

CARACTERIZAÇÃO E CONCENTRAÇÃO DE LAMAS DE MINÉRIOS DE FERRO POR FLOTAÇÃO *

Neymayer Pereira Lima ¹

Klaydison Silva ²

Maurício Curi Segato ³

Elves Matiolo ⁴

Resumo

A flotação é o principal processo de concentração, tendo sido aplicada com sucesso na indústria de minérios de ferro para remoção do quartzo e obtenção de concentrados com elevados teores de Fe desde sua introdução na década de 70. A limitação do tamanho máximo de partículas na alimentação próximo de 300 µm e a remoção das lamas são fundamentais para garantia da eficiência da flotação reversa de quartzo. A presença de lamas afeta negativamente o desempenho da flotação reversa de quartzo. O elevado consumo de reagentes, levando a cobertura insuficiente das partículas, e o aumento de estabilidade da espuma, levando a dificuldade de remoção das partículas de quartzo, são os principais efeitos deletérios da presença de lamas. Recentes estudos de caracterização, aliados ao desenvolvimento de novos reagentes coletores de origem vegetal e cadeia linear possibilitaram a obtenção de concentrado com teores de SiO₂ próximos a 3% com 94% de recuperação metalúrgica, com base em testes piloto realizados em coluna de flotação com amostra de lama do Quadrilátero Ferrífero.

Palavras-chave: Concentração, Flotação, Lamas.

CHARACTERIZATION AND CONCENTRATION OF IRON ORE SLIMES BY FLOTATION

Abstract

Flotation is the main concentration process, has been applied with success for the removal of quartz on the iron ore industry aiming high quality concentrates. limiting the top size close to 0,300mm and the removal of slimes are fundamental for the efficiency of reverse flotation of quartz. The high consumption of reagents, leading to insufficient particle coverage, and increased foam stability, leading to the difficulty of removal of quartz particles, are the main deleterious effects of the presence of slimes. Recent characterization studies, together with the development of new collector of linear chain, allowed the obtaining of concentrate with SiO₂ contents close to 3% with 94% of metallurgical recovery, based on pilot tests carried out on a sample flotation column of the Quadrilátero Ferrífero.

Keywords: Concentration, Flotation, Slimes.

¹ DSC, Engenheiro Especialista, Planejamento de Ferrosos, Vale S.A., Nova Lima, Brasil.

² MSC, Engenheiro Master, Planejamento de Ferrosos, Vale S.A., Nova Lima, Brasil.

³ Engenheiro Master, Planejamento de Ferrosos, Vale S.A., Nova Lima, Brasil.

⁴ DSC, Pesquisador, CETEM, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A flotação é o principal processo de concentração da atualidade, sendo empregada na indústria de minérios de ferro através de células mecânicas e colunas em vários estágios (rougher, cleaner, recleaner e scavenger), visando à obtenção de pellet feed com teores de SiO₂ entre 0,8% e 1,5%, conforme as exigências da indústria siderúrgica.

A coleta de partículas no processo de flotação é um produto das probabilidades de ocorrência dos seguintes eventos: 1. colisão entre partículas e bolhas de ar (Pc), 2. adesão entre partículas e bolhas (Pa), 3. destacamento da partícula aderida à bolha (Pd), 4. retenção da partícula na espuma durante o tempo necessário para transporte e remoção do sistema de flotação (Pr).

A Equação 1 representa o produto destas probabilidades durante a coleta de partículas no processo de flotação.

$$P = P_c \times P_a \times P_r \times (1 - P_d)$$

1

As diferentes partículas existentes no processo de flotação apresentam diferentes probabilidades. Assim, Partículas grossas apresentam elevada probabilidade de colisão e baixas probabilidades de adesão e retenção, o que ajuda a entender a dificuldade de coleta destas partículas no processo de flotação. Estudos realizados por Hewitt et al. (1994), mostraram que a probabilidade de adesão aumenta com o decréscimo do tamanho de partículas e com o aumento do grau de hidrofobicidade, podendo este último ser obtido com aumento da dosagem de coletor. Por outro lado, partículas finas apresentam baixa probabilidade de colisão e elevadas probabilidades de adesão e retenção à bolha.

O efeito nocivo das lamas na flotação reversa de quartzo é conhecido desde o início das operações de flotação para minérios ferro. A remoção das lamas por hidrociclones foi introduzida pelo USBM (Clemmer, 1974). O elevado consumo de reagentes e a elevada estabilidade da espuma, dificultando a remoção de quartzo, são os principais efeitos da presença de lamas na flotação. Estudos realizados por Lima et al. (2012) indicaram 4% de partículas de lama na flotação como limite máximo tolerável para bom desempenho desta operação de concentração.

Estudos recentes realizados por Achave (2017) mostraram que a estabilidade da espuma diminui com o aumento do tamanho das partículas. Partículas finas tiveram a maior influência na estabilidade da espuma. No entanto, as partículas grosseiras tiveram um efeito destrutivo na espuma.

Quartzo e Caulinita são os principais minerais de ganga presente nas lamas de minérios de ferro. Ma & Bruckard (2010) apud Thella et al. (2012) observaram que a adsorção de amido na caulinita é dependente do pH, com a adsorção do amido diminuindo com o aumento do pH de 7 para 10,5. Em pH 10,5, o aumento da força iônica aumenta significativamente a densidade de adsorção do amido na caulinita. A baixa afinidade das moléculas de amido pelas superfícies de caulinita em pH 10,5 também aponta para ligações de hidrogênio como mecanismo de adsorção do amido na caulinita. Controlando assim o pH, controla a adsorção do amido na caulinita.

Este trabalho descreve um estudo de caracterização e concentração por flotação em bancada com células mecânicas e piloto por coluna de uma amostra de lama do Quadrilátero Ferrífero obtida após deslamagem e espessamento. O estudo realizado confirmou a presença de quartzo e caulinita como minerais de ganga presentes na

amostra. O novo coletor de origem vegetal com cadeia linear possibilitou a obtenção de concentrado com teor de SiO₂ próximo a 3%, recuperação metalúrgica de 94% sem adição de amido em pH 10,5. O novo coletor possibilitou também maior recuperação na espuma dos minerais de Al₂O₃, menor afinidade com os minerais de Fe e menor tempo de flotação. Estudos mais detalhados, incluindo testes em escala industrial, devem ser realizados para confirmação dos resultados e análise de scale up. O desenvolvimento de coletores alternativos é fundamental para viabilizar a flotação de lamas e obtenção de concentrados com qualidades aceitáveis pelo mercado internacional e redução da necessidade de barragens.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 ETAPAS DO ESTUDO: Este trabalho foi desenvolvido em 2 etapas, sendo:

1^a etapa: Estudos em escala de bancada, visando a definição dos tipos e dosagens de coletores.

2^a etapa: estudos em coluna de flotação piloto de 100 mm de diâmetro nas melhores condições estabelecidas na 1^a etapa.

2.2 AMOSTRA: A amostra estudada durante este trabalho foi obtida do underflow do espessador de lamas de uma usina de tratamento de itabiritos pobres do Quadrilátero Ferrífero. Foram coletadas amostras representativas durante 5 dias para os estudos das 2 fases deste projeto.

2.3 CARACTERIZAÇÕES

A caracterização química foi feita através de fluorescência de raios-x, sendo analisados Fe, SiO₂, Al₂O₃, P, Mn, CaO, MgO, TiO₂ e PPC.

A caracterização granulométrica foi feita através do granulômetro Malvern® Mastersizer 2000.

A caracterização mineralógica foi feita por difração de raios-X combinada com o QEMSCAN usando refinamento de Rietveld.

2.4 REAGENTES

Coletores: Foram usados vários tipos de coletores, alguns de origem orgânica e outros de origem vegetal, com dosagens variando de 50 g/t a 500 g/t.

Amido de milho tipo Gritz. Dosagens de 500 a 1000 g/t.

2.5 pH: Foram estudados valores de pH entre 7,0 e 10,5.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 mostra a análise química global da amostra de lama. A Figura 1 mostra a distribuição granulométrica e a Figura 2 a análise mineralógica da amostra.

Tabela 1- Análise química global da amostra de lama

Fe (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	P (%)	Mn (%)	TiO ₂ (%)	CaO (%)	MgO (%)	PPC (%)
42,79	33,94	2,70	0,072	0,084	0,019	0,013	0,129	1,88

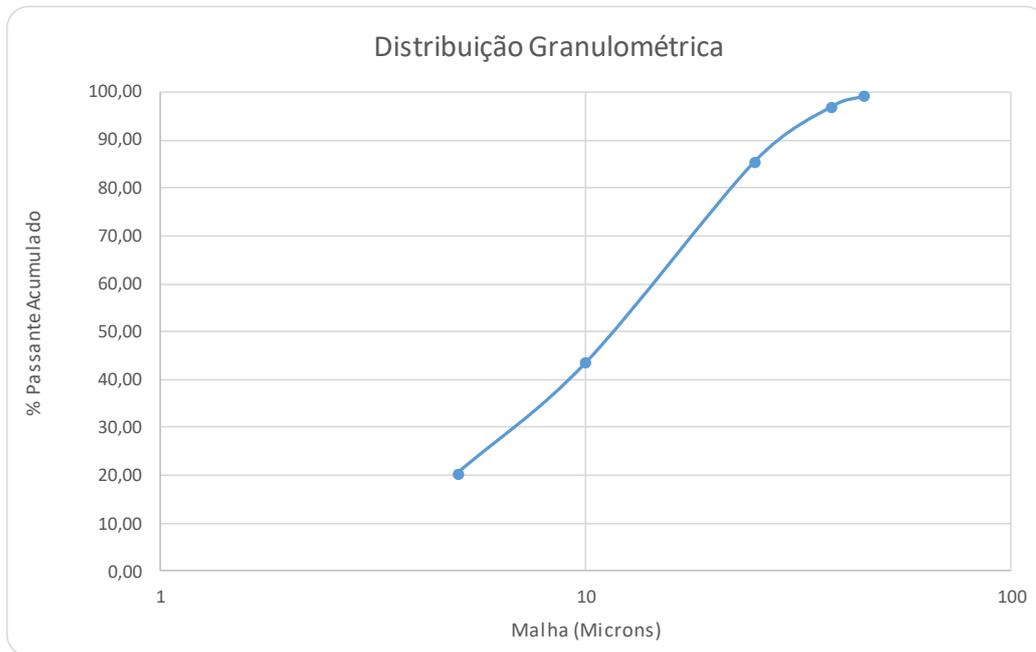


Figura 1- Distribuição granulométrica da amostra de lama

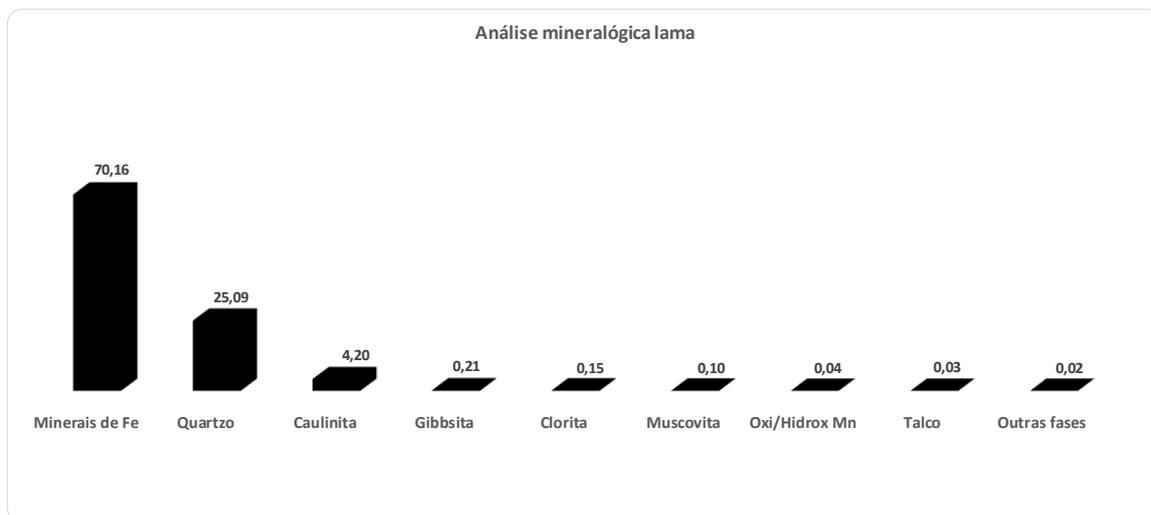


Figura 2- Análise mineralógica da amostra de lama

A Figura 3 mostra micrografia da amostra de lama estudada.

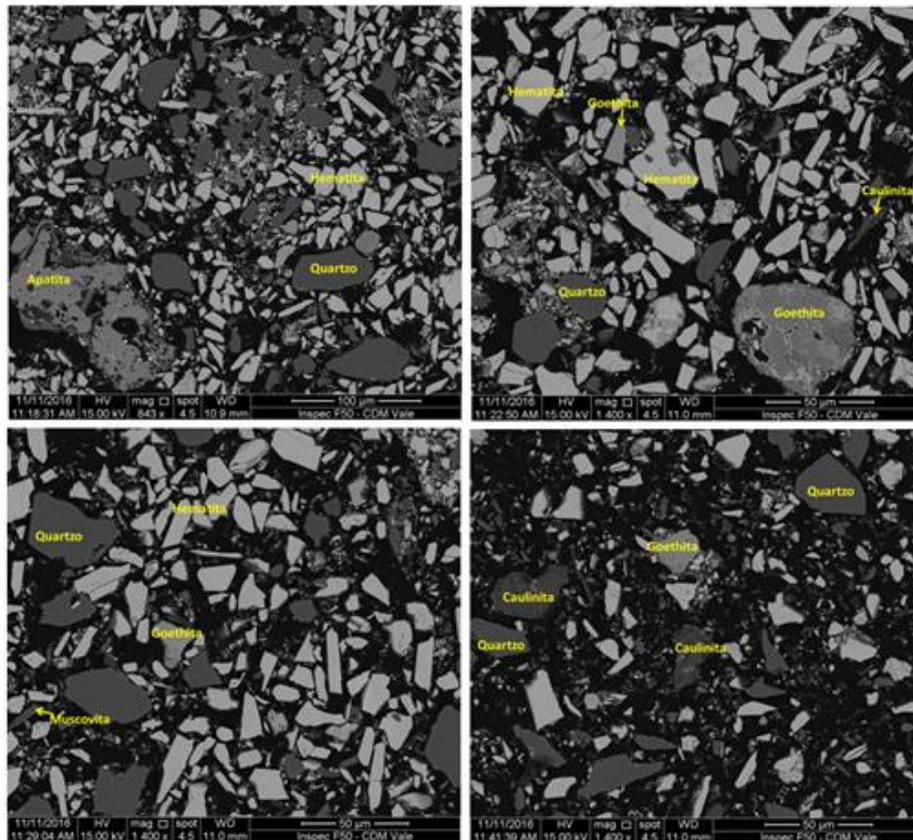


Figura 3- Fotomicrografia da amostra de lama

A análise mineralógica mostrou que os minerais de Fe encontram-se essencialmente liberados, apenas 13% associados ao quartzo e 4% à caulinita. Minerais de Fe com tamanho médio de cristal de 7 μm e cristais de quartzo com tamanho médio de 20 μm .

Os testes realizados na 1^a etapa em escala de bancada indicaram 2 coletores com maior potencial para a flotação das lamas, visando a remoção do quartzo e da caulinita. O 1^o coletor sendo de base orgânica de cadeia ramificada e o 2^o de base vegetal de cadeia linear. Com base nos resultados da 1^a etapa, foram realizados testes em coluna piloto de 150mm de diâmetro. As Figuras 4, 5, 6 e 7 mostram as flotabilidades de quartzo, hematita e caulinita para os 2 coletores de maior potencial com e sem amido em função do pH. Os resultados sugerem menor afinidade do coletor orgânico com a hematita, em função dos menores valores de flotabilidade em todas as faixas de pH. Os 2 coletores apresentaram flotabilidades do quartzo muito similares em pH 10,5. Os valores de flotabilidade da caulinita foram ligeiramente maiores com o coletor orgânico. A adição de amido promoveu redução nas flotabilidades da hematita e da caulinita para os 2 coletores e valores de pH.

Flotabilidades do quartzo, da hematita e da caulinita com 150 g/t de coletor de base vegetal e cadeia linear sem amido

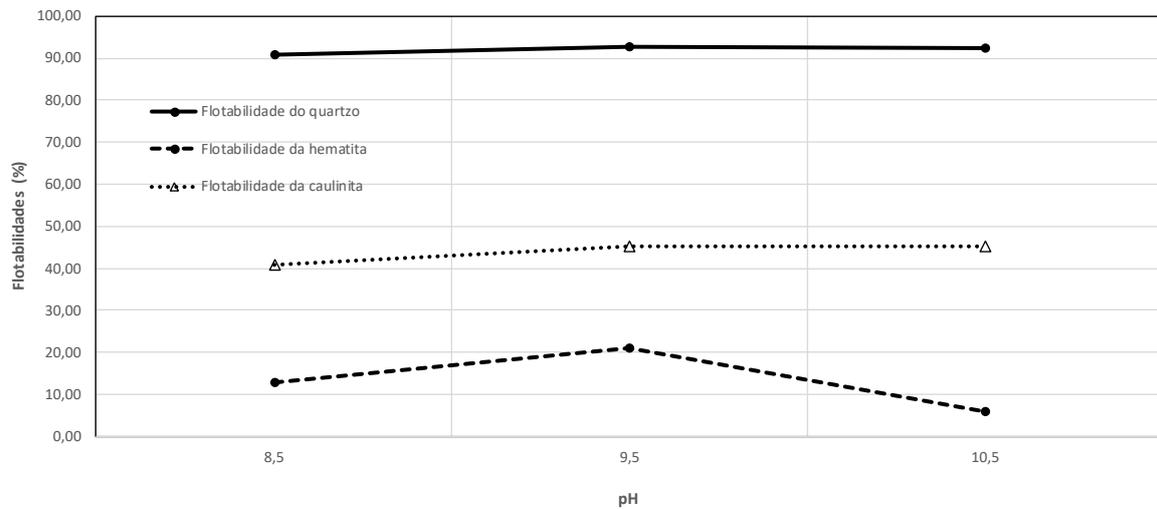


Figura 4- Flotabilidades do quartzo, da hematita e da caulinita com 150 g/t de coletor de base vegetal e cadeia linear sem amido.

Flotabilidades do quartzo, da hematita e da caulinita com 150 g/t de coletor de base vegetal e cadeia linear com 500 g/t de amido

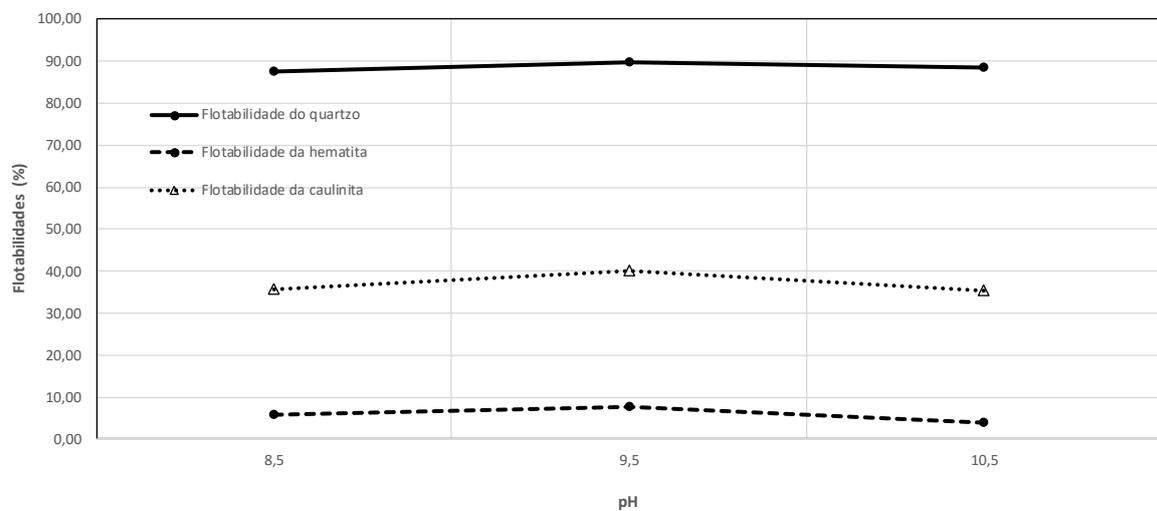


Figura 5- Flotabilidades do quartzo, da hematita e da caulinita com 150 g/t de coletor de base vegetal e cadeia linear com 500 g/t de amido.

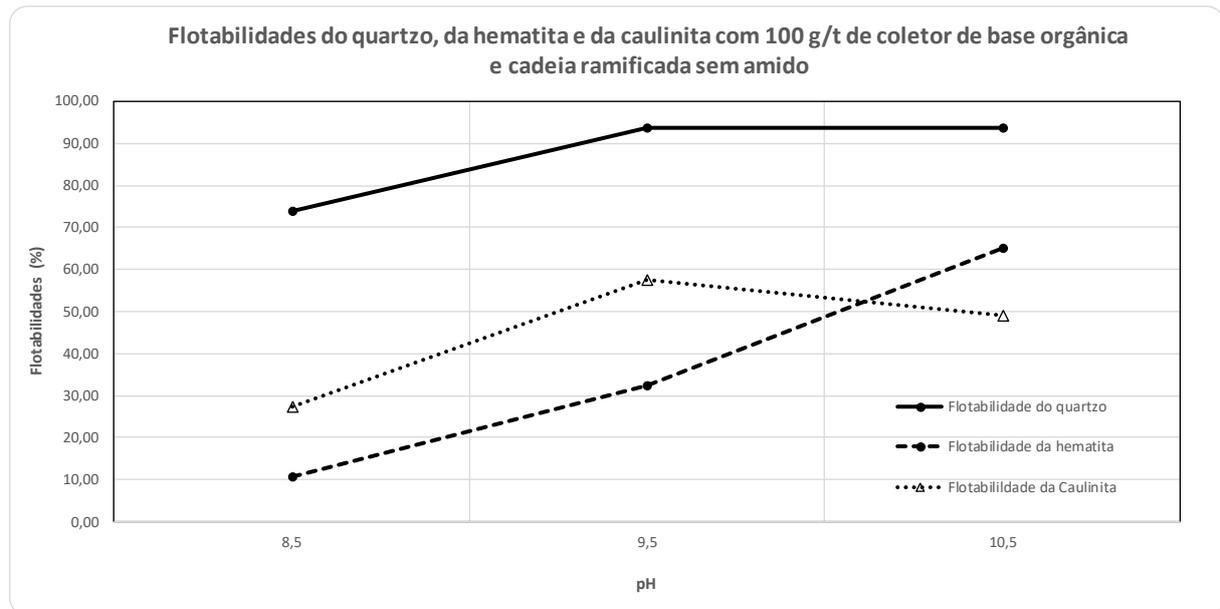


Figura 6- Flotabilidades do quartzo, da hematita e da caulinita com 100 g/t de coletor de base orgânica e cadeia ramificada sem amido.

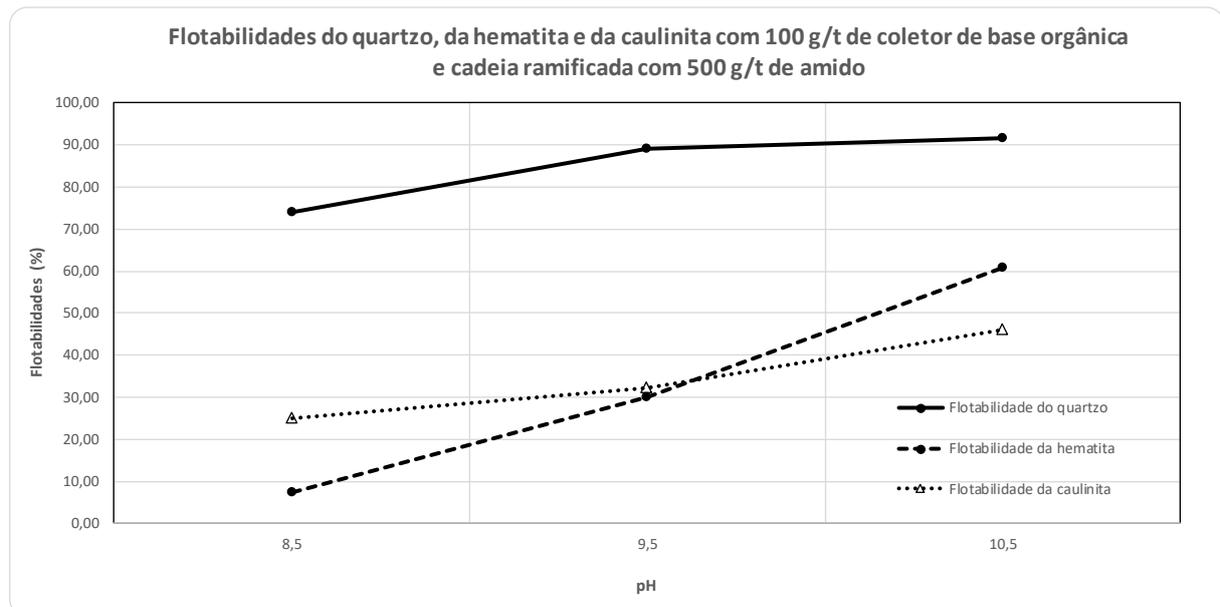


Figura 7- Flotabilidades do quartzo, da hematita e da caulinita com 100 g/t de coletor de base orgânica e cadeia ramificada com 500 g/t de amido.

A Figura 8 mostra os melhores resultados obtidos nos testes piloto de flotação em coluna, obtidos sem adição de amido.

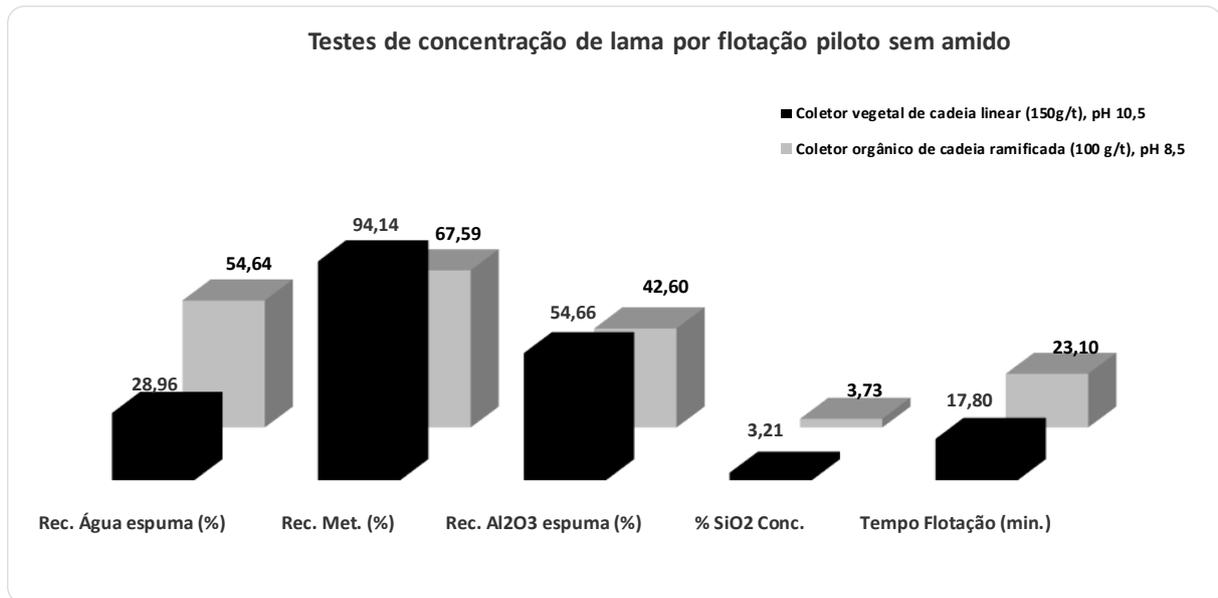


Figura 8- Resultados de testes piloto de flotação em coluna de concentração de lama.

Os resultados da Figura 8 mostram a possibilidade de obtenção de concentrado com teor de SiO₂ próximo a 3% e 94% de recuperação metalúrgica com 150 g/t do coletor vegetal de cadeia linear em pH 10,5 sem adição de amido. O coletor vegetal possibilitou menor recuperação de água na espuma, contribuindo para o maior valor de recuperação metalúrgica, possivelmente devido ao menor arraste de minerais de Fe na espuma. O coletor vegetal possibilitou também maior recuperação de minerais de Al₂O₃ na espuma e menor tempo de flotação.

4 CONCLUSÃO

A presença de caulinita é um dos maiores desafios à concentração de lamas por flotação reversa com adição de reagentes coletores e depressores tradicionais. O desenvolvimento de coletor de base vegetal com cadeia linear sem adição de amido possibilitou a obtenção de concentrado com teor de SiO₂ próximo a 3% com 94% de recuperação metalúrgica e maior recuperação de minerais de Al₂O₃ na espuma em relação ao coletor tradicional de base orgânica e cadeia ramificada, com base em testes piloto realizados em coluna de flotação. O novo coletor possibilitou também menor afinidade com a hematita e menor tempo de flotação. Investigações detalhadas devem ser realizadas para melhor conhecimento das características do novo coletor e os mecanismos de adsorção com os minerais presentes na lama, além do desenvolvimento de novos coletores.

REFERENCES

- 1 ACHAYE, INNOCENT. Effect of particles properties on froth stability. Thesis presented for the Degree of Doctor of Philosophy in the Department of Chemical Engineering. UNIVERSITY OF CAPE TOWN, March 2017.
- 2 CLEMMER, J.B. Flotation of iron ore. Proceedings of the 8th Annual Mining Symposium, Duluth, Minnesota, USA, 1947.

- 3 HEWITT, D.; FORNASIERO, D.; RALSTON, J. Bubble particle attachment efficiency. *Minerals Engineering*, v.7, n.5/6, p. 657–665, 1994.
- 4 LIMA, NEYMAYER P. PERES, ANTÔNIO, E.C., MARQUES, MICHELLE, L.S. Effect of slimes on Iron Ore Flotation. *International Journal of Mining Engineering and Mineral Processing*, 1(2), 43-46p. , 2012.
- 5 MA, X., BRUCKARD, W.J. The effect of pH and ionic strength on starch–kaolinite interactions, *International Journal of Mineral Processing* 94, 111–114, 2010.
- 6 THELLA, J. S., MUKHERJEE, A.K., SRIKAKULAPU, N. G. Processing of high alumina iron ore slimes using classification and flotation, *Powder Technology* 217, 418–426, 2012.