

USO DE CALCÁRIO NA FORMA DE POLPA COM DISPERSANTE NA ETAPA DE AGLOMERAÇÃO A FRIO PARA SINTERIZAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO*

Thiago Pinto Silva¹
Leandro Rocha Lemos²
Luiz Fernando Andrade de Castro³

Resumo

Este estudo teve como objetivo avaliar o efeito de dispersante (silicato de sódio alcalino) associado ao calcário na forma de polpa no processo de granulação a frio para a sinterização de minério ferro. Antes disso, foi necessário estudar o efeito dos fatores pH, teor de sólidos e quantidade de dispersante na estabilidade do sistema (calcário, água e silicato de sódio). Foi verificado que quanto menor o teor de sólidos, pH mais alcalino e quantidade de silicato de sódio igual a 20l para cada 1t de calcário maior foi o nível de dispersão do sistema. A influência da polpa de calcário com dispersante dependeu da granulometria da mistura de minérios e do tipo de rota tecnológica. Para o tipo mais fino (42,8% <0,15mm), a polpa de calcário com dispersante reduziu a resistência da camada aderente dos aglomerados a frio, independente da rota tecnológica. Todavia, para o tipo mais grosso (24,7% <0,15mm), a polpa de calcário com dispersante elevou o tamanho médio dos agregados a frio, preservando a resistência da camada aderente ao se fabricar na rota tecnológica com dois misturadores intensivos em série.

Palavras-chave: Sinterização; Pellet feed; Aglomeração a frio; Dispersante.

USE OF LIMESTONE IN THE FORM OF PULP WITH DISPERSING ON THE COLD AGGLOMERATION OF MIX WITH PELLET FEED FOR SINTERING

Abstract

This paper shows an evaluation about effect of dispersant sodium silicate along to limestone, in the form of pulp, on the cold agglomeration process for iron ore sintering. Before that, it was verified the effect of pH, solids content and amount of dispersant on the stability of the system (limestone, water and sodium silicate). It was found that the lower the solids content, the more alkaline pH and the amount of sodium silicate equal to 20 l for each 1t of limestone, was the level of dispersion of the system. The influence of the limestone pulp with dispersant depended on the granulometry of the ore mixture and the type of technological route. For the thinner type (42,8% <0.15mm), the limestone pulp with dispersant reduced the resistance of the adherent layer of the cold agglomerates, regardless of the technological route. However, for the coarser type (24,7% <0.15mm), the limestone pulp with dispersant increased the average size of the aggregates, preserving the resistance of the adherent layer when manufacturing with two intensive mixers in series.

Keywords: Sintering; Pellet feed; Cold Agglomeration; Dispersant.

¹ Engenheiro Metalurgista, Msc, Engenheiro, Marketing Técnico, Centro de Tecnologia de Ferrosos VALE, Nova Lima, MG, Brasil.

² Engenheiro Metalurgista, Dr, Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil.

³ Engenheiro Metalurgista, Dr, Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A aplicação de dispersante na sinterização de minério de ferro ainda é incipiente. A razão para estudar este efeito se deve ao afinamento cada vez mais intenso do *sinter feed* o qual tem resultado em perda produtiva das sinterizações [1,2].

Para reverter o quadro supracitado, alternativas para a etapa de aglomeração a frio têm sido investigadas, focadas nos equipamentos e/ou na busca por outros aglomerantes aplicáveis ao processo com melhor desempenho que a cal virgem, largamente utilizado. A utilização de dispersantes se enquadra nesse cenário como uma alternativa inovadora, embora bastante aplicado a outro processo de aglomeração de minério de ferro, a pelletização [3,4].

Okada *et al.* [5] estudaram o efeito da aplicação dos dispersantes carboximetilcelulose, tripolifosfato e outro agente não revelado cujo desempenho foi superior na sinterização em escala piloto. Concluíram que micropartículas (<10µm) quando dispersas melhoram a resistência da camada aderente dos agregados.

Kawachi e Kasama [6] propuseram um mecanismo para o fenômeno observado por Okada *et al.* [3]. Com a adição do dispersante, as micropartículas (<10µm) de minério de ferro são dispersas na água que promove a coesão entre as partículas. Com o movimento da água durante a secagem, as micropartículas dispersadas se concentram, formando uma ponte sólida. O aumento da força da ligação presente na ponte sólida é responsável por conter a degradação das quase partículas após secagem.

Assim sendo, o presente estudo de maneira inovadora teve como objetivo investigar o efeito da substituição da água pela polpa de calcário disperso na etapa de aglomeração a frio de misturas de minério de ferro com *pellet feed* para o processo de sinterização.

2 DESENVOLVIMENTO

A metodologia aplicada neste estudo consistiu em três etapas: (i) determinação do grau de dispersão do calcário; (ii) fabricação dos aglomerados a frio; (iii) avaliação e caracterização dos agregados fabricados a partir das misturas com polpa de calcário.

2.1 Determinação do Grau de Dispersão do Calcário

Na Tabela 1 é apresentado o planejamento de experimento para determinação da condição mais favorável à dispersão do calcário, considerando teor de sólidos, pH e quantidade de dispersante. Para isso, o plano foi dividido em três etapas. Na primeira, avaliou-se o impacto de massas diferentes daquela estabelecida por Galery [7]. Na segunda, foi investigado o efeito do pH do sistema na dispersão do calcário. Por último, foi elucidado a influência do silicato de sódio, como dispersante, em sistemas com diferentes valores de pH. A melhor condição obtida desse plano foi aplicada na fabricação da polpa de calcário para os testes de granulação a frio das misturas a sinterizar.

Tabela 1. Planejamento de experimento do teste de dispersão

Etapa 1 (Efeito do teor de sólidos na dispersão do calcário)	
Massa do calcário (g)	2,5; 5,0; 10,0
Etapa 2 (Efeito do pH na dispersão do calcário)	
pH	8; 11; sem ajuste
Etapa 3 (Efeito do pH e do dispersante silicato de sódio na dispersão do calcário)	
pH	8; 11; sem ajuste
Dosagem do silicato de sódio (l/t de calcário)	0; 4; 10; 20

A composição química do silicato de sódio usado como dispersante é apresentada na Tabela 2.

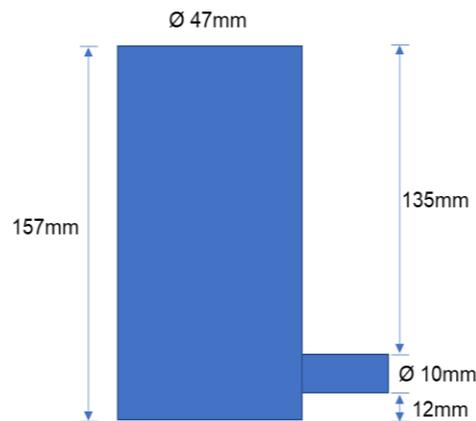
Tabela 2. Composição química do silicato de sódio alcalino

Na ₂ O (%)	SiO ₂ (%)	Umidade (%)	SiO ₂ /Na ₂ O
14,8	33,0	52,2	2,23

O aparato utilizado no teste de dispersão composto por tubos acrílicos foi posicionado acima do agitador magnético, Figura 1(a). As dimensões do aparato são mostradas na Figura 1(b).



a)



b)

Figura 1. Aparato usado no teste de dispersão. a) Foto da montagem do sistema. b) Dimensões do aparato.

O grau de dispersão (GD) foi calculado conforme fórmula mostrada na Equação 1, sendo as massas (m) medidas em gramas. O teste foi aplicado em duplicata.

$$GD = \frac{m_d}{m_d + m_f} \times 100 \quad (1)$$

Em que:

M_d é a massa das partículas dispersas;

M_f é a massa das partículas remanescentes no fundo do aparato.

2.2 Fabricação dos Agregados a Frio

Foram considerados dois tipos de misturas típicas de sinterização industrial para avaliar o efeito da polpa de calcário no desempenho da granulação a frio. A diferença entre elas está fundamentalmente na distribuição granulométrica. Assim sendo, as misturas foram intituladas como Grossa e a outra como Fina.

As caracterizações químicas e granulométricas das matérias-primas usadas na produção das misturas Grossa e Fina são mostradas nas Tabelas 3 e 4. Importante pontuar que na mistura Fina houve adição de 25% de *pellet feed* na carga de minérios.

Tabela 3. Análise química das matérias-primas, massa em %

Matérias-primas	Fe total	Al ₂ O ₃	SiO ₂	PPC	P	Mn	MgO	CaO	TiO ₂
<i>Sinter feed A</i>	57,3	1,49	5,52	10,7	0,033	0,03	0,04	0,04	0,11
<i>Sinter feed B</i>	64,8	1,59	2,61	1,8	0,027	0,40	0,09	0,04	0,09
<i>Sinter feed C</i>	60,9	2,61	4,24	5,4	0,089	0,12	0,01	0,03	0,09
<i>Sinter feed D</i>	63,2	1,13	6,64	2,2	0,060	0,19	0,04	0,08	0,08
<i>Sinter feed E</i>	57,0	3,07	5,14	9,8	0,022	0,04	0,01	0,12	0,14
<i>Sinter feed F</i>	59,1	1,82	4,34	8,1	0,038	0,86	0,01	0,02	0,08
<i>Pellet feed</i>	67,5	0,30	2,07	0,6	0,020	0,06	0,02	0,08	0,02
Calcário calcítico	0,4	0,73	3,78	41,4	0,050	0,09	0,66	51,83	0,02
Calcário calcítico usado na polpa	0,7	1,42	5,01	40,43	0,082	0,17	0,69	50,99	0,03
Calcário dolomítico	2,2	0,22	1,39	45,3	0,066	0,38	19,53	29,75	0,02
Cal virgem	0,6	0,33	2,95	3,9	0,100	0,03	0,38	92,14	0,03
Coque	1,1	3,31	6,72	87,1	0,040	0,03	0,15	0,31	0,15
Sínter retorno	55,5	1,31	5,75	-	0,053	0,19	1,19	9,71	0,09

Tabela Erro! Nenhum texto com o estilo especificado foi encontrado no documento.. Análise granulométrica determinada a umidade natural das matérias-primas, massa em %

Matérias-primas	>6,3mm	>1mm	<0,15mm
<i>Sinter feed A</i>	17,5	72,7	1,9
<i>Sinter feed B</i>	21,4	56,5	8,1
<i>Sinter feed C</i>	11,0	54,4	11,5
<i>Sinter feed D</i>	15,4	51,1	23,5
<i>Sinter feed E</i>	8,9	59,7	6,3
<i>Sinter feed F</i>	18,6	75,8	3,12
<i>Pellet feed</i>	0	0,3	88,5
Calcário calcítico	0	54,0	15,0
Calcário calcítico usado na polpa	0	0	100
Calcário dolomítico	2	50,5	19,5
Cal virgem	0	0	85,2
Coque	2	64,0	28,5
Sínter retorno	0	85,0	10,0

A massa de cada mistura correspondeu a 4kg compostos pelas matérias-primas apresentadas na Tabela 5. Os principais parâmetros químicos e granulométricos da mistura de minérios são apresentados na Tabela 6.

Tabela 5. Composição das misturas Grossa e Fina, massa em %

Matérias-primas		Mistura Grossa		Mistura Fina	
		Carga de minérios	Mistura total	Carga de minérios	Mistura total
Minério de ferro	<i>Sinter feed A</i>	51	56,7	34	58,1
	<i>Sinter feed B</i>	24		24	
	<i>Sinter feed C</i>	9		2	
	<i>Sinter feed D</i>	7		11	
	<i>Sinter feed E</i>	5		2	
	<i>Sinter feed F</i>	4		2	
	<i>Pellet feed</i>	0		25	
Fundente	Calcário calcítico	-	5,6	-	4,3
	Calcário dolomítico	-	2,2	-	2,1
Aglomerante	Cal virgem	-	2,0	-	2,0
	Calcário usado na polpa	-	0,03; 0,06 e 0,13*	-	0,03; 0,06 e 0,13*
Dispersante	Silicato de sódio líquido (ml)	-	0,03; 0,06 e 0,13*	-	0,03; 0,06 e 0,13*
Combustível	Coque	-	3,5	-	3,5
Carga circulante	Sínter	-	30,0	-	30,0
Total (%)			100		

* Contribuição técnica ao 49º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-Primas e 7º Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, parte integrante da ABM Week 2019, realizada de 01 a 03 de outubro de 2019, São Paulo, SP, Brasil.

49º Redução
7º Aglomeração



*valor usado conforme desempenho no teste de dispersão

Tabela 6. Parâmetros granulométricos e químicos das cargas de minério de ferro, massa em %

Parâmetros	Mistura Grossa	Mistura Fina
+6,3mm	14,6	11,0
+1mm	52,8	38,3
-0,15mm	24,7	42,8
+1mm / -0,15mm	2,1	0,9
FeT	59,9	62,2
SiO ₂	4,72	4,31
Al ₂ O ₃	1,68	1,21
P	0,038	0,029
Mn	0,17	0,17
PPC	7,36	4,86

Foram usados o tambor e o misturador intensivo na etapa de aglomeração a frio que foram posicionados em três rotas tecnológicas diferentes, identificadas como A, B e C, conforme desenho esquemático mostrado na Figura 2. Em todas as rotas foram realizados ensaios com e sem polpa de calcário. Na Tabela 7 são apresentados os parâmetros adotados em cada equipamento.

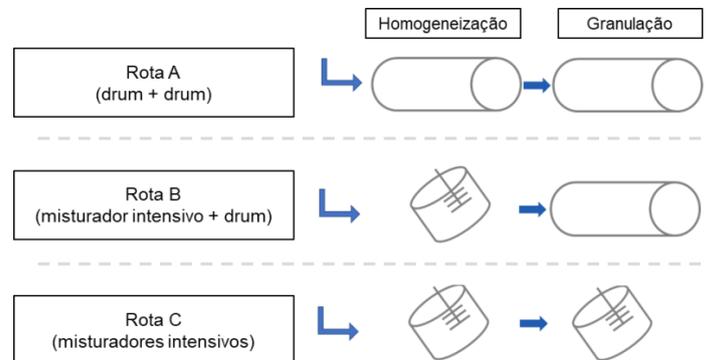


Figura 2. Rotas tecnológicas adotadas para a homogeneização e granulação das misturas Grossa e Fina.

Tabela 7. Parâmetros dos equipamentos utilizados nas rotas A, B e C

Rota	Homogeneização	Granulação
A	Tempo: 120s Rotação: 18RPM	Tempo: 360s Rotação: 18RPM Adição de água ou polpa de calcário: 100%
B	Tempo (a seco): 15s Rotação (a seco): 470RPM Tempo (a úmido): 45s Rotação (a úmido): 360RPM Adição de água ou polpa de calcário: 2/3	Tempo: 360s Rotação: 18RPM Adição de água ou polpa de calcário: 1/3
C	Tempo (a seco): 15s Rotação (a seco): 470RPM Tempo (a úmido): 45s Rotação (a úmido): 360RPM Adição de água ou polpa de calcário: 2/3	Tempo: 60s Rotação: 25rad/s Adição de água ou polpa de calcário: 1/3

2.3 Desempenho dos Agregados a Frio

O desempenho dos agregados fabricados a frio foi inferido pelo teste de granulação desenvolvido por Satoh [8]. Resumidamente, uma amostra (2kg) coletada ao fim da etapa de aglomeração a frio foi submetida a peneiramentos, visando determinar a quantidade de partículas menores que 0,25mm aderidas aos aglomerados maiores que 0,25mm. Para inferir esse desempenho, foi utilizado o índice de granulação (GI) calculado a partir da Equação 2, representando a média de dois testes.

$$GI = \frac{a-b}{a} \times 100 \quad (2)$$

Em que:

'a' é a quantidade de partículas menores que 0,25mm aglomeradas somadas às que não aglomeradas, em g;

'b' é a quantidade de partículas menores que 0,25mm não aglomeradas, em g.

3 RESULTADOS

3.1 Dispersão do Calcário

O teor de sólidos da polpa mostrou ser um importante fator para a dispersão do sistema. Como esperado, quanto maior a participação de sólidos menor foi o nível de partículas dispersas, atingindo patamar próximo a 5% no grau de dispersão para os teores entre 2,5% e 4,8% em massa, mostrados na Figura 3.

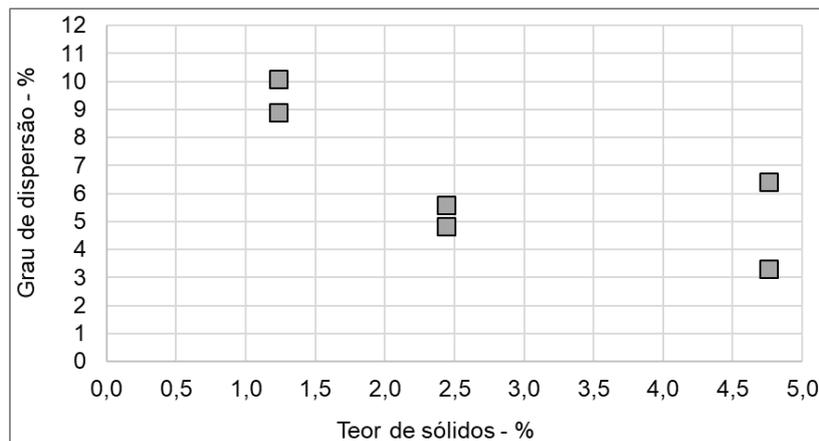


Figura 3. Efeito do teor de sólidos no grau de dispersão do calcário.

Comparando as médias dos graus de dispersão em função da quantidade do agente dispersante por níveis de alcalinidade, nota-se na Figura 4 que o fator pH exerceu menos efeito que a quantidade do silicato de sódio na dispersão do sistema. Ainda assim, pode-se identificar que os sistemas mais alcalinos tenderam a elevar a dispersão do calcário nos casos em que foi adicionado o silicato de sódio.

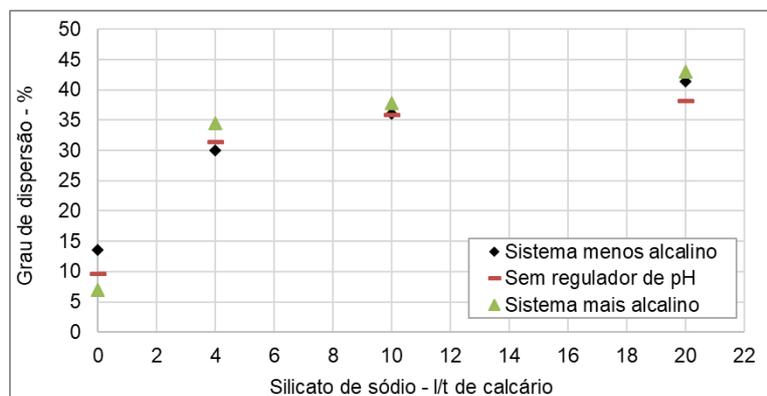


Figura 4. Relação entre o grau de dispersão e a quantidade de silicato de sódio em níveis de alcalinidade.

3.2 Influência da Umidade e do Calcário Disperso em Polpa no Desempenho dos Agregados

Utilizando a rota A, a mistura Grossa (52,8% >1mm e 24,7% <0,15mm), com e sem polpa de calcário, apresentou melhor comportamento na umidade igual a 8%, evidenciado pelo maior índice de granulação e maior tamanho médio dos grânulos, conforme Figura 5. Ainda é possível inferir que, sob a mesma umidade, a adição do calcário na forma de polpa dispersa reduziu a resistência da camada aderente dos agregados (menor índice de granulação), todavia, o tamanho médio dos grânulos não foi alterado significativamente.

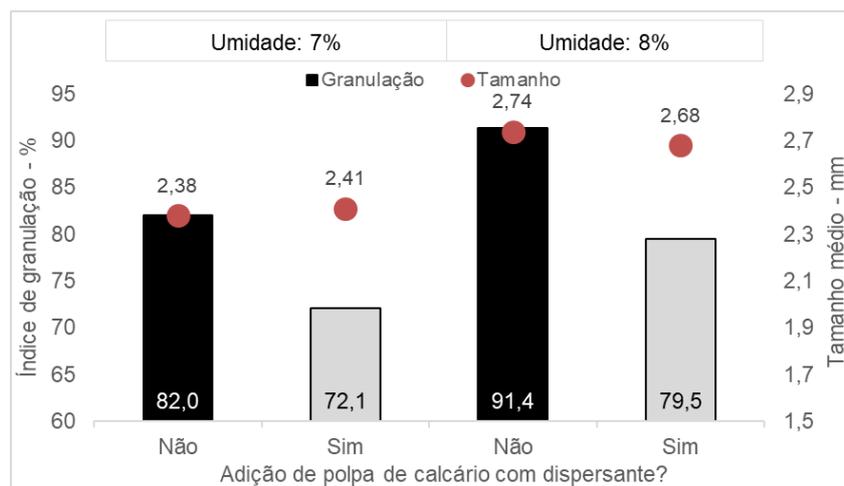


Figura 5. Efeito da umidade e da polpa de calcário com dispersante na granulação da mistura Grossa, utilizando a rota A.

Utilizando a rota A, a mistura Fina (38,3% >1mm e 42,8% <0,15mm), com e sem polpa de calcário, apresentou melhor comportamento na umidade igual a 8%, evidenciado pelo maior índice de granulação e maior tamanho médio dos grânulos, conforme Figura 6. Ainda é possível inferir que, sob a mesma umidade, a adição do calcário na forma de polpa dispersa reduziu a resistência da camada aderente (menor índice de granulação) e, diferente da mistura Grossa, o tamanho médio dos agregados.

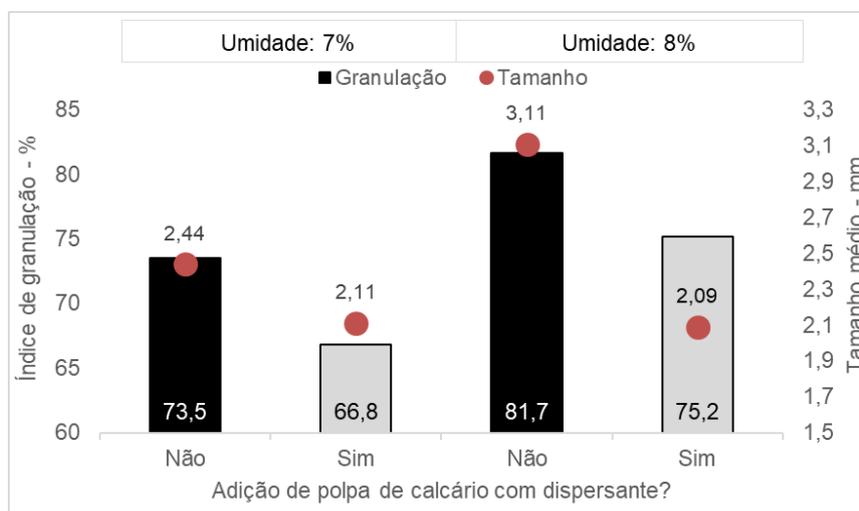


Figura 6. Efeito da umidade e da polpa de calcário com dispersante na granulação da mistura Fina, utilizando a rota A.

Dado que a umidade 8% indicou ser a condição mais adequada para os dois tipos de misturas, não foi avaliado o efeito dela em 7% nas rotas B e C.

3.3 Influência do Calcário Disperso em Polpa e do Tipo de Rota no Desempenho dos Agregados

A rota tecnológica influenciou de maneira pronunciada o comportamento da mistura Grossa (52,8% >1mm e 24,7% <0,15mm) com polpa de calcário, conforme Figura 7. Para a mistura Grossa, diferente do comportamento apresentado quando na rota A (somente tambor) em que houve desempenho inferior em função da polpa, o uso do misturador intensivo associado ao tambor (rota B) não alterou o índice de granulação da mistura com polpa, ou seja, a resistência da camada aderente foi mantida. Além disso, houve tendência de crescimento dos aglomerados, conforme tamanho médio. Na rota C (somente misturador intensivo), o desempenho da mistura com a polpa foi ainda melhor, pois além de se observar elevação do índice de granulação (melhorou a resistência mecânica da camada aderente), houve crescimento dos agregados, atestado pelo maior tamanho médio. Portanto, pode-se dizer que a mistura fabricada com polpa de calcário na rota C superou o desempenho daquela fabricada sem polpa na rota A (condição com melhor desempenho, até então).

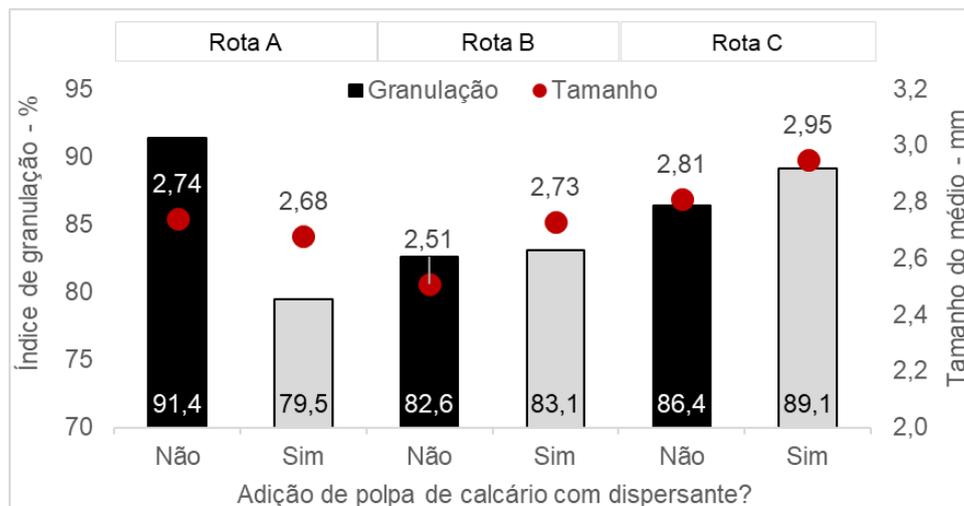
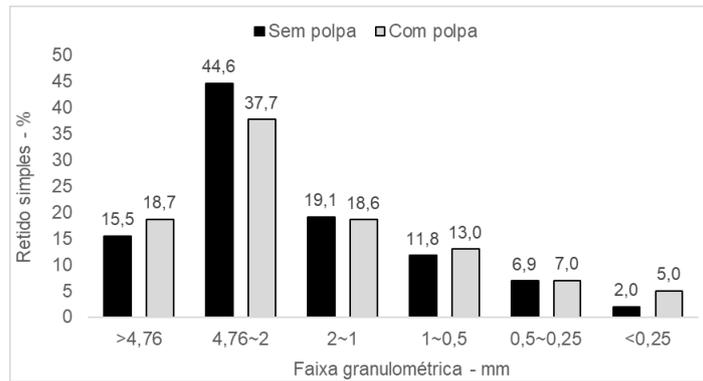
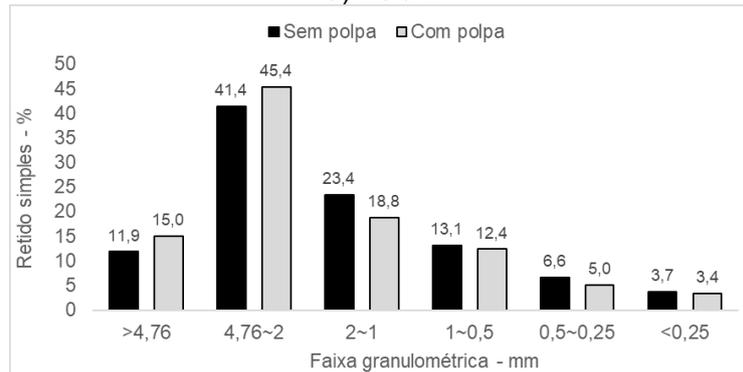


Figura 7. Desempenho da mistura Grossa com e sem polpa nas rotas A, B e C.

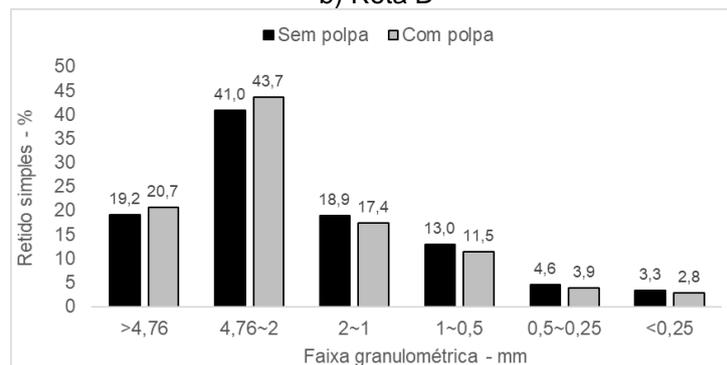
No tocante a mistura Grossa, é notável o aumento de aglomerados nas frações a partir de 1mm em virtude do uso somente do misturador intensivo (rota C) e quando associado ao tambor (rota B). Isso levou ao estreitamento das distribuições dos agregados fabricados com polpa de calcário naquelas rotas. Por outro lado, a distribuição dos agregados fabricados com polpa de calcário na rota A mostrou alargamento, configuração indesejável para se buscar maior produtividade em sinterização, conforme Figura 8.



a) Rota A



b) Rota B



c) Rota C

Figura 8. Distribuição granulométrica dos agregados fabricados a partir da mistura Grossa com e sem polpa.

Por outro lado, no caso da mistura Fina (38,3% >1mm e 42,8% <0,15mm), a adição de calcário na forma de polpa prejudicou a resistência da camada aderente independente da rota tecnológica, mostrada por meio da redução do índice de granulação, Figura 9. Sobre o tamanho médio, o único caso em houve tendência de elevação foi na rota B, contudo, ainda longe do melhor desempenho dessa mistura, obtido na rota A e sem polpa.

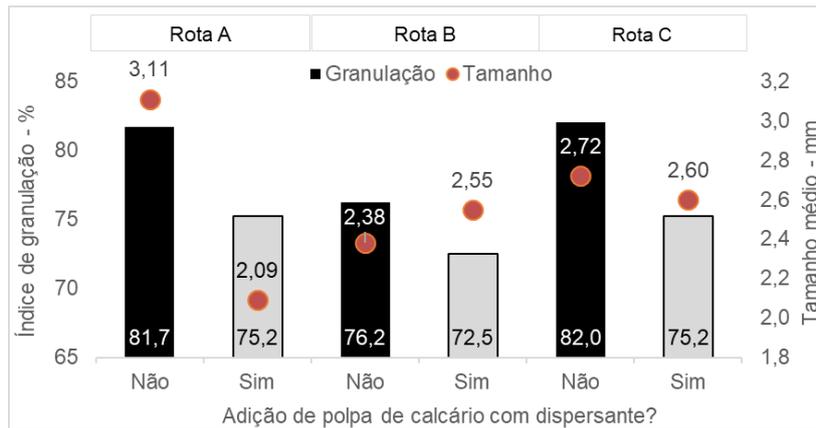


Figura 9. Desempenho da mistura Fina com e sem polpa nas rotas A, B e C.

A distribuição granulométrica dos aglomerados oriundos da mistura Fina com polpa de calcário foi similar àquela sem polpa, quando fabricadas nas rotas com misturador intensivo, exceto naquela fabricada na rota A, cujo impacto da polpa de calcário foi extremamente negativo, Figura 10.

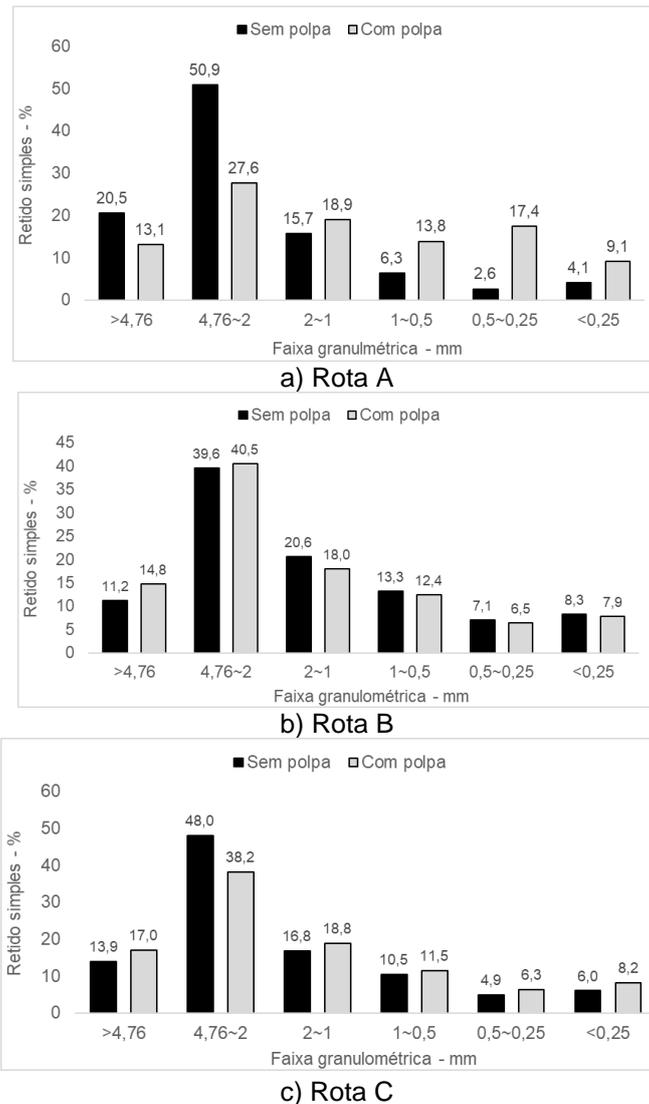


Figura 10. Distribuição granulométrica dos agregados fabricados a partir da mistura Fina com e sem polpa de calcário.

3 CONCLUSÃO

A análise e discussão dos resultados, deste trabalho, permitiram que fossem obtidas as seguintes conclusões:

- A utilização do silicato de sódio alcalino eleva consideravelmente a dispersão do calcário em meio aquoso. A adição de 4l de silicato para cada 1t de calcário aumentou o nível de dispersão do calcário de 15% para 30%. Para dosagens superiores o ganho foi menos intenso, para 10l de silicato houve elevação de 15% para 40% e com 20l para 50%. O pH 11 promoveu maior dispersão do calcário no sistema com o silicato de sódio;
- A polpa de calcário com dispersante silicato de sódio alcalino, em substituição a água, prejudicou a resistência da camada aderente das quase partículas, evidenciada pela redução do índice de granulação e pelo menor tamanho médio dos aglomerados fabricados na rota de aglomeração a frio com somente tambor. Esse efeito deletério foi observado na mistura com 27% <0,15mm e naquela com 48% <0,15mm, tanto na umidade 7% quanto 8%;
- Nas rotas com tambor e intensivo e na outra com somente intensivo, a polpa de calcário melhorou o desempenho da mistura com 27% <0,15mm, conforme elevação do índice de granulação e do tamanho médio. Isso pode assegurar maior permeabilidade na máquina de sinterização, elevando a sua produtividade. Todavia, para a mistura mais fina (48% <0,15mm), a polpa deteriorou a resistência e tamanho médio dos aglomerados.
- Portanto, o uso do calcário sob a forma de polpa com dispersante em misturas com 27% <0,15mm, utilizando rotas de aglomeração que tenham o misturamento intensivo apresenta potencial para elevar a produtividade da sinterização de minério de ferro ou reduzir o consumo de cal virgem, mantendo a produtividade.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Departamento de Metalurgia e Materiais da Universidade Federal de Minas Gerais, Usiminas e Vale.

REFERÊNCIAS

- 1 Silva TP, Honorato EP. Avaliação do efeito da adição de pellet feed usando misturamento intensivo em sinterização piloto. In: 43º Seminário de redução de Minério de Ferro e Matérias-Primas, Belo Horizonte, Brasil. Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais; 2013. p. 89-99.
- 2 Pereira HC. Produção de sinter com pellet screenings e pellet feed com emprego de granulação intensiva. Tese [Doutorado em Metalurgia e Minas] - Universidade Federal de Minas Gerais; 2015.
- 3 Pietsch W. Agglomeration processes; phenomena, technologies, equipment. Weinheim: Wiley-VCH, 2002.
- 4 Moares SL, Lima JRB, Neto JBF. Influence of dispersants on the rheological and colloidal properties of iron ore ultrafine particles and their effect on the pelletizing Process – A Review. J. Mater. Res. Technol. 2003; 2(4): 386-391.
- 5 Okada T, Okazaki J, Nakano M, Kawano K, Miura S. Influence of polymer Dispersant on the Granulation of Raw Materials for Sintering Process. ISIJ Int. 2006; 92(12): 735-741.

- 6 Kawachi S, Kasama S. Quantitative effect of micro-particles in iron ore on the optimum granulation moisture. ISIJ Int. 2009; 49(5): 637-644.
- 7 Galery R. Influência do estado de dispersão na flutuabilidade do sistema willemita/dolomita. Dissertação [Mestrado em Metalurgia e Minas] - Universidade Federal de Minas Gerais; 1985.
- 8 Satoh K. Preparation of raw Materials centering around the improvement of quasi-particles. Flotation. 1981; 28(2): 99-109.