

INFLUÊNCIAS DE LAMAS NA CONCENTRAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO POR FLOTAÇÃO¹

Antônio Eduardo Clark Peres²
Michelle Lacerda Sales Marques³

Resumo

O efeito nocivo das lamas é bastante difundido, porém entender o mecanismo de interação das mesmas com o minério é bastante complexo. Assim, foram realizados ensaios com minérios itabiríticos na presença de diferentes concentrações de lamas com composições mineralógicas distintas, na tentativa de explicar o efeito das mesmas no processo de flotação. Foram selecionadas três amostras de minérios e quatro amostras de lamas também distintas. Os resultados mostram que as lamas compostas essencialmente por minerais hidratados foram as que menos influenciaram nos resultados de flotação e a lama com os maiores teores de alumina, titânio e manganês foi a que causou maior impacto especialmente na flotação de seu próprio minério. Analisando-se a superfície específica das amostras, o potencial zeta das lamas e os resultados da flotação é possível concluir que essas características não foram os fatores responsáveis pelas alterações nos teores de sílica nos concentrados uma vez que para todos os ensaios com quantidades similares de lama os valores obtidos para a área de superfície específica foram semelhantes e o potencial zeta das quatro lamas estudadas apresentou valores similares no pH de flotação.

Palavras-chave: Flotação de minério de ferro; Lama; Área de superfície específica.

INFLUENCES OF SLIMES ON IRON ORE CONCENTRATION BY FLOTATION

Abstract

The noxious effect of slimes is widespread, but understanding the mechanism of interaction with the ore is quite complex. Thus, tests were carried out with itabirite ore in the presence of different concentrations of slimes presenting different mineralogical compositions in an attempt to explain the effect in the flotation process. Three samples of ores and four samples of distinct slimes were selected. The results showed that the slimes consisting mainly of hydrated minerals had the least influence on the degree of flotation and the slime with higher content of alumina, titanium, and manganese caused the greatest impact on flotation, especially on its own ore. Analyzing the surface area of the samples, the zeta potential of the slime and the results of flotation it was possible to conclude that these features are not the factors responsible for changes in the levels of silica in concentrated once for all tests with similar amounts of slime the values for the specific surface area and the zeta potential were similar for all slurries under investigation at the flotation pH.

Key words: Iron ore flotation; Slimes; Specific surface area.

¹ Contribuição técnica ao 43º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 14º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 1º Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 1 a 4 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Engenheira de Minas, M.Sc., Vale, Belo Horizonte, Brasil.

³ Ph.D., Professor Associado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

O efeito nocivo da lama é bastante difundido e diferentes tipos de lamas, com composições mineralógicas distintas, já foram estudadas na presença de minerais puros. O trabalho de Araujo⁽¹⁾ demonstrou a influência da presença de lama no processo de flotação de quartzo. Foram avaliados tanto os efeitos da distribuição granulométrica quanto da composição mineralógica. A lama caulinitica consome todo o coletor e, assim, reduz a flotabilidade do quartzo no processo de flotação na faixa de pH entre 6 e 7, fato que o autor atribuiu à superfície específica da caulinita ser superior à do quartzo e o pH 6 ser o pH de maior adsorção da amina sobre esse mineral. O estudo mostra ainda que lamas de minério de ferro quando no sistema envolvendo apenas quartzo e amina deprimem a flotação catiônica do quartzo no intervalo de pH 6 a 10 devido ao fenômeno de *slimes coating*.

Lima⁽²⁾ demonstrou que o *by pass* afeta de forma diferente a seletividade de cada uma das amostras estudadas e para muitas delas foi possível a obtenção de um produto com qualidade mesmo com níveis elevados de *by pass*. Silva⁽³⁾ estudou uma amostra de minério de ferro de tamanho inferior a 0,045mm testando diferentes tipos de dispersantes (inorgânicos e orgânicos), alguns reagentes coagulantes e amido de milho. Para todos, o melhor desempenho da dispersão ocorre na faixa de pH mais alcalino. Os valores médios negativos do potencial zeta dos minerais presentes na polpa aumentam significativamente com o aumento do pH.

Contribuindo com os estudos já realizados, buscou-se avaliar o efeito de lamas com composições mineralógicas distintas, em condições físico-químicas similares às condições industriais, ou seja, na presença de todos os reagentes envolvidos no processo de flotação e de uma polpa de minério com toda sua assembleia mineralógica presente. Buscou-se também avaliar se, nessas mesmas condições, a área de superfície específica das lamas ou a concentração das mesmas seriam fatores mandatórios para o desempenho da concentração por flotação.

2 OBJETIVO

Investigar o comportamento na flotação de três amostras de minério de ferro quando na presença de lamas com características mineralógicas distintas.

3 METODOLOGIA

Foram selecionadas três amostras de minério de ferro sendo uma oriunda de um itabirito compacto da mina de Conceição (amostra 1), outra de um itabirito friável oriundo da mina de Fábrica Nova (amostra 2) e a terceira gerada a partir do *blend* do itabirito friável das minas de Sapecado e Galinheiro (amostra 3). Todas as amostras foram moídas buscando-se 95% do material abaixo de 0,15 mm, sendo em seguida deslamada de modo a reduzir a quantidade de lama (material inferior a 0,010 mm) para um valor inferior a 1%. O *overflow* foi reservado para os ensaios subsequentes. Ambos os produtos da deslamagem foram caracterizados química e granulometricamente.

As quatro amostras de lamas selecionadas foram obtidas a partir da moagem de quatro minérios com características mineralógicas distintas, sendo três delas oriundas das amostras citadas acima. Cada uma das amostras foi moída até que o material estivesse com 5% retido em 0,15 mm e no *overflow* buscou-se apenas 5% retido em 0,010 mm. Todas as amostras de lamas foram homogeneizadas e

quarteadas para as seguintes caracterizações: química global, granulometria, área de superfície específica e mineralogia que foi realizada por meio de difratometria de raios-X.

Em seguida, foram formadas amostras compostas pelo minério e as lamas geradas buscando-se diferentes participações dessas lamas. Cada amostra composta foi analisada em termos de granulometria, composição química e área de superfície específica, sendo a determinação desta efetuada para a amostra composta e o material passante em 0,045 mm.

Toda caracterização química foi realizada pelo método de fluorescência de raios-X e utilizando-se pastilhas fundidas, sendo analisados os seguintes elementos e compostos: Fe_2O_3 , SiO_2 , P, Al_2O_3 , MnO, TiO_2 , CaO, MgO. O teor de PPC é obtido por calcinação. A Figura 1 apresenta um fluxograma da caracterização das amostras de lama e dos ensaios realizados.

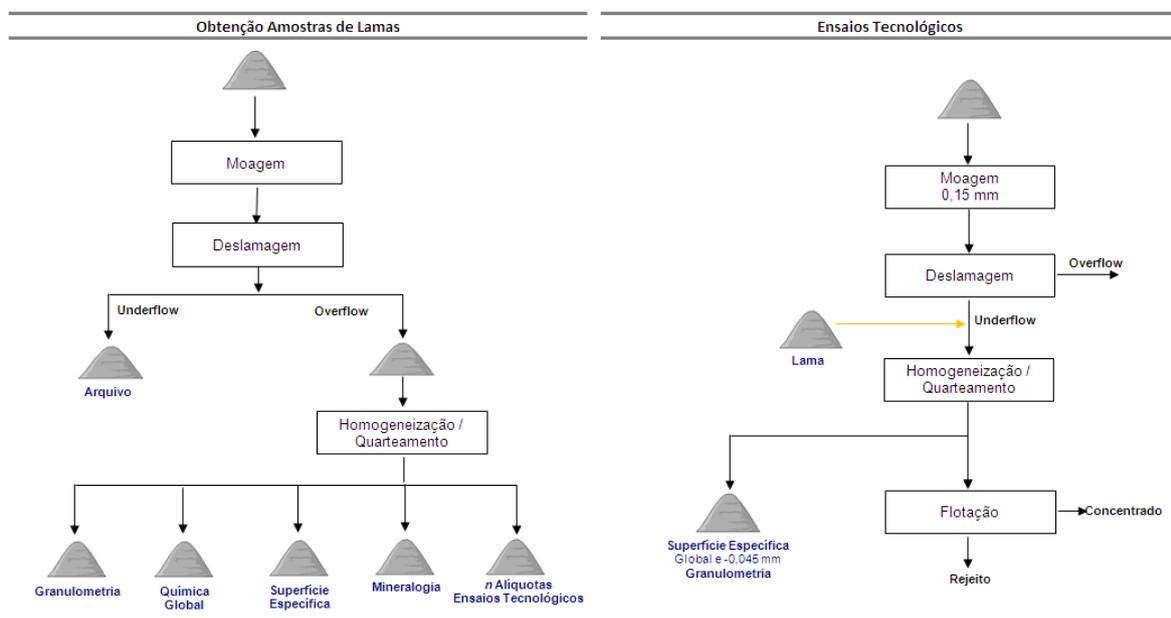


Figura 1. Fluxograma esquemático da caracterização tecnológica das amostras.

Nos ensaios de flotação buscou-se variar a concentração de lamas, a dosagem de coletor na presença e na ausência de dispersante (hexametáfosfato de sódio). O coletor utilizado foi a amina EDA-C e o depressor para a amostra 1 foi a fécula de mandioca e para as demais o griz de milho, ambos gelatinizados com soda cáustica. O pH de flotação foi 10,5. A tabela I resume as condições testadas.

Tabela 1. Parâmetros estabelecidos para os testes de flotação

Amostra	Depressor g/t _{alimentada}	Coletor g/t SiO ₂ _{alimentada}	Dispersante	% Lama
1	600	200 / 400	sem / 50g/t	Sem Lama
2	1000	250 / 400	sem / 50g/t	1,5% - 3,5%
3	800	350 / 500	sem / 50g/t	5,5% - 10,0%

4 RESULTADOS

A Tabela 2 apresenta a caracterização mineralógica das amostras de minério onde se observa a predominância de hematitas compactas e pequena participação de

hematitas martíticas e magnetita na amostra 1. As amostras 2 e 3 apresentam composições mineralógicas similares porém na amostra 2 há maior participação de martita. A amostra 1 é pouco hidratada, com participação pouco significativa de hidróxidos de ferro (goethitas). Em todas as amostras o principal mineral contaminante é o quartzo. Há traços de minerais de manganês, caulinita e gibbsita identificados por microscopia ótica de luz refletida.

Tabela 2. Quantificação mineralógica das amostras de minério

Amostra	HC's	HM	MA	GO	GT	QZ	MN	CA	GB	OT
1	50,97	2,62	3,31	2,05	1,77	35,58	0,45	0,20	0,57	2,48
2	25,67	19,65	14,35	8,29	1,91	29,88	0,00	0,08	0,16	0,00
3	24,76	26,31	1,26	9,44	3,58	34,08	0,00	0,06	0,51	0,00

HC's = Hematitas compactas GO = Goethita MN = Óxido de manganês
 HM = Hematita martítica GT = Goethita terrosa CA = Caulinita
 MA = Magnetita QZ = Quartzo GB = Gibbsita OT = Outros minerais

A Tabela 3 apresenta os resultados dos ensaios realizados sem adição de lama evidenciando a possibilidade de produção de *pellet feed* com teores de SiO₂ inferiores a 0,8% para as amostras 1 e 2 e 1,2% para a amostra 3 para ambos os níveis de dosagem estudados com ou sem adição de dispersante. É interessante notar que o aumento da dosagem de coletor não promoveu aumento significativo no teor de ferro do rejeito.

Tabela 3. Resultados da flotação sem adição de lama

Amostra	Coletor g/t SiO ₂	Dispersante (g/t)	Fluxo	Recuperação Mássica (%)	Análise Química (%)								
					Fe	SiO ₂	P	Al ₂ O ₃	Mn	TiO ₂	CaO	MgO	PPC
1	200	-	Alimentação	100,00	42,9	37,0	0,008	0,38	0,062	0,023	0,034	0,050	0,4
			Concentrado	54,07	68,8	0,8	0,012	0,27	0,100	0,051	0,055	0,046	0,5
			Rejeito	45,93	12,6	80,8	0,006	0,59	0,012	0,043	0,029	0,118	0,3
1	400	-	Alimentação	100,00	42,9	37,0	0,008	0,38	0,062	0,023	0,034	0,050	0,4
			Concentrado	52,43	68,8	0,5	0,015	0,30	0,109	0,057	0,049	0,036	0,5
			Rejeito	47,57	14,3	77,2	0,007	1,11	0,003	0,085	0,180	0,191	0,2
1	200	50	Alimentação	100,00	42,9	37,0	0,008	0,38	0,062	0,023	0,034	0,050	0,4
			Concentrado	53,86	68,9	0,8	0,018	0,28	0,105	0,083	0,044	0,020	0,5
			Rejeito	46,14	13,4	79,6	0,006	0,50	0,001	0,029	0,036	0,088	0,2
1	400	50	Alimentação	100,00	42,9	37,0	0,008	0,38	0,062	0,023	0,034	0,050	0,4
			Concentrado	52,83	69,1	0,6	0,018	0,28	0,109	0,089	0,045	0,020	0,6
			Rejeito	47,17	15,8	76,8	0,014	0,45	0,010	0,040	0,058	0,159	0,2
2	250	-	Alimentação	100,00	47,7	29,6	0,034	0,30	0,014	0,011	0,001	0,011	1,2
			Concentrado	63,47	67,4	0,8	0,053	0,33	0,033	0,024	0,009	0,032	1,7
			Rejeito	36,53	12,4	81,1	0,006	0,28	0,001	0,001	0,007	0,004	0,6
2	400	-	Alimentação	100,00	47,7	29,6	0,034	0,30	0,014	0,011	0,001	0,011	1,2
			Concentrado	63,38	67,4	0,7	0,052	0,37	0,030	0,026	0,004	0,021	1,7
			Rejeito	36,62	12,6	80,9	0,004	0,27	0,001	0,001	0,001	0,018	0,3
2	250	50	Alimentação	100,00	47,7	29,6	0,034	0,30	0,014	0,011	0,001	0,011	1,2
			Concentrado	62,62	67,8	0,9	0,056	0,32	0,035	0,022	0,010	0,011	1,8
			Rejeito	37,38	14,3	78,7	0,008	0,31	0,001	0,018	0,010	0,029	0,4
2	400	50	Alimentação	100,00	47,7	29,6	0,034	0,30	0,014	0,011	0,001	0,011	1,2
			Concentrado	61,84	68,2	0,8	0,055	0,30	0,040	0,028	0,012	0,020	1,8
			Rejeito	38,16	15,7	76,9	0,008	0,34	0,001	0,027	0,006	0,001	0,4
3	350	-	Alimentação	100,00	43,2	36,5	0,032	0,45	0,001	0,016	0,007	0,001	1,5
			Concentrado	56,55	66,6	1,2	0,056	0,50	0,018	0,035	0,004	0,024	2,4
			Rejeito	43,45	11,5	82,0	0,005	0,33	0,001	0,015	0,023	0,001	0,5
3	500	-	Alimentação	100,00	43,2	36,5	0,032	0,45	0,001	0,016	0,007	0,001	1,5
			Concentrado	56,74	66,7	1,2	0,054	0,48	0,017	0,033	0,004	0,020	2,4
			Rejeito	43,26	11,2	82,5	0,006	0,26	0,001	0,006	0,021	0,003	0,4
3	350	50	Alimentação	100,00	43,2	36,5	0,032	0,45	0,001	0,016	0,007	0,001	1,5
			Concentrado	57,26	66,7	1,2	0,056	0,45	0,027	0,033	0,008	0,019	2,4
			Rejeito	42,74	11,1	83,1	0,005	0,34	0,001	0,026	0,003	0,001	0,4
3	500	50	Alimentação	100,00	43,2	36,5	0,032	0,45	0,001	0,016	0,007	0,001	1,5
			Concentrado	57,24	66,8	1,3	0,057	0,46	0,027	0,032	0,009	0,018	2,4
			Rejeito	42,76	11,2	82,6	0,005	0,35	0,001	0,026	0,004	0,001	0,4

A Tabela 4 apresenta a análise química das amostras de lama e as respectivas áreas de superfície específica, onde se observa que a amostra 1 possui menor teor de ferro em relação às demais enquanto que os teores de Al_2O_3 , Mn, TiO_2 e CaO apresentam-se bastante elevados. As demais amostras são ricas em ferro e com teores variados de Al_2O_3 . Os valores de PPC e área de superfície específica são similares para todas as amostras.

Tabela 4. Análise química e superfície específica das lamas

Amostra	Fe	SiO_2	P	Al_2O_3	Mn	TiO_2	CaO	MgO	PPC	Superfície cm^2/g
1	27,8	36,4	0,185	13,34	1,478	0,292	0,118	0,001	8,1	22.938
2	45,2	18,7	0,243	6,34	0,263	0,050	0,045	0,201	8,4	21.397
3	43,6	20,2	0,164	9,05	0,035	0,027	0,016	0,045	7,3	22.096
4	53,4	12,4	0,071	1,93	0,142	0,038	0,014	0,080	8,9	20.643

Três das amostras analisadas apresentam padrões difratométricos semelhantes (2, 3 e 4), como pode ser observado na Figura 2. A amostra 1 se difere das demais no seu padrão difratométrico devido à presença de outros minerais não identificados nas restantes, como clorita, mica e talco.

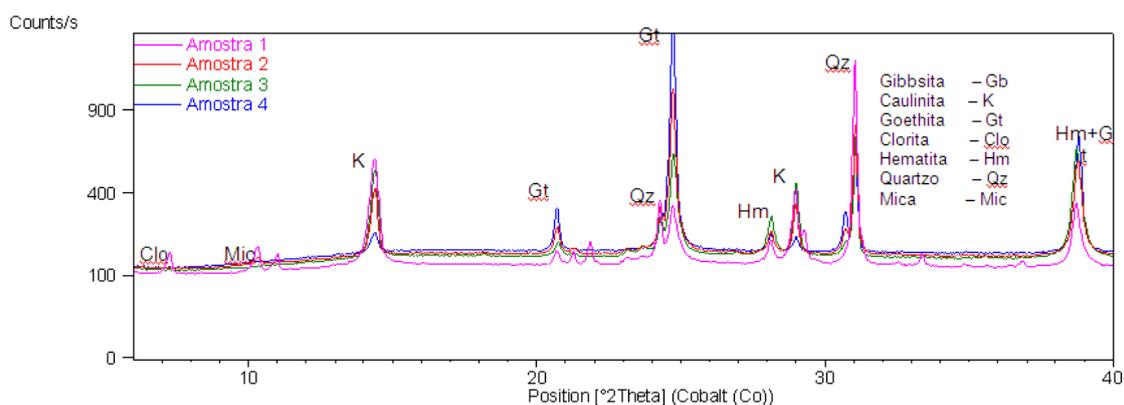


Figura 2. Difratogramas das amostras de lama com os principais picos identificados.

Os resultados para a amostra 1 foram bastante sensíveis para obtenção de qualidade no concentrado quando na presença da lama oriunda do próprio minério, obtendo-se teores de SiO_2 maiores que 3,5% para todos os ensaios onde se dosou 200 g/ t_{SiO_2} de coletor. Mesmo com o aumento da dosagem deste reagente para 400 g/ t_{SiO_2} , os ensaios com quantidade de lama superior a 3,5% continuaram gerando concentrados com teores de sílica elevados. A adição do dispersante promoveu melhora significativa na qualidade do *pellet feed*, porém alcançar valores próximos a 1% de SiO_2 foi possível apenas para o nível de lama em torno de 1,5% para a menor dosagem de coletor.

Os resultados para a amostra 2 não foram significativamente sensíveis quando na presença da lama oriunda do próprio minério, obtendo-se teor de SiO_2 inferior a 1% para todos os ensaios onde se adicionou dispersante, exceto quando se trabalhou com 10% de lama. Sem adição de dispersante o teor de SiO_2 no *pellet feed* ficou acima de 1% apenas quando se trabalhou com 5,5% de lama.

Para a amostra 3 os resultados não foram sensíveis quando na presença da lama oriunda do próprio minério, obtendo-se teor de SiO_2 próximo a 1,2% para todos os ensaios com ou sem adição do dispersante.

Os gráficos da Figura 3 evidenciam o exposto.

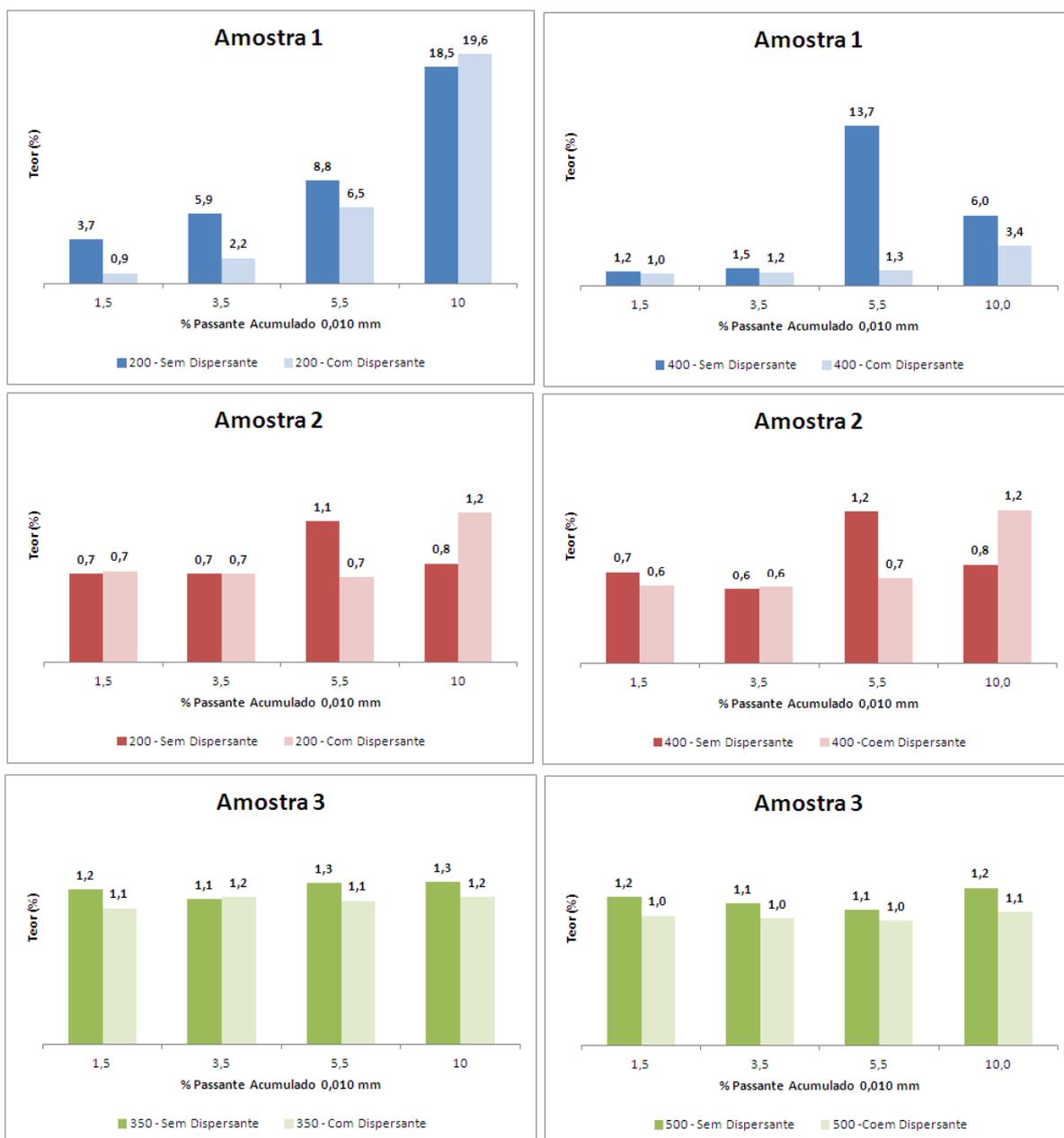


Figura 3. Teor de SiO₂ no *pellet feed* na presença das lamas oriundas dos próprios minérios.

O comportamento da amostra 1 frente às demais lamas estudadas é bastante interessante. A lama 4, que é constituída essencialmente por goethita, não influenciou a flotação do quartzo, sendo o teor de SiO₂ no *pellet feed* muito próximo para a grande maioria das condições de flotação estudadas. Com a lama 2, que também possui em sua composição uma parcela de participação de goethita, não houve dificuldade para obtenção de qualidade no concentrado quando se dosaram 400 g/t_{SiO₂} de coletor com ou sem dispersante (este reagente não influenciou nesses resultados). Já para a dosagem de coletor de 200 g/t_{SiO₂}, a adição do dispersante reduziu o teor de SiO₂ para próximo de 1%, exceto quando se trabalhou com 5,5% de lama. A lama 3, constituída essencialmente por hematita, foi a que mais influenciou negativamente, porém com a utilização de dispersante ou elevação da dosagem de coletor foi possível obter teores de SiO₂ no *pellet feed* inferiores a 1%. Os gráficos da Figura 4 evidenciam o exposto.

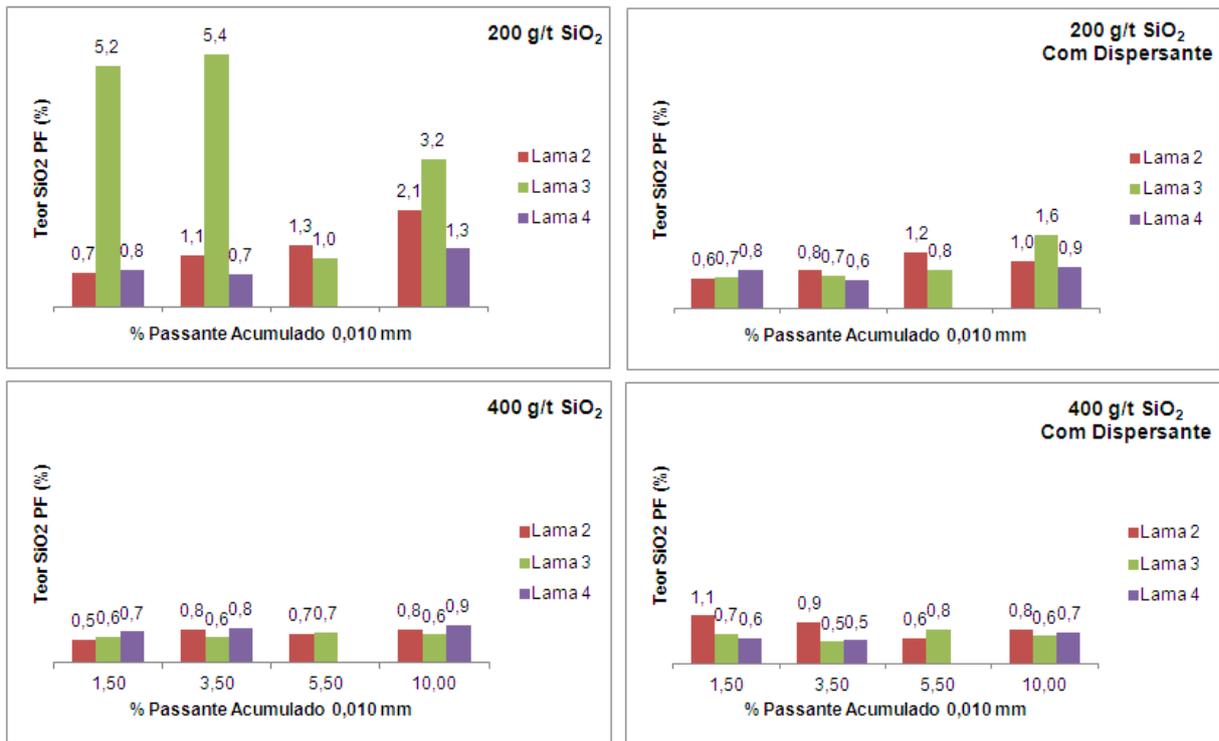


Figura 4. Efeito das lamas 2, 3 e 4 no teor SiO₂ do *pellet feed* da amostra 1.

Para a amostra 2 o comportamento da flotação frente às demais lamas estudadas é bastante semelhante quando se estudou o efeito de sua própria lama. Isto é, apenas para elevadas quantidades de lama não é possível a obtenção de um teor de SiO₂ no *pellet feed* inferior a 1%. Os gráficos da figura 5 evidenciam o exposto.

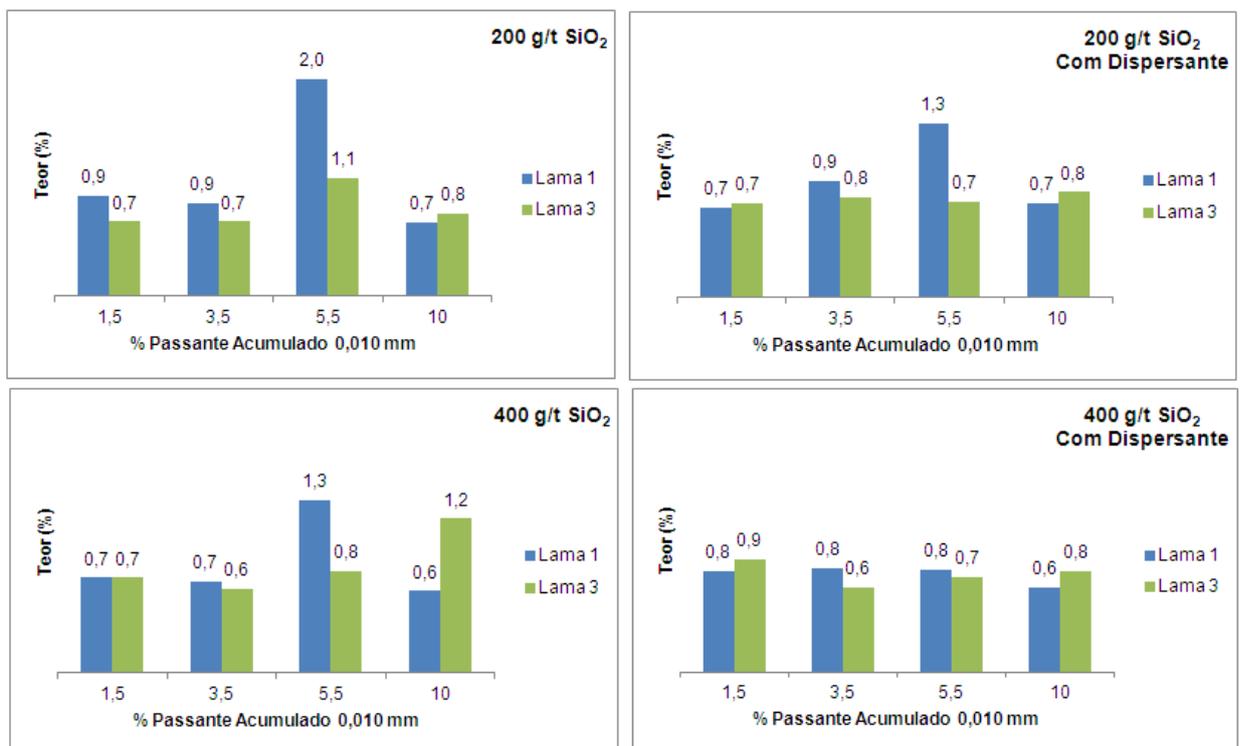


Figura 5. Efeito das lamas 2, 3 e 4 no teor SiO₂ do *pellet feed* da amostra 2.

O comportamento do minério da amostra 3 frente às demais lamas estudadas é bastante semelhante quando se estudou o efeito de sua própria lama. Porém, especialmente com a lama oriunda da amostra 1, que possui elevados teores de Al_2O_3 e Mn (13,34% e 1,478%, respectivamente), há uma tendência de aumento do teor de SiO_2 quando se trabalha com a dosagem de coletor de 350 g/t SiO_2 e quantidade de lama acima de 5,5%, mesmo com a adição de dispersante. Os gráficos da Figura 6 evidenciam o exposto.

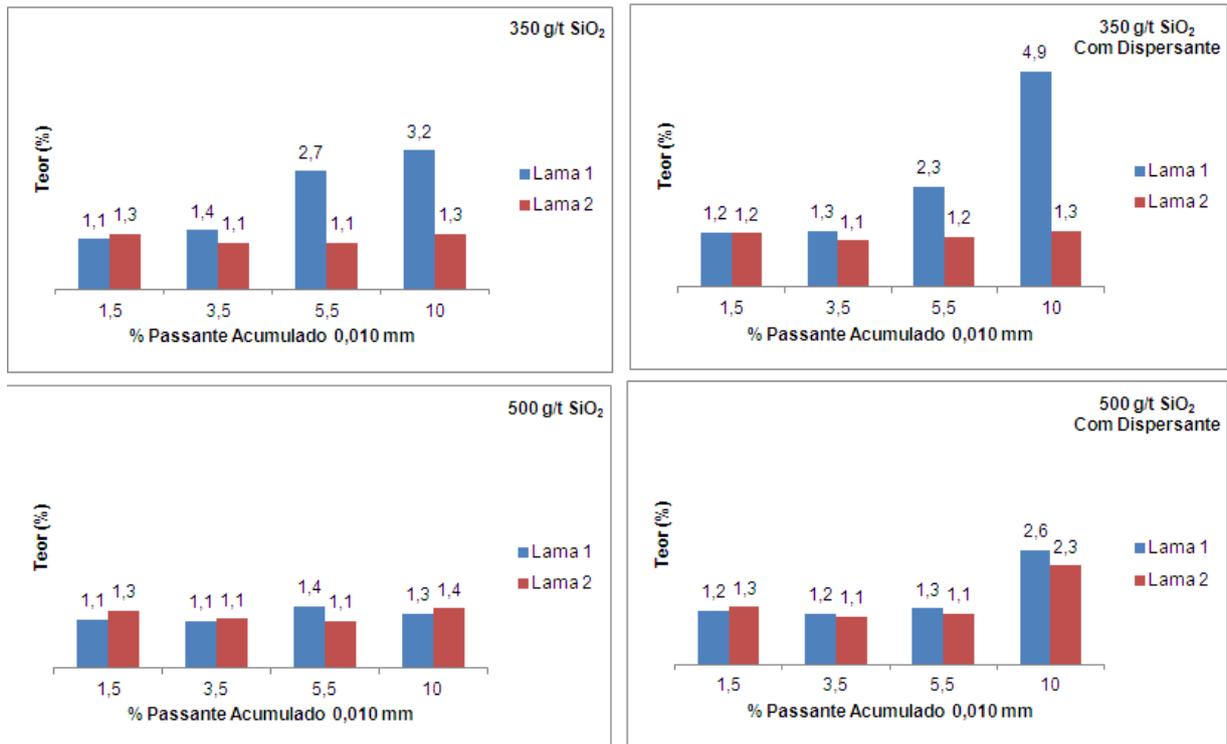


Figura 6. Efeito das lamas 2, 3 e 4 no teor SiO_2 do *pellet feed* da amostra 3.

A Figura 7 apresenta graficamente as superfícies específicas na alimentação da flotação da amostra global e da fração inferior a 0,045 mm. As superfícies específicas foram próximas para todas as lamas estudadas, sendo a lama oriunda da amostra 3 a que apresentou valores ligeiramente mais altos. A amostra sem adição de lama apresenta valores em patamares semelhantes quando se misturaram as lamas para se atingir 1,5%. Isso evidencia que as grandes áreas superficiais promovidas pela presença de lamas não foi o fator preponderante para o desempenho da flotação do quartzo presente na amostra.

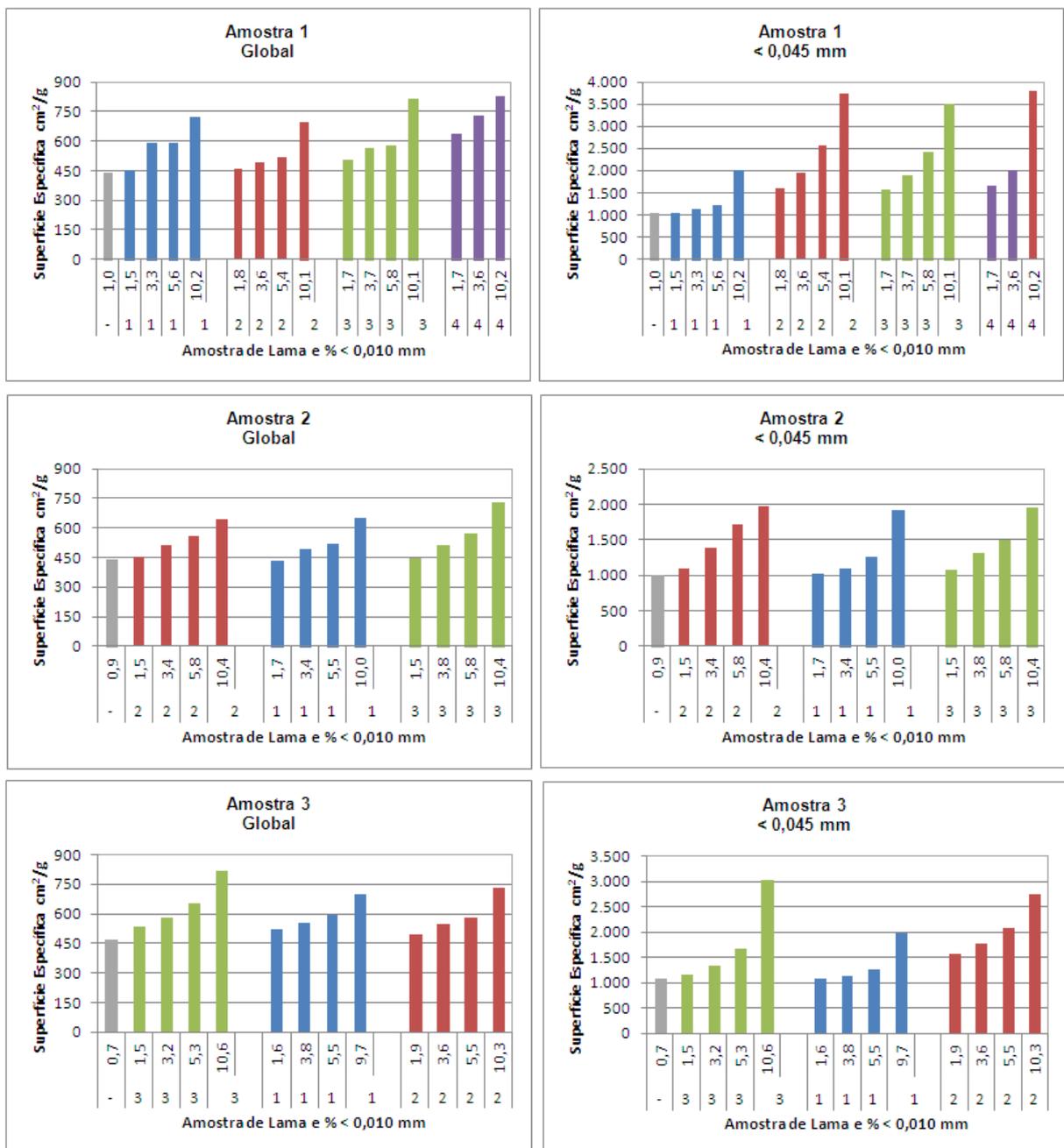


Figura 7. Superfície específica da alimentação da flotação.

5 CONCLUSÕES

- A flotação realizada sem a presença de lamas mostrou que a quantidade de finos presentes nas amostras foi suficiente para promover uma espuma estável e consistente uma vez que foi possível obter teores de SiO₂ no *pellet feed* iguais ou inferiores a 0,8% para as amostras 1 e 2 e teor de 1,2% para a amostra 3;
- a adição de dispersante não promoveu nenhuma mudança significativa no desempenho da flotação nos ensaios realizados sem a adição de lamas. Além disso, o aumento da dosagem de coletor não promoveu aumento significativo no teor de ferro do rejeito;

- a área de superfície específica não foi o fator responsável pelas alterações nos teores de sílica nos concentrados uma vez que para todos os ensaios os valores obtidos para a superfície específica foram similares;
- os resultados de flotação para a amostra 1 foram sensíveis à presença de lama oriunda do próprio minério e as lamas com participação de goethita não interferiram na qualidade do *pellet feed*;
- em geral o limite máximo de diferentes lamas para os minérios estudados foi de 3,5% a 5,5%, havendo perdas de recuperação e/ou aumento do teor de SiO₂ no concentrado para valores acima destes.

REFERÊNCIAS

- 1 ARAUJO, A. C. Influência de Íons de Alumínio e Caulinita na Flotação Catiônica do Quartzo e Hematita. Dissertação de Mestrado. PPGEM, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, p.121, 1982.
- 2 LIMA, N. P. Comportamento de minérios itabiríticos dos complexos Alegria e Fábrica Nova frente aos processos de deslamagem e flotação, Dissertação de Mestrado. PPGEM, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerias, p.126, 2001.
- 3 SILVA, G. M. A. Estudos sobre o estado de agregação de suspensões de um minério de ferro, Dissertação de Mestrado. PPGEM, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, p.145, 1994.