pellet feed* após 48 horas da adição da solução de cal.

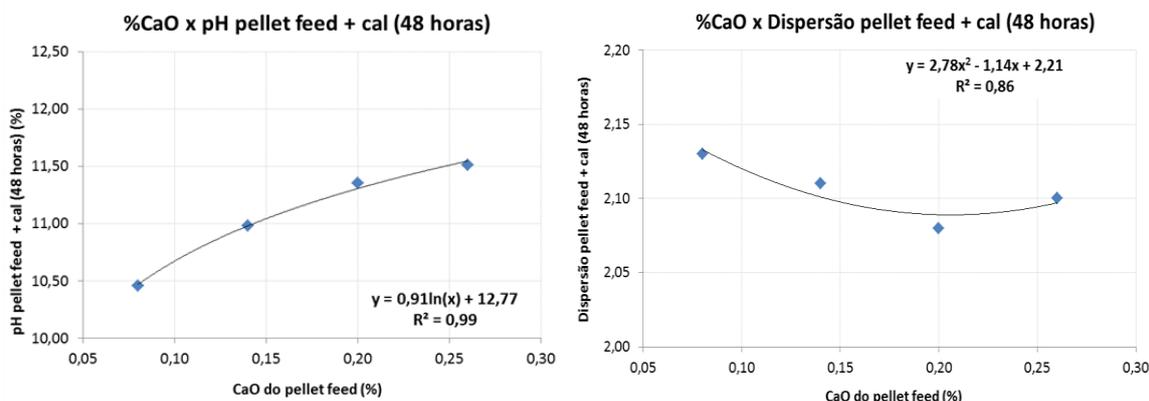


Figura 4. pH e dispersão do *pellet feed* em função da dosagem de cal hidratada.

Observa-se um aumento nos valores de pH do *pellet feed* em função da maior concentração de cal de cada solução misturada ao minério. Esse aumento se deve ao aumento da concentração dos íons OH^- na mistura, em função da dissociação do hidróxido de cálcio.

Para os testes de dispersão do *pellet feed*, observa-se uma redução na dispersão em função da maior concentração de cal de cada solução misturada ao minério. Essa redução se deve em função do aumento da concentração dos íons CaOH^+ e



Ca^{2+} , que interagem com a superfície das partículas do minério reduzindo a repulsão eletrostática entre as mesmas e favorecendo uma maior aproximação das partículas.

3.2 Testes de Pelotamento

Foram realizados testes completos de pelotamento no disco piloto, utilizando-se como agentes aglomerantes a bentonita sódica e o aglomerante orgânico a base de carboximetilcelulose (CMC). Durante os testes de pelotamento com cada teor de CaO, avaliou-se o processo de formação das pelotas cruas, principalmente em relação à dinâmica de crescimento das mesmas. Observou-se ainda o aspecto superficial das pelotas formadas e a sua forma. Ao final de cada pelotamento foi determinado o diâmetro médio das pelotas cruas formadas. Com os resultados dos testes, foi possível determinar a relação entre o teor de CaO em função da adição de cal hidratada e o diâmetro médio das pelotas nos testes de pelotamento com cada tipo de agente aglomerante, conforme exibido na Figura 5.

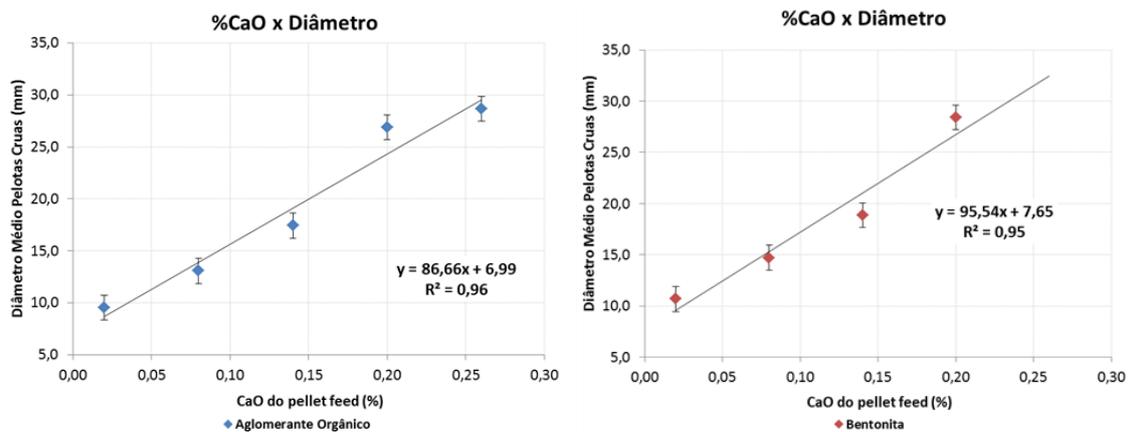


Figura 2. Diâmetro médio das pelotas cruas em função da dosagem de cal hidratada.

Para maiores dosagens de cal hidratada, maior foi o diâmetro médio das pelotas formadas, independentemente do agente aglomerante utilizado, considerando-se as características do *pellet feed* utilizado e as condições operacionais em que os testes foram realizados. Uma das principais funções do agente aglomerante é controlar o crescimento das pelotas cruas. Isso é possível devido a interação do agente com a água, que aumenta significativamente a viscosidade da mesma, reduzindo a velocidade com a qual a água é expulsa para a superfície do aglomerado em função das forças de compactação durante a formação do aglomerado. Desta forma, o agente aglomerante será capaz de imobilizar a água temporariamente, controlando o crescimento do aglomerado e garantindo a formação de pelotas com uma distribuição de tamanhos dentro de uma faixa desejada.

Na Figura 6 é mostrado o aspecto final das pelotas cruas geradas nos testes com o CaO em 0,02%; 0,08%; 0,14%; 0,20%; 0,26%; usando o aglomerante orgânico como agente aglomerante.

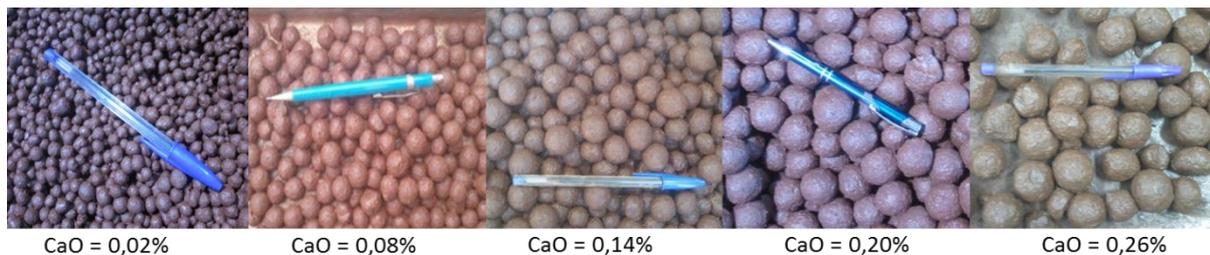


Figura 3. Aspecto visual final das pelotas cruas com aglomerante orgânico.

Na Figura 7 é mostrado o aspecto final das pelotas cruas geradas nos testes com o CaO em 0,02%; 0,08%; 0,14%; 0,20%; usando a bentonita como agente aglomerante.

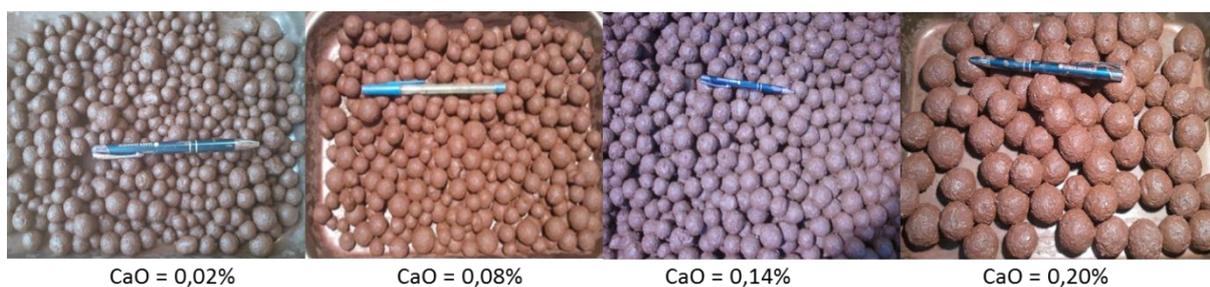


Figura 4. Aspecto visual final das pelotas cruas com bentonita.

As pelotas formadas nos testes em que o CaO do *pellet feed* estava igual ou maior que 0,20%, apresentaram uma distribuição de tamanhos onde praticamente todas as pelotas formadas estavam com diâmetro acima de 18,0 mm e uma elevada umidade superficial. Durante cada pelotamento, observou-se que quanto maior o teor de CaO do *pellet feed* em função da dosagem de cal hidratada, mais rápido foi o crescimento das pelotas cruas já nos minutos iniciais dos testes. Tal comportamento se explica pelo caráter coagulante da cal, que em meio aquoso se dissocia formando íons CaOH^+ que são capazes de se adsorverem quimicamente na superfície do minério, pois possui átomos capazes de formar ligações de hidrogênio. Desta forma, haverá uma redução na barreira energética entre as partículas de minério, favorecendo a aproximação entre as mesmas. Dependendo da concentração de íons CaOH^+ , a interação entre as partículas de minério será significativamente forte, ao ponto de acelerar a formação do aglomerado, provocando a formação de pelotas de elevado diâmetro (maior que 18,0 mm) já nos primeiros minutos do pelotamento.

Durante o pelotamento, o aglomerante orgânico atua aumentando a viscosidade da água e controlando o crescimento das pelotas. Entretanto, a presença de cátions bivalentes como o Ca^{2+} , em maiores concentrações, pode interagir com o polímero do aglomerante, provocando o entrelaçamento do mesmo e a sua precipitação na superfície do minério, conforme estudos de Burdukova *et al.* [6]. Neste caso, o aglomerante terá sua eficiência reduzida, não sendo mais capaz de controlar de forma eficiente o crescimento do aglomerado, levando a formação de pelotas com elevado diâmetro (maior que 18,0 mm).

Segundo Ahmed e Mohamed [7], a presença de íons de cálcio Ca^{2+} em elevada concentração pode interagir diretamente com bentonita, substituindo os íons de sódio da estrutura da mesma por íons de cálcio. Com isso, a capacidade de absorção de água da bentonita seria reduzida, minimizando a capacidade da bentonita em controlar de forma eficiente o crescimento do aglomerado, levando também à formação de pelotas com elevado diâmetro (maior que 18,0 mm).

Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



Um maior percentual de pelotas com diâmetro acima de 18,0mm na saída dos discos irá provocar um aumento na carga circulante do pelotamento, uma vez que ao passarem pelas mesas de rolos classificadoras na saída de cada disco, as pelotas com diâmetro acima de 18,0mm são rejeitadas e voltam para alimentar os discos. Com o aumento da carga circulante, a produtividade das plantas é negativamente impactada.

Nos testes realizados usando-se o aglomerante orgânico ou a bentonita sódica como agentes aglomerantes, apenas nos testes com o teor de CaO do *pellet feed* em 0,02 e 0,08%, obteve-se um percentual desejado de pelotas com diâmetro abaixo de 18,0 mm.

3.3 Teste de Queda das Pelotas Cruas

Após o pelotamento, as pelotas cruas formadas foram submetidas ao teste de quedas para avaliar como o diâmetro das mesmas em função da dosagem de cal poderia impactar em sua qualidade e na produtividade do pelotamento. Os resultados dos testes são mostrados na Figura 8.

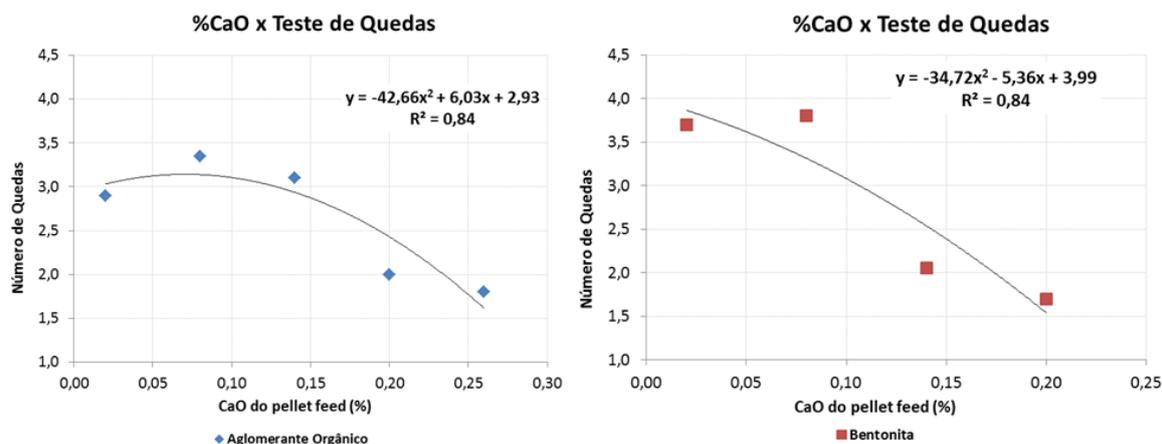


Figura 8. Testes de quedas das pelotas cruas em função do teor de CaO do *pellet feed*.

Observa-se que o aumento do teor de CaO do *pellet feed* está relacionado com um maior diâmetro das pelotas cruas formadas e conseqüentemente com uma queda no teste de queda das pelotas. Considerando-se que quanto maior o diâmetro das pelotas, maior será a sua massa, para suportar o mesmo número de quedas em relação às pelotas de menor diâmetro, as pelotas de maior diâmetro precisam de uma maior compactação das partículas do aglomerado durante a sua formação. Como nos testes onde o teor de CaO estava maior, o crescimento do aglomerado foi mais rápido e os agentes aglomerantes tiveram sua eficiência comprometida, as pelotas de maior diâmetro apresentaram menores valores nos testes de quedas. Desta forma, os resultados evidenciam que tanto nos testes usando aglomerante orgânico ou bentonita, a tendência de formação de pelotas de maior diâmetro em função da dosagem de cal hidratada no *pellet feed*, influenciou nos resultados dos testes de quedas das pelotas cruas formadas. Pelotas que se trincam ou se quebram com poucas quedas, não chegarão inteiras no forno, ou não resistirão às elevadas pressões do fluxo de ar no interior do mesmo. Isso levará a um aumento da carga circulante do pelotamento ou à formação de pelotas queimadas com menor qualidade.



4 CONCLUSÃO

Os testes de pelotamento realizados em planta piloto mostraram que a adição de uma solução de cal hidratada ao *pellet feed*, variando-se a massa de cal usada no preparo da solução irá influenciar na etapa de formação das pelotas cruas durante o pelotamento, principalmente nos seguintes aspectos:

- Alteração do pH e do estado de agregação das partículas do *pellet feed*, influenciando na velocidade de formação do aglomerado durante o pelotamento;
- Tendência de formação de pelotas cruas com diâmetros médios elevados em função de uma maior dosagem de cal hidratada;
- Para teores de CaO do *pellet feed* iguais ou maiores que 0,14%, o efeito da dosagem de cal no crescimento do aglomerado e na formação de pelotas com diâmetro acima do desejado foi o mesmo, tanto para os testes usando aglomerante orgânico ou bentonita;
- Uma maior concentração dos cátions Ca^{2+} , em função do aumento da dosagem de cal, provocará a interação entre os mesmos e o polímero do aglomerante orgânico ou com a estrutura da bentonita, substituindo os átomos de sódio da mesma por cálcio, reduzindo a eficiência de ambos agentes aglomerantes no controle do crescimento das pelotas;
- A formação de pelotas com distribuição granulométrica inadequada e com um maior percentual de pelotas com diâmetro acima de 18,0mm, irá aumentar a carga circulante do pelotamento, impactando negativamente a produtividade das usinas;
- Pelotas de maior diâmetro apresentaram menores resultados nos testes de quedas, em função de sua maior massa e da formação de aglomerados com uma compactação inadequada.

Considerando-se as características do *pellet feed* usado e as condições em que os testes foram realizados, é desejável que o teor final de CaO% do *pellet feed* em função da dosagem de cal hidratada esteja abaixo de 0,14%. Os melhores resultados obtidos foram para os pelotamentos onde o teor de CaO do *pellet feed* foram iguais ou menores que 0,08%.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES/PROEX).

A toda equipe do laboratório da unidade industrial da Samarco em Germano pelo auxílio na amostragem da polpa de minério e preparo do *pellet feed* utilizado nos testes.

A toda equipe do laboratório de pesquisa e desenvolvimento da unidade industrial da Samarco em Ubu pela realização dos testes de pelotamento.

REFERÊNCIAS

- 1 Fuerstenau MC, Palmer BR. Anionic Flotation Of Oxides And Silicates. In: Fuerstenau MC. Flotation A.M. Gaudin Memorial Volume, V.1, Aime, New York, P. 148-196, 1976.
- 2 Sampaio DA. Estudo das Propriedades de Concentrados de Minério de Ferro da Samarco Mineração S.A. E Sua Influência No Potencial De Entupimento Do

Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



- Mineroduto. Dissertação De Mestrado. Universidade Federal De Minas Gerais, 158p., 2002.
- 3 Iwasaki I, Smith KA, Lipp RJ, Sato H. Effect Of Calcium And Magnesium Ions On Selective Desliming And Cationic Flotation Of Quartz From Iron Ores. In: Somasundaran P. Fine Particles Processing. American Institute Of Mining, Metallurgical, And Petroleum Engineers, New York, V.II, C.54, 1057-1082, 1980.
 - 4 Araujo Junior AM, Peres AEC, Turrer HDG, Fonseca MC, Behring RS Doellinger TM.; Passigati VP. Influência Da Cal Na Filtragem E Pelotamento. In: Xxiii Entmme, Gramado, Rs, 8p., 2009.
 - 5 Turrer HDG, Araujo Junior AM, Doellinger TM, Zuchi MA, Peres AEC. Efeito Da Adição De Coagulantes/Floculantes Na Filtragem. In: 40^o Seminário De Redução De Minério De Ferro E Matérias-Primas E 11^o Seminário Brasileiro De Minério De Ferro, 9p. 2010
 - 6 Burdukova E, Van Leerdam GC, Prins FE, Smeink RG, Bradshaw DJ, Laskowski JS. Effet Of Calcium Ions On The Adsorption Of Cmc Onto The Basal Planes Of New York Talc – A Tof-Sims Study. Minerals Engineering, 2008, 21: 1020-1025.
 - 7 Ahmed YMZ, Mohamed FM. Variation In Physic-Chemical Properties Of Iron Oxide Pellets Using Bentonite With Calcium Hydroxide As Binder. La Metallurgia Italiana, 2005; 11-12: 31-37.

Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.