

AUMENTO DA SELETIVIDADE DA FLOTAÇÃO REVERSA DE MINÉRIO DE FERRO COM A UTILIZAÇÃO DE POLIELETRÓLITOS¹

Carlos de Figueiredo Gontijo²

Resumo

Seis amostras de itabiritos provenientes de diversas minas do quadrilátero ferrífero, em Minas Gerais, foram classificadas em 150 µm, deslamadas e submetidas a ensaios de flotação catiônica reversa em escala de bancada. Os experimentos objetivaram aumentar a seletividade da flotação e consequentemente aumentar a recuperação metalúrgica, através da redução da atração eletrostática entre o quartzo e a hematita. Como reagentes dispersantes foram testados dois polieletrólitos, o hexametáfosfato de sódio e o poliácrlato de sódio. Foram obtidos aumentos na recuperação metalúrgica que variaram entre 0,3 a 12,7 %. O ganho em recuperação metalúrgica é diretamente proporcional ao teor de sílica na alimentação. Houve uma tendência de aumento no teor de sílica do concentrado, o que será objeto de um estudo posterior. Um teste industrial na usina de Alegria confirmou os resultados obtidos em escala de bancada, com um aumento de recuperação metalúrgica de 6,6 %.

Palavras-chave: Flocculação; Dispersão.

INCREASE IN SELECTIVITY OF IRON ORE REVERSE FLOTATION WITH POLYELECTROLYTES

Abstract

Six itabirite samples from various mines in the Iron Quadrangle in Minas Gerais, were classified at 150 µm, de-slimed and submitted to bench scale reverse cationic flotation tests. The experiments aimed to increase the selectivity of flotation and consequently increase metallurgical recovery by reducing the electrostatic attraction between the quartz and hematite particles. Two polyelectrolytes reagents were tested as dispersants, sodium hexametaphosphate and sodium polyacrylate. The metallurgical recovery increases obtained in the tests ranged from 0.3 to 12.7%. The gain in metallurgical recovery is directly proportional to silica content in the feed. There was a tendency to increase the silica content of the concentrate, which will be object of further study. An industrial test at Alegria mine confirmed the results obtained in bench scale, with an increase of 6.6% in metallurgical recovery.

Key words: Flocculation; Dispersion.

¹ Contribuição técnica ao 40º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 11º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 19 a 22 de setembro de 2010, Belo Horizonte, MG.

² Especialista em processamento mineral - VALE S.A. – Rua Paraíba, 1122, Savassi, CEP 30.139-141, Belo Horizonte, MG, Brasil. E.mail: carlos.gontijo@vale.com.

1 INTRODUÇÃO

Todos os modelos de flotação atuais tratam o caso mais simples, da interação entre uma partícula individual e uma bolha, livre de partículas aderidas.⁽¹⁾ As condições reais em que o processo de flotação ocorre podem ser muito mais complexas. As técnicas de análise da distribuição do tamanho de partículas por difração à laser e microscopia ótica permitiram evidenciar que existe agregação entre partículas em condições análogas às encontradas em células de flotação mecanicamente agitadas, antes mesmo da adição de reagentes. Após a adição do coletor a extensão do estado de agregação aumenta dramaticamente.⁽²⁾ O estado de agregação das partículas sólidas pode ser induzido por diversos fatores:

1 – Heterocoagulação, quando partículas de carga oposta formam agregados. Heterocoagulação pode ocorrer entre espécies de partículas variando em tamanho, forma, sinal da carga, densidade da carga e composição.^(3,4) Algumas regras básicas para heterocoagulação podem ser deduzidas à partir da medição do ponto de carga zero de diversos minerais:⁽⁴⁾

- quando um óxido metálico e um silicato estão presentes em suspensão a heterocoagulação ocorre na faixa ácida de pH;
- heterocoagulação entre um óxido metálico e um sal de metal alcalino terroso ocorre principalmente em pH básico;
- quando mais do que dois minerais estão em suspensão, heterocoagulação é muito comum e inevitável em uma faixa extensa de pH.

2 – Interferência de íon solúvel, que neutraliza a carga das partículas.⁽⁵⁾

3 – Revestimento por ultrafinos (*slime coating*).⁽⁵⁾ O revestimento por ultrafinos é um caso especial de heterocoagulação entre partículas finas e grossas com cargas opostas ou entre partículas cuja carga tenha o mesmo sinal, mas que tenham uma grande diferença em valor ou em tamanho. Este fenômeno é baseado na interação entre as duplas camadas e força de van der Waals entre as partículas.⁽⁶⁾ Para flotação de quartzo com dodecilamina, a cobertura de 25 % da superfície do quartzo por lamelas de óxido de ferro é suficiente para deprimir a flotação.⁽⁶⁾

4 – Floculação por polímeros.⁽⁷⁾

5 – Floculação hidrofóbica, quando partículas com alta cobertura de moléculas surfactantes adsorvidas se aproximam para reduzir ainda mais a sua energia de superfície, formando uma ponte entre elas.⁽⁸⁾

Yates et al.⁽³⁾ estudaram o efeito da relação de tamanho, d/D , na concentração ótima para agregação, onde d é o diâmetro médio das partículas finas e D é o diâmetro das partículas grossas. Nestes experimentos foram utilizadas partículas grossas de alumina e partículas finas de sílica. O diâmetro das partículas de alumina foi mantido constante e a relação de tamanho foi variada através do parâmetro d , ou seja, o diâmetro das partículas de sílica. A Figura 1 sumariza os resultados encontrados por estes pesquisadores. Aumentando o diâmetro das partículas de sílica, o número de partículas necessárias para obter uma agregação ótima diminui, embora a quantidade de sílica em massa aumente.

Ata e Jameson⁽¹⁾ relataram a formação de cachos de bolhas numa célula de flotação, na presença de partículas de quartzo e solução de dodecilamina. Estes cachos de bolhas são mantidos agregados por partículas que se unem a duas ou mais bolhas, formando uma ponte entre elas. O tamanho dos cachos aumenta com o aumento na concentração do coletor. A fração de bolhas que estavam envolvidas em cachos também aumentou com a concentração de amina, atingindo até 68 %. É esperado que a presença de cachos em células de flotação cause um aumento no

arraste mecânico de partículas hidrofílicas para a espuma, bem como favoreça a flotação de partículas grossas.⁽¹⁾

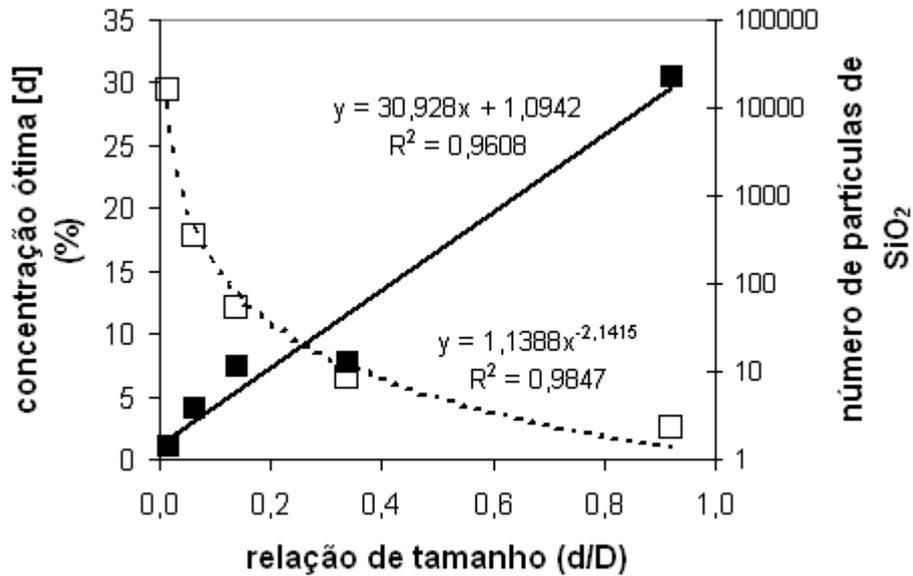


Figura 1 – (■): Concentração de partículas finas, [d], em porcentagem de peso, para obter uma agregação ótima, em função da relação de tamanho (d/D) e (□): Número de partículas de SiO₂ por partícula de Al₂O₃ para obter agregação ótima.⁽³⁾

O fenômeno de heterocoagulação de partículas finas pode ser confundido com arraste mecânico, mas ele não é exclusivo das partículas finas. Estudando a flotação de uma mistura de partículas grossas de quartzo, com tamanho entre 50 µm e 600 µm e diâmetro médio de 253 µm, hidrofobizado por triclorometilsilano e hematita hidrofílica, com tamanho entre 50 µm e 1.000 µm e diâmetro médio de 380 µm, Gontijo⁽⁹⁾ relatou que cerca de 18 % da hematita hidrofílica foi coletada em pH 5,7, apesar da granulometria extremamente grosseira e da alta densidade (Figura 2). Alterando o pH da suspensão para 3 e 9 não houve mais coleta de hematita, demonstrando que o efeito da coleta de hematita se deve à atração eletrostática entre a hematita e o quartzo. A recuperação de hematita hidrofílica diminuiu quando a porcentagem destas partículas na célula aumentou de 25 para 95 % (Figura 3). Na concentração de 25% de partículas hidrofílicas, a recuperação de hematita atingiu 27,7 %.⁽⁹⁾

Ao flotar misturas de diversos minerais ou minérios, a seletividade é frequentemente perdida, em função da agregação entre as partículas minerais que pode ocorrer naturalmente em função de suas cargas elétricas, pela liberação de íons solúveis ou em função dos reagentes utilizados.⁽⁵⁾ A perda de seletividade também pode ser causada por arraste mecânico das partículas hidrofílicas para a espuma⁽⁵⁾ ou pelo aprisionamento de partículas hidrofílicas nos cachos de bolhas.⁽¹⁾

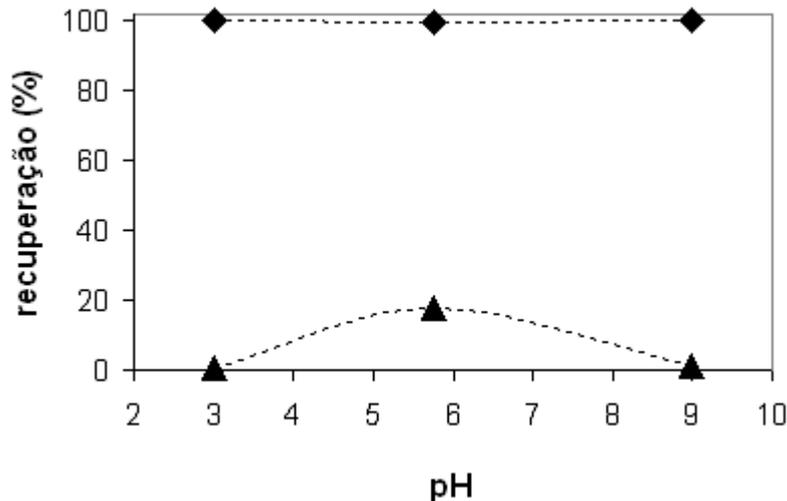


Figura 2 – Recuperação em 8 minutos de flotação de (◆): quartzo hidrofóbico, tamanho entre 50 e 600 μm , diâmetro médio de 253 μm e (▲): hematita hidrofílica, tamanho entre 50 e 1000 μm , diâmetro médio de 380 μm , flotados em uma célula mecânica com 2,25 litros e turbina do tipo Rushton (mistura com 78 % de hematita, pH 5,7, [DF250] = 20 mg/l, diâmetro de bolhas = $0,7 \pm 0,3$ mm, velocidade do rotor = $650 \pm 4 \text{ min}^{-1}$, dissipação turbulenta de energia = $6,46 \text{ m}^2/\text{s}^3$, $Re_f = 26.063$, vazão de ar = 4,5 l/min, ângulo de contato das partículas de quartzo = $83 \pm 2^\circ$, ângulo de contato das partículas de hematita = 0°).⁽⁹⁾

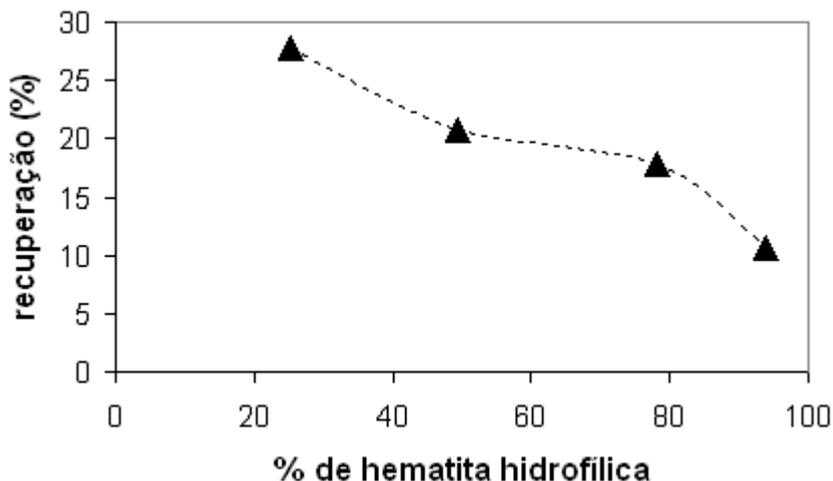


Figura 3 – Recuperação de hematita hidrofílica em 8 minutos de flotação, em função da porcentagem de partículas hidrofílicas (demais condições experimentais idênticas às relatadas na Figura 2).

Para diminuir o arraste mecânico diversos métodos são empregados, como por exemplo, o uso de água de lavagem, muito comum em colunas de flotação e em algumas células pneumáticas.⁽¹⁰⁻¹²⁾ Outro método físico para aumentar a seletividade é através do uso de barreiras em forma de rolos para remover a ganga arrastada pela espuma.⁽¹³⁾ O efeito de perda de seletividade causado por heterocoagulação entretanto não pode ser anulado pelo uso de água de lavagem.⁽⁵⁾ A separação de partículas minerais pode ser completamente não-seletiva se a polpa não estiver previamente dispersa.⁽⁴⁾ Em meio aquoso, um estado de dispersão estável de partículas pode ser obtido por estabilização eletrostática ou estérica, obtidos respectivamente pelo uso de dispersantes ou polímeros.⁽⁵⁾ Os dispersantes mais comuns em aplicações industriais são o hexametáfosfato de sódio, o silicato de

sódio, o poliacrilato de sódio e o hidróxido de sódio.⁽⁴⁾ O hexametáfosfato de sódio adsorvido na superfície de partículas atua aumentando a carga negativa da superfície e também induzindo uma repulsão estérica muito grande entre partículas.⁽⁴⁾

O método de flotação mais empregado para concentração de minério de ferro fino é a flotação catiônica reversa. Os coletores mais usados são éter aminas parcialmente neutralizadas com ácido acético. Como depressor é utilizado amido de milho ou mandioca, gelatinizado com NaOH.⁽¹⁴⁾ O amido adsorvido na superfície do quartzo é desorvido na presença de amina em pH alcalino. Este não é o caso da hematita, que continua recoberta pelo amido.⁽¹⁵⁾ A Figura 4 apresenta o potencial zeta de quartzo em água destilada e na presença de dodecilamina.⁽¹⁵⁾ Nota-se a reversão de carga em pH alcalino, indicando a adsorção de amina. As Figuras 5 e 6 mostram o potencial zeta, sempre medido em solução com 10^{-2} M de KCl, de hematita, hematita na presença de amido, hematita na presença de amina, amido e amido na presença de amina.⁽¹⁶⁾ A hematita apresenta pouca interação com a amina, principalmente em pH alcalino. Em pH 12, praticamente não há interação entre a hematita e a amina (Figura 5). A hematita condicionada com amido praticamente adquire o potencial zeta do amido, principalmente em pH alcalino (Figura 6). Quando o potencial zeta do amido foi medido ele não estava gelatinizado e portanto não estava dissolvido.⁽¹⁶⁾ A presença de amina modificou o potencial zeta do amido, indicando uma certa interação, a qual é mínima em pH em torno de 10,7, um valor próximo ao praticado industrialmente.

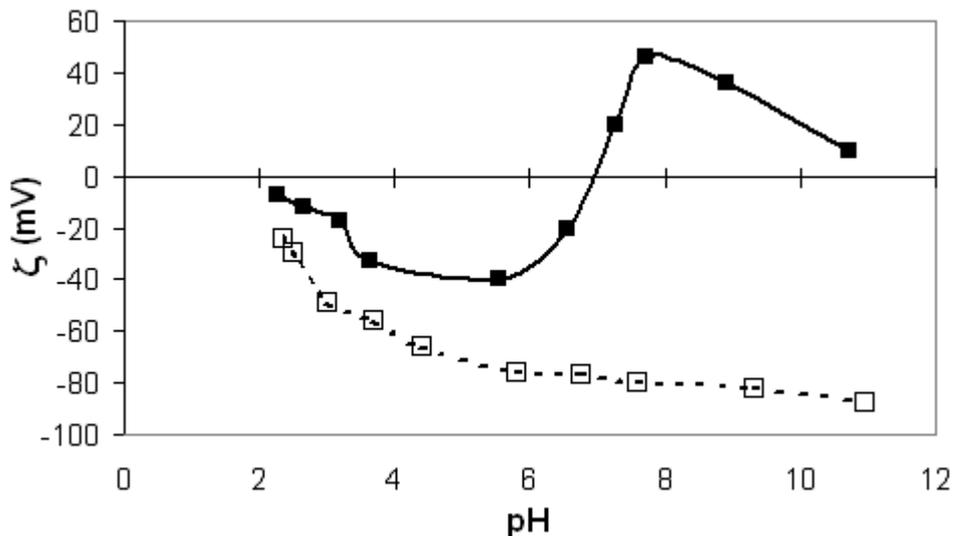


Figura 4 – Potencial zeta de quartzo na presença (■) e na ausência (□) de 10^{-4} M de dodecilamina.⁽¹⁵⁾

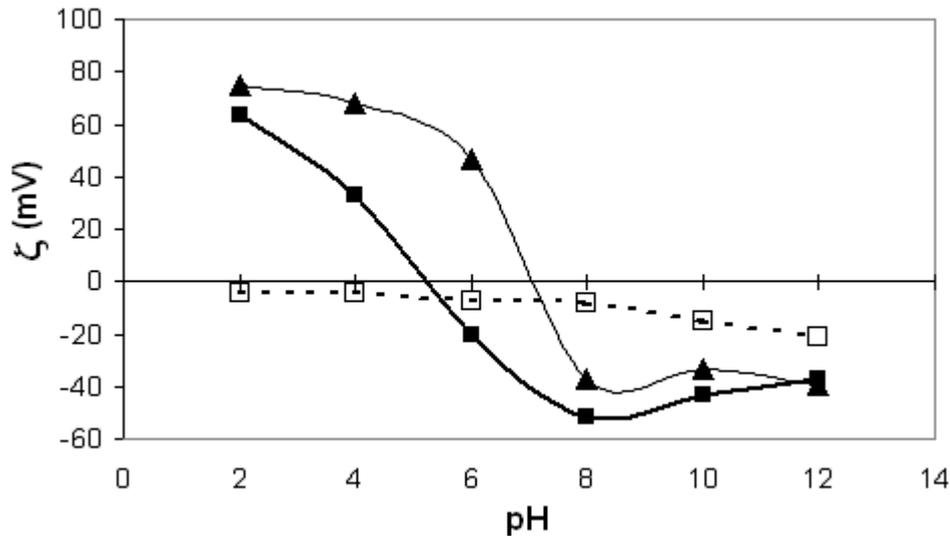


Figura 5 – Potencial zeta, medido em solução de fundo com 10^{-2} M de KCl, de (■): hematita, (□): hematita na presença de 50 mg/l de amido e (▲): hematita na presença de 50 mg/l de dodecilamina.⁽¹⁶⁾

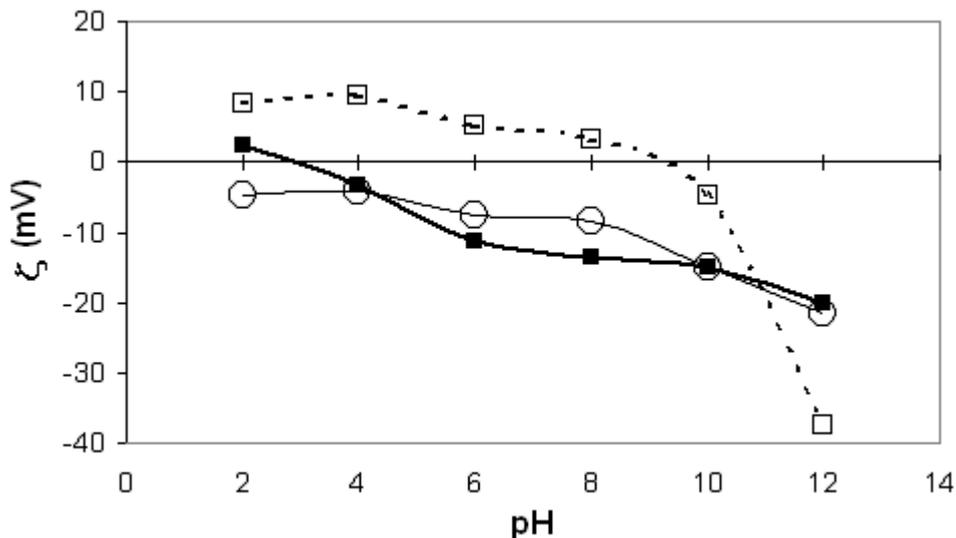


Figura 6 – Potencial zeta, medido em solução de fundo com 10^{-2} M de KCl, de (■): amido, (□): amido na presença de 10^{-4} M de dodecilamina e (○): hematita na presença de 50 mg/l de amido.⁽¹⁶⁾

As condições ótimas para floculação de hematita por amido são as mesmas condições para a melhor depressão.⁽¹⁷⁾ Para floculação de hematita com amido a máxima seletividade ocorre em pH 10,5.⁽¹⁸⁾ Ravishankar, Pradip e Khosla⁽¹⁸⁾ sugerem que o mecanismo de depressão de hematita por amido se deve a uma forte interação entre a molécula de amido e átomos de Fe na superfície do mineral, baseado na sua compatibilidade estrutural. No plano basal da hematita a distância média entre os átomos de Fe é 2,852 Å. Na molécula de amido a distância entre o átomo de oxigênio do grupo hidroxila mais polarizado e o átomo de oxigênio do grupo hidroxila adjacente é 2,85 Å. Baseado nesta correspondência o modelo proposto considera uma complexação binuclear como a interação predominante entre o amido e a hematita.⁽¹⁸⁾ Esta interação é bastante específica para o plano basal, predominante na hematita lamelar. A adsorção de amido pode não ser tão eficaz nos demais planos, implicando em perda de seletividade para hematitas granulares, o que pode ser objeto de investigação futura.

Para aumentar a seletividade na floculação seletiva de uma mistura de óxido de ferro e caulinita, Ravishankar, Pradip e Khosla⁽¹⁸⁾ relataram o importante papel do silicato de sódio como dispersante. Existe uma dosagem ótima de amido que depende da dosagem do dispersante. Aumentando a concentração de silicato de sódio a dosagem ótima de amido é reduzida.⁽¹⁸⁾ Uma forte evidência da adsorção de silicato polimérico em hematita foi relatado por Gong, Klauber e Warren,⁽¹⁹⁾ para concentrações de silicato de 10^{-3} a 10^{-2} M por litro. Silicatos poliméricos têm um efeito depressor mais intenso do que silicatos monoméricos. A depressão seletiva de hematita em relação à apatita foi obtida em condições de depressão moderada.⁽¹⁹⁾ Em polpas de minério de ferro, a presença de íons Ca^{+2} e Mg^{+2} ocorre comumente através da dissolução de minerais e argilas contendo cálcio e magnésio, podendo também se originar da dureza da água captada.⁽²⁰⁾ Estes cátions são adsorvidos na superfície do quartzo, quer seja sob a forma iônica (Ca^{+2} , Mg^{+2}) ou como hidróxido de manganês (MgOH)₂, causando a coagulação do quartzo. Este efeito é revertido com a adição de silicato de sódio⁽²⁰⁾ ou hexametáfosfato de sódio⁽²¹⁾ que removem os íons Ca^{+2} e Mg^{+2} da superfície do quartzo. Para concentrações de Ca^{+2} e Mg^{+2} da ordem de 10^{-3} M e concentração de silicato de sódio de cerca de 2000 ppm ocorre a precipitação de silicato de cálcio e magnésio na superfície do quartzo. Uma dosagem ainda maior de silicato de sódio remove estes precipitados da superfície.⁽²⁰⁾ Floculação seletiva de goethita em mistura com quartzo, usando amido, é efetiva em baixas (100 ppm), mas não em altas (215 ppm) concentrações de silicato de sódio. Nesta última dosagem a polpa permanece dispersa indiscriminadamente.⁽²⁰⁾ A eficiência da flotação aniônica ou catiônica de quartzo depende fortemente da concentração de cátions tais como Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} na polpa.⁽²¹⁾ A ativação do quartzo para flotação catiônica reversa na presença de cátions metálicos pode ser conseguida utilizando reagentes complexantes que seqüestram estes cátions, formando complexos ou precipitados. Entre estes reagentes estão o hexametáfosfato de sódio, ácido etilenodiamino tetra-acético (EDTA), ácido cítrico, íons inorgânicos (CN^- , F^- , NH_3^+) e organofosfatos.⁽²¹⁾ O hexametáfosfato é bastante usado industrialmente por formar complexos estáveis com cátions alcalino-terrosos e íons férrico. A presença de Mn^{2+} e Ca^{2+} impossibilita a flotação catiônica reversa de quartzo em concentrações de 40 e 10 ppm, respectivamente. O problema pode ser solucionado com a adição de ácido acético ou CO_2 .

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Seis amostras de itabiritos provenientes de diversas minas do quadrilátero ferrífero, em Minas Gerais - Alegria, Brucutu, Cauê, Fábrica Nova, Pico e Vargem Grande, foram tomadas após a classificação industrial em 150 μm . O minério passante em 150 μm foi empalpado em suspensão contendo 25% de sólidos. O pH foi ajustado para 10 e a polpa foi mantida sob agitação por 5 minutos. Após este período o agitador foi desligado e a polpa foi deixada sedimentar por 15 minutos, após o que o sobrenadante foi sifonado. Este procedimento foi executado no mínimo duas vezes. Após o segundo estágio de deslamagem, a amostra deslamada foi analisada em um granulômetro a laser Cilas 920, aceitando-se no máximo 4,5% de partículas menores do que 10 μm . Sub amostras de 2.060 g de minério foram adicionadas a uma célula mecânica de 2,6 litros, gerando uma concentração de 50% de sólidos. As demais condições usadas para os ensaios de flotação são apresentadas na Tabela 1. A polpa foi condicionada com amido por 3 minutos, e logo após foi adicionada a amina Clariant EDA-C, que foi condicionada por 1 minuto. O ensaio de

flotação prosseguiu até a exaustão do flutuado. As massas de alimentação, concentrado e rejeito foram pesadas e uma alíquota foi enviada para análise química. Nos ensaios com dispersantes, hexametáfosfato de sódio e poliacrilato de sódio, estes foram adicionados após o condicionamento do amido e antes do condicionamento da amina.

Tabela 1 – Condições usadas para os ensaios de flotação

Minério	pH	[amina] (g/t)	[amido] (g/t)
Alegria	10,7	125	1000
Brucutu	10,2	260	550
Cauê	10,7	250	700
Fábrica Nova	10,5	150	500
Pico	10,7	120	600
Vargem Grande	10,3	150	800

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 7 e 8 apresentam, respectivamente, a variação na recuperação de Fe em pontos percentuais, em função da dosagem de hexametáfosfato de sódio e poliacrilato de sódio. A presença do polieletrólito aumenta a recuperação de Fe em todos os casos, exceto para o minério de Vargem Grande. Os maiores aumentos em recuperação de Fe foram encontrados para os minérios do Pico, Alegria, Brucutu, Fábrica Nova e Cauê. O aumento na recuperação de Fe pode ser explicado pela redução na atração eletrostática entre o quartzo e a hematita. No pH utilizado para a flotação, o potencial zeta do quartzo condicionado com amina é aproximadamente +10 mV, enquanto o potencial zeta da hematita condicionada com amido é aproximadamente -20 mV, conforme resultados mostrados nas Figuras 4 e 5. Foi encontrado, como efeito adverso, uma tendência de aumento no teor de SiO₂ no concentrado, com o aumento na dosagem de polieletrólito, como mostram as Figuras 9 e 10, exceto para o minério do Pico, para o qual houve uma diminuição no teor de sílica no concentrado, principalmente com a utilização de poliacrilato de sódio. Este efeito positivo da redução no teor de SiO₂ no concentrado pode ser devido à ativação do quartzo pela remoção de cobertura de lamelas ou cátions adsorvidos.⁽²¹⁾ De um modo geral, a seletividade da flotação foi aumentada com o uso de polieletrólitos, em baixas dosagens. A compreensão do que causa o aumento no teor de SiO₂ no concentrado é um campo de pesquisa interessante, porque uma vez evitado este efeito adverso, o polieletrólito poderia ser usado em concentrações maiores, possibilitando aumentar ainda mais a recuperação de Fe. O presente trabalho não pretende esgotar este tema, mas apresentar algumas possibilidades, que são discutidas a seguir.

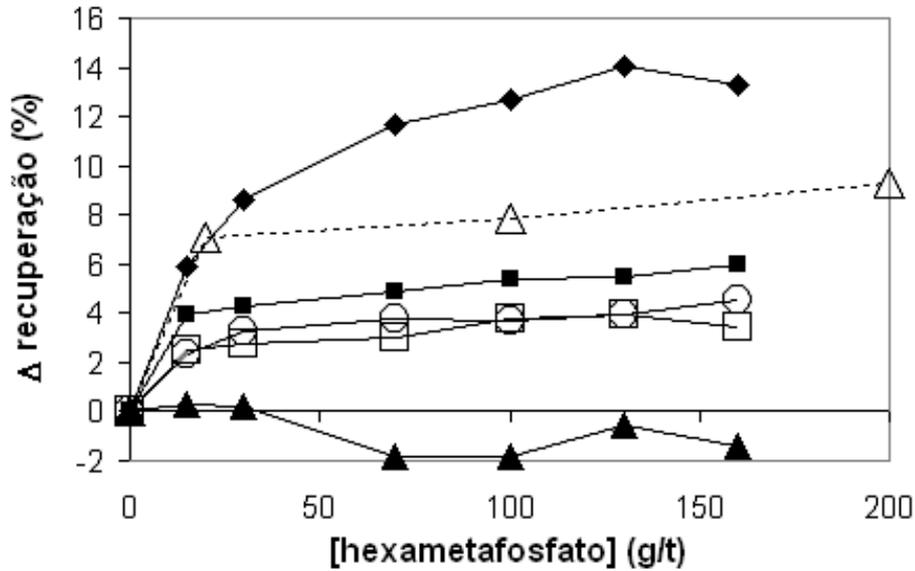


Figura 7 – Variação na recuperação de Fe em função da dosagem de hexametáfosfato de sódio, para os minérios (◆): Pico, (△): Alegria, (○): Fábrica Nova, (■): Brucutu, (□): Cauê e (▲): Vargem Grande.

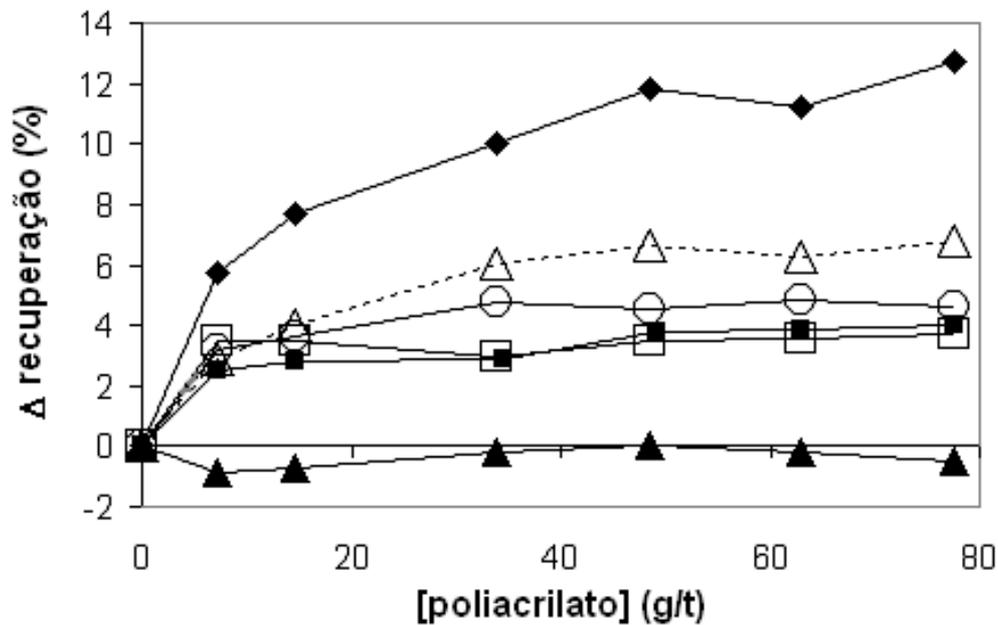


Figura 8 – Variação na recuperação de Fe em função da dosagem de poliacrilato de sódio, para os minérios (◆): Pico, (△): Alegria, (○): Fábrica Nova, (■): Brucutu, (□): Cauê e (▲): Vargem Grande.

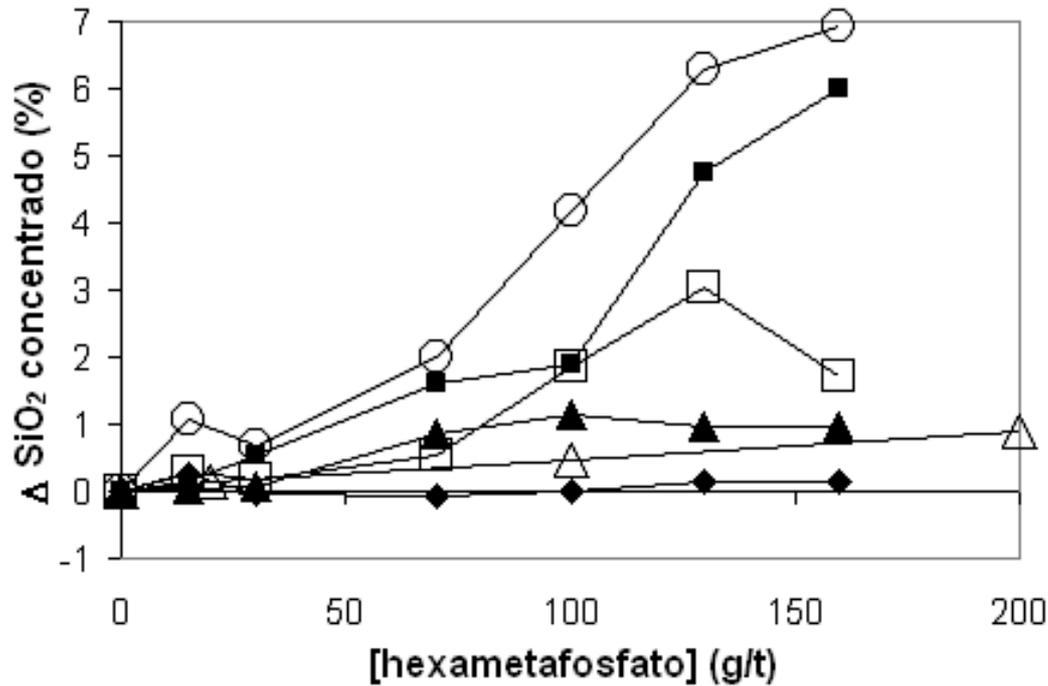


Figura 9 – Variação no teor de SiO₂ no concentrado em função da dosagem de hexametáfosfato de sódio, para os minérios (◆): Pico, (△): Alegria, (○): Fábrica Nova, (■): Brucutu, (□): Cauê e (▲): Vargem Grande.

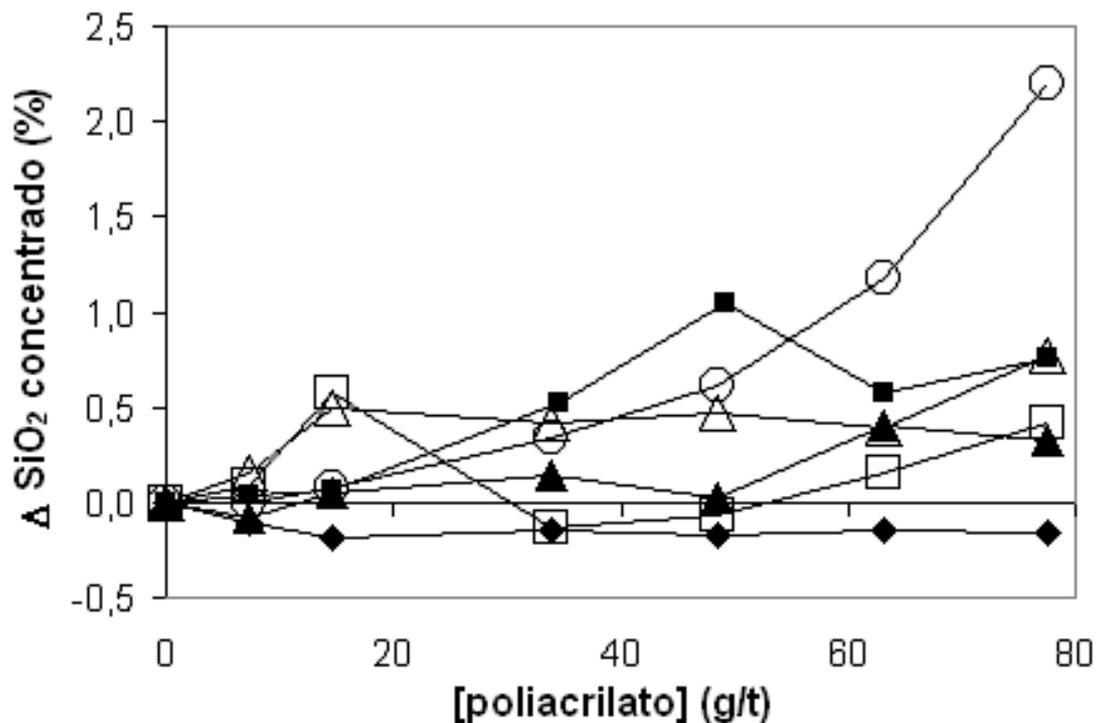


Figura 10 – Variação no teor de SiO₂ no concentrado em função da dosagem de poliacrilato de sódio, para os minérios (◆): Pico, (△): Alegria, (○): Fábrica Nova, (■): Brucutu, (□): Cauê e (▲): Vargem Grande.

Os fenômenos de agregação - heterocoagulação e floculação sempre ocorrem concomitantemente com a flotação, pois todas as forças discutidas nestes estudos, relacionados à interação eletrostática, forças de Van der Waals, ponte de hidrogênio

e floculação hidrofóbica continuam atuando nas condições de flotação. É natural, portanto, esperar que eles influenciem os resultados da flotação. A formação de cachos de bolhas unidas por partículas hidrofóbicas,⁽¹⁾ já citada anteriormente, também vai impactar no desempenho da flotação. Outra forma de interação entre partículas ocorre quando mais do que uma partícula é coletada pela mesma bolha. Um efeito desta interação, por exemplo, é a influência que a distribuição do tamanho das partículas flotáveis tem sobre a recuperação de uma classe específica de tamanho. Este efeito ocorre através da carga de cada bolha, ou seja, da massa transportada por esta bolha, que afeta a tensão entre a bolha e as partículas aderidas a esta, e consequentemente afeta a estabilidade do agregado bolha-partícula.⁽⁹⁾ A Figura 11 mostra que a recuperação de sílica na espuma, aqui denominada de remoção de SiO₂ para evitar confundir com a recuperação de Fe, é função do teor de sílica na alimentação. Bolhas mais carregadas movem-se a uma velocidade menor, favorecendo a adesão de partículas mais fracamente hidrofóbicas ou mesmo favorecendo a adesão eletrostática entre o quartzo com carga elétrica positiva e a hematita com carga elétrica negativa. Bolhas altamente carregadas com quartzo hidrofóbico tornam-se assim um núcleo onde a adesão eletrostática da hematita é facilitada e os agregados formados são mais estáveis,⁽⁹⁾ o que é corroborado pelos resultados apresentados na Figura 12, que mostra a recuperação de Fe em função do teor de sílica na alimentação da flotação. A recuperação de Fe diminui à medida que o teor de sílica na alimentação aumenta. Parte da hematita que é flutuada é levada por atração eletrostática e isto explica o ganho em recuperação de Fe com o uso de polieletrólito. Parte da perda de hematita na espuma se deve a outros fatores, tais como a possível deficiência na depressão de hematita fora do plano basal e ao possível arraste mecânico de partículas finas aprisionadas na espuma e transportadas não seletivamente para o rejeito. Por sua vez, o aumento na recuperação de Fe, obtido com o uso de polieletrólitos é diretamente proporcional ao teor de sílica na alimentação da flotação (Figura 13).

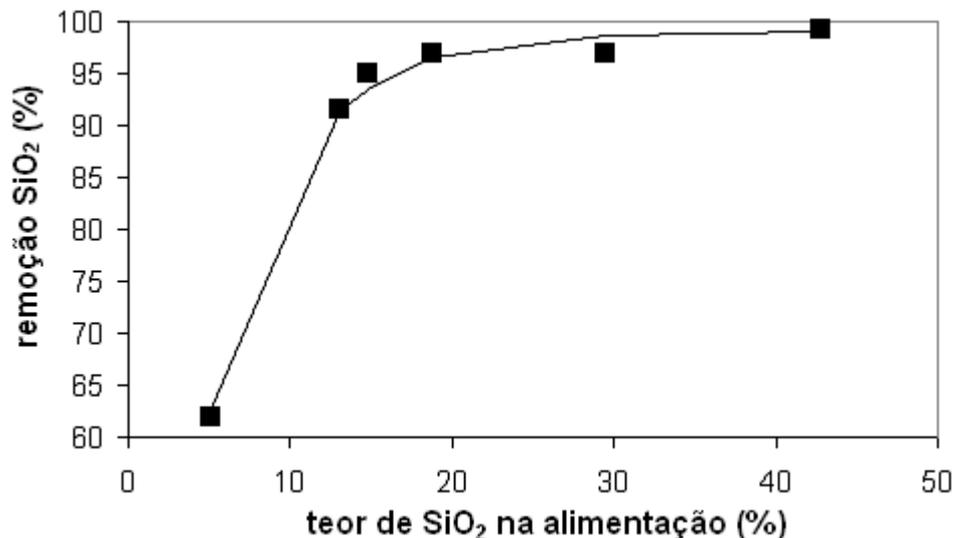


Figura 11 – Remoção de sílica no concentrado em função do teor de sílica na alimentação.

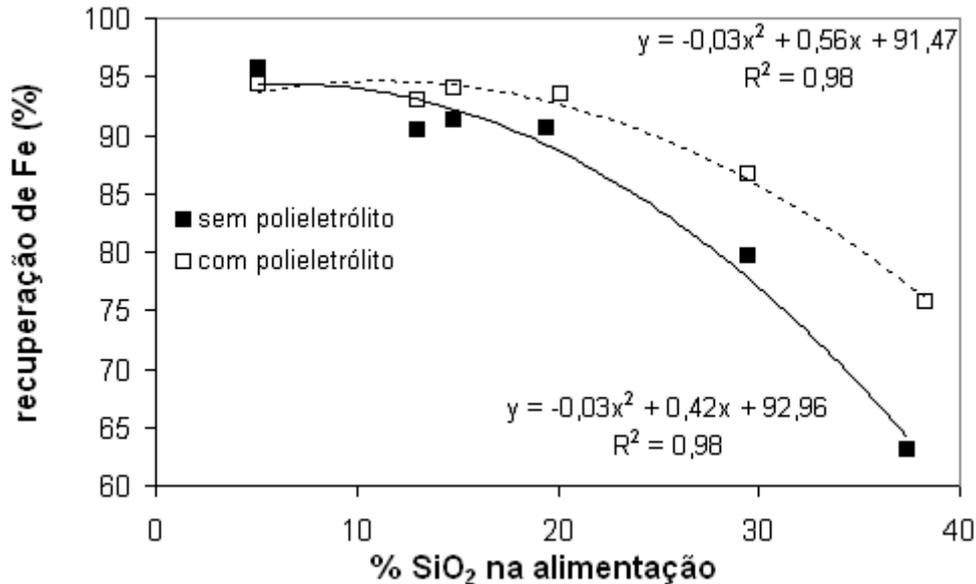


Figura 12 – Recuperação de Fe em função do teor de sílica na alimentação da flotação (□): na presença e (■): na ausência de polieletrólitos.

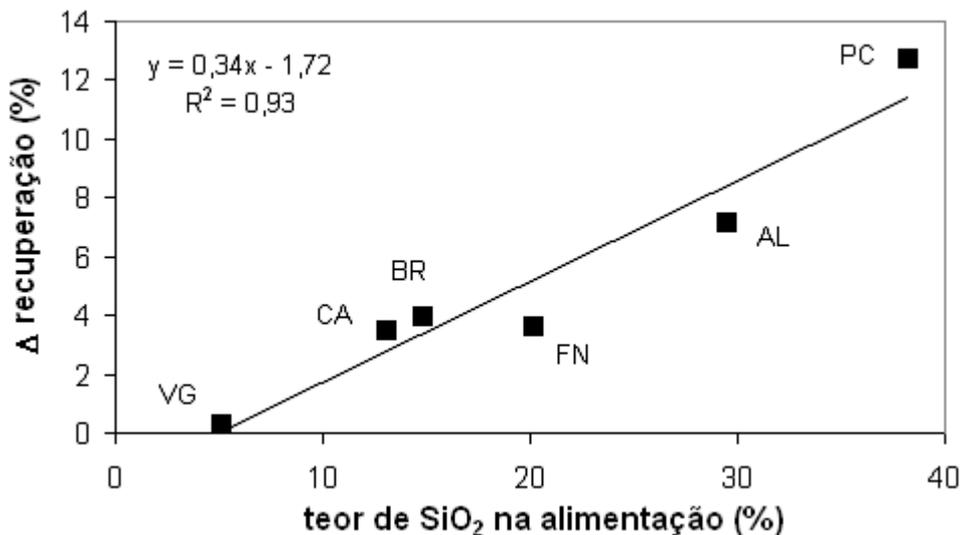


Figura 13 – Aumento na recuperação de Fe em função do teor de sílica na alimentação da flotação com o uso de polieletrólitos.

Os resultados mostrados nas Figuras 12 e 13 foram obtidos com o polieletrólito que proporcionou a maior seletividade. Para os minérios do Pico, Fábrica Nova e Cauê os melhores resultados foram obtidos com o poliacrilato de sódio, enquanto que para os minérios de Alegria, Brucutu e Vargem Grande o hexametáfosfato de sódio gerou os melhores resultados. A tendência de aumento no teor de sílica no concentrado pode estar relacionada ao estado de maior dispersão da polpa, reduzindo a carga das bolhas e conseqüentemente reduzindo a estabilidade dos agregados bolha-partícula.⁽⁹⁾

Para validar industrialmente estes resultados obtidos em bancada foi realizado um teste industrial na mina de Alegria dosando 40 g/t de hexametáfosfato de sódio. O aumento médio na recuperação metalúrgica durante o teste industrial foi de 6,6%. O teor de sílica no concentrado aumentou em média 0,31%. No último período de teste

foi obtido um aumento de 6,6% na recuperação de Fe, com um ligeiro aumento de 0,05 % no teor de sílica no concentrado.

4 CONCLUSÕES

Nas condições presentes durante a flotação catiônica reversa de quartzo em minério de ferro, ocorre atração eletrostática entre o quartzo e a hematita, o que causa uma perda de Fe na espuma. O uso de dispersantes como o hexametáfosfato de sódio e o poliácrlato de sódio pode aumentar a recuperação de Fe e a seletividade da flotação. Foram obtidos aumentos na recuperação metalúrgica que variaram entre 0,3% a 12,7%, sendo este valor diretamente proporcional ao teor de sílica na alimentação. Um teste de validação industrial na mina de Alegria comprovou as conclusões obtidas em escala de bancada, resultando em um aumento de 6,6% na recuperação metalúrgica.

REFERÊNCIAS

- 1 ATA, S.; JAMESON, G. J. The formation of bubble clusters in flotation cells. *International Journal of Mineral Processing*, v. 76, p. 123-139, 2005.
- 2 LANGE, A. G.; SKINNER, W. M.; SMART, R. St. C. Fine:coarse particle interactions and aggregation in sphalerite flotation. *Minerals engineering*, v. 10, n. 7, p. 681-693, 1997.
- 3 YATES, P. D.; FRANKS, G. V.; BIGGS, S.; JAMESON, G. Heteroaggregation with nanoparticles: effect of particle size ratio on optimum particle dose. *Colloids and surfaces A: Physicochemical engineering aspects*, v. 255, p. 85-90, 2005.
- 4 LU, S.; SONG, S. X.; DAI, Z. F. Dispersion of fine mineral particles in water. *Advanced powder technology*, v. 3, n. 2, p. 89-96, 1992.
- 5 MATHUR, S.; SINGH, P.; MOUDGIL, B. M. Advances in selective flocculation technology for solid-solid separations. *International journal of Mineral processing*, v. 58, p. 201-222, 2000.
- 6 PUGH, R.; LU, S. Coagulation, heterocoagulation and practical coagulation. *Studies in interface science*, v. 20, p. 290-353.
- 7 PASCOE, R. D.; WILLS, B. A. Selective aggregation of ultrafine hematite and quartz under high shear conditions with conventional flotation collectors. *Minerals engineering*, v. 7, n. 5-6, p. 647-656, 1994.
- 8 LU, S.; SONG, S. Hydrophobic interaction in flocculation and flotation 1. Hydrophobic flocculation of fine mineral particles in aqueous solution. *Colloids and surfaces*, v. 57, p. 49-60, 1991.
- 9 GONTIJO, C. de F. Coarse particle flotation. Tese (Doutorado em ciência aplicada – minérios e ciências dos materiais) – Ian Wark Research Institute. Adelaide: University of South Australia, 2009.
- 10 FINCH, J. A. Column flotation: a selected review – part IV: novel flotation devices. *Minerals engineering*, v. 8, n. 6, p. 587-602, 1995.
- 11 NEETHLING, S. J.; CILLIERS, J. J. Simulation of the effect of froth washing on flotation performance. *Chemical engineering science*, v. 56, p. 6303-6311, 2001.
- 12 NEETHLING, S. J.; HADLER, K.; CILLIERS, J. J.; STRADLING, A. W. The use of FrothSim to optimize the water addition to a column flotation cell. *Minerals engineering*, v. 19, p. 816-823, 2006.
- 13 DEGNER, V. R.; PERSON, P. L. Leeds column performance evaluation. *Minerals engineering*, v. 4, n. 7-11, p. 935-950, 1991.
- 14 ARAÚJO, A. C.; VIANA, P. R. M.; PERES, A. E. C. Reagents in iron ore flotation. *Minerals engineering*, v. 18, p. 219-224, 2005.



- 15 MONTES-SOTOMAYOR, S.; HOUOT, R.; KONGOLO, M. Flotation of silicated gangue of iron ores: mechanism and effect of starch. *Minerals engineering*, v. 11, n. 1, p. 71-76, 1998.
- 16 LIU, Q.; WANNAS, D.; PENG, Y. Exploiting the dual functions of polymer depressants in fine mineral flotation. *International journal of mineral processing*, v. 80, p. 244-254, 2006.
- 17 IWASAKI, I.; LAI, R. W. Starches and starch products as depressants in soap flotation of activated silica from iron ores. *Transactions AIME*, v. 232, p. 364-371, 1965.
- 18 RAVISHANKAR, S. A.; PRADIP, KHOSLA, N. K. Selective flocculation of iron oxide from its synthetic mixtures with clays: a comparison of polyacrylic acid and polymers. *International journal of mineral processing*, v. 43, p. 235-247, 1995.
- 19 GONG, W. Q.; KLAUBER, C.; WARREN, L. J. Mechanism of action of sodium silicate in the flotation of apatite from hematite. *International journal of mineral processing*, v. 39, p. 251-273, 1993.
- 20 KRISHNAN, S. V.; IWASAKI, I. Pulp dispersion in selective desliming of iron ores. *International journal of mineral processing*, v. 12, p. 1-13, 1984.
- 21 DRZYMALA, J.; FUERSTENAU, D.W. Selective Flocculation of hematite in the hematite-quartz-ferric ion-polyacrylic acid system. Part 1, activation and deactivation of quartz. *International Journal of Mineral Processing*, v. 8, p. 265-277, 1981.