

ADEQUAÇÃO DA DOSAGEM DO DEPRESSOR AMIDO NA FLOTAÇÃO REVERSA DE MINÉRIO DE FERRO DA USINA DE CONCENTRAÇÃO DE BRUCUTU¹

Gunter Lipper²
Nilson Nedes de Paula³
Cristiano Geraldo de Sales²
Bruno Carvalho Batista Silva⁴
Antônio Eduardo Pereira⁵
André Fonseca Silveira⁶
Aloisio Fonseca⁴
José Benedito Roberto⁷

Resumo

O amido é utilizado como depressor em todas as instalações brasileiras, contudo grandes empresas do ramo químico vêm desenvolvendo e estudando outros tipos de depressores sintéticos para esta aplicação. O depressor é um dos reagentes que mais influenciam na recuperação metalúrgica do processo de flotação. O processo de flotação reversa de minério de ferro da Usina de concentração de Brucutu é constituído por quatro estágios de concentração: rougher, cleaner, recleaner e scavenger. O concentrado final é produzido no estágio recleaner e o rejeito final no estágio scavenger, do qual seu teor, até a data de realização do primeiro teste industrial, era 22% de Fe. Objetivando otimizar a performance da flotação e conseqüente redução do teor de Fe no rejeito para teores inferiores a 15%, um estudo preliminar em bancada foi realizado com diferentes dosagens do amido além de testar outro depressor alternativo como suplemento e complemento do depressor atual, classificado como polímero poliamina – poliamida de baixo peso molecular. Após a obtenção de resultados satisfatórios em escala de bancada, testes em escala industrial indicaram que o aumento da dosagem de amido em torno de 1000 g/t de alimentação nova, apresenta considerável ganho de recuperação metalúrgica sem afetar a qualidade do concentrado.

Palavras-chave: Flotação; Amido; Depressor; Rejeito.

DOSAGE ADEQUATION OF THE DEPRESSOR CORN STARCH IN THE REVERSE FLOTATION OF IRON ORE OF THE BRUCUTU CONCENTRATION PLANT

Abstract

The corn starch is used as the depressor in all Brazilians installations, however big companies of the chemistry business have been developing and studying other types of synthetic depressors for such application. The depressor is one of the reagents that the most makes influence in the metallurgical recovery in the flotation process. The reverse flotation process of iron ore of the Brucutu concentration plant is consisted by four concentration stages: rougher, cleaner, recleaner and scavenger. The final concentrate is produced in the recleaner stage and the final tailings produced by the scavenger, which the Fe content, up to the date of the first industrial scale test work, used to be 22%. Aiming to optimize the flotation performance and the following Fe content reduction in the tailings to values below 15%, a preliminary study in bench scale was carried out with different corn starch dosages besides to test another alternative depressor as supplement or complement of the one in use, classified as polyamine – polystarch polymer of low molecular weight. After satisfactory results obtained in bench test work scale, industrial scale test works indicated that with the corn starch dosage increase to around 1000 g/t of new feed, shows considerable metallurgical recovery increase without affect the concentrate quality.

Key words: Flotation; Corn starch; Depressor; Tailings.

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 Engenheiro de Processo, Gerência de Engenharia de Processo - GAEHS, Minas Centrais, Vale.

³ Engenheiro de Processo, Gerência de Desenvolvimento de Processo - GADMF, Vale.

⁴ Engenheiro de Produção, Gerência de Operação de Usina - GAUBS, Mina de Brucutu, Vale.

⁵ Técnico Especializado, Gerência de Operação de Usina - GAUBS, Mina de Brucutu, Vale.

⁶ Engenheiro de Processo, Gerência de Operação de Usina - GAUBS, Mina de Brucutu, Vale.

⁷ MSC, Supervisor Processo de Curto Prazo, Gerência Operação de Usina - GAUBS, Mina de Brucutu, Vale.

1 INTRODUÇÃO

A flotação é um dos processos mais importantes na área de concentração de minério de ferro, pois é utilizada com sucesso na recuperação de partículas minerais portadoras de ferro consideradas finas, ou seja abaixo de 150 μm , produzindo um concentrado final mais conhecido por pellet feed. A seletividade entre as espécies minerais na flotação está baseada no conceito das propriedades interfaciais, ou seja, a afinidade ou não entre as partículas e a água. A maior parte das espécies minerais são naturalmente hidrofílicas, sendo necessária, na maioria dos casos, a adição de substâncias químicas a fim de tornar uma das espécies hidrofóbica. Essas substâncias são denominadas reagentes, dentre os quais estão os depressores, coletores e espumantes.

No caso do minério de ferro é realizada a flotação catiônica reversa, em que a espécie útil é deprimida, saindo por underflow. Portanto, estudos conduzidos sobre a quantificação e o tipo de depressor são importantes.

A flotação é responsável por parcela significativa da produção. Atualmente, na flotação catiônica reversa de minério de ferro, o amido é utilizado como depressor em todas as instalações brasileiras. Contudo grandes empresas do ramo químico vêm desenvolvendo e estudando outros tipos de depressores sintéticos para esta aplicação. O depressor é um dos reagentes adicionados na flotação que mais influenciam na recuperação metalúrgica do processo.⁽¹⁾

As grandes perdas nesse processo estão ligadas à indesejável perda de partículas finas para rejeito. Leja⁽²⁾ suspeita que a intensidade de adsorção do amido em partículas minerais finas seja menor do que em partículas minerais grossas. Esse fato contribuiria, então, para o arraste de partículas de minerais de ferro para o flotado, tendo como consequência indesejável a diminuição tanto da recuperação metalúrgica quanto da área superficial específica do concentrado. Essa suspeita se basearia no fato de que partículas com maior área superficial exibiriam maior número de sítios para ancoramento da molécula do reagente, tornando a adsorção mais intensa. Contudo, essa observação é questionável se levarmos em consideração que, por menor que seja a área superficial de uma partícula numa flotação industrial, ainda assim, será muito maior que a molécula do depressor.

Leja⁽²⁾ ainda afirma que a ação flocculante também é fundamental para a recuperação de partículas de menor granulometria no afundado, através da formação de flocos que são mais facilmente deprimidos. Nesse ponto deve-se destacar que o condicionamento de amido na polpa mineral é feito numa condição favorável para a estabilidade do sistema, pois o amido, gelatinizado com soda, aumenta drasticamente o pH da polpa, elevando a dispersão do sistema. Quanto menor a partícula, maior será esse efeito e, desse modo, mais difícil a recuperação delas no afundado. A escolha do depressor não deve ser baseada somente em sua performance, mas também por fatores externos como, preço, disponibilidade, biodegradabilidade, toxicidade, além de variáveis de processo, como características do minério e do coletor, entre outras.

O processo de flotação da Usina de Brucutu é constituído por quatro estágios de concentração: rougher, cleaner, recleaner e scavenger. O concentrado final do circuito é produzido no estágio recleaner e o rejeito final no estágio *scavenger* (Figura 1).

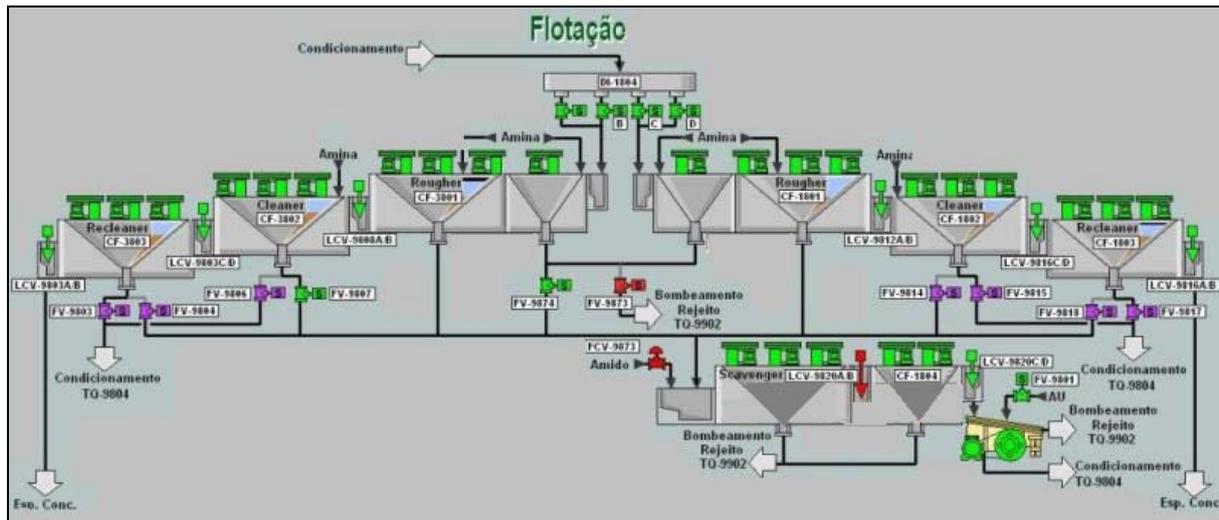


Figura 1 – Circuito atual de flotação de Brucutu.

Atualmente o consumo de amido e amina são, respectivamente, de 500 g/t de alimentação nova e 250 g/t de SiO₂. Visando otimizar o processo, foram realizados testes de flotação em bancada, inicialmente com um depressor alternativo classificado como polímero poliamina-poliamida de baixo peso molecular. A seguir foram realizados testes com a dosagem de amido variando em torno de 1000g/t de alimentação nova, mantendo a dosagem de amina fixa em 250g/t de SiO₂. Quando realizado em escala industrial o aumento da dosagem de amido apresentou considerável ganho em recuperação metalúrgica sem afetar a qualidade do concentrado final.⁽³⁾

2 OBJETIVO

Adequar a dosagem de amido para alcançar teor de Fe no rejeito da flotação abaixo de 15%.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo completo de adequação da dosagem de amido foi dividido em duas fases, sendo a primeira em escala de bancadas e a segunda em escala industrial. O estudo preliminar em bancada foi realizado com diferentes dosagens do amido além de testar outro depressor alternativo como suplemento e complemento do depressor atual, classificado como polímero poliamina-poliamida de baixo peso molecular. As amostras utilizadas foram da alimentação da flotação coletadas nos condicionadores sem adição de amido. Os testes de bancada foram realizados em célula de bancada da fabricante Denver.

O planejamento dos testes em bancada está descrito na Tabela 1.

Tabela 1 – Planejamento do ensaio: relação amido/depressor alternativo

| Amostra | Amina (g/t SiO ₂) | Amido + Depressor Alternativo (g/t de alim.) | pH |
|---------|-------------------------------|--|------|
| 01 | 250 | 500 + 0 | 9,76 |
| 02 | 250 | 300 + 200 | 9,80 |
| 03 | 250 | 400 + 100 | 9,86 |
| 04 | 250 | 500 + 50 | 9,77 |
| 05 | 250 | 500 + 150 | 9,82 |
| 06 | 250 | 500 + 250 | 9,75 |
| 07 | 250 | 750 + 0 | 9,70 |
| 08 | 250 | 1000 + 0 | 9,73 |

Os critérios utilizados para avaliação dos resultados dos testes foram os seguintes:

- o teste 01 será o parâmetro comparativo para os demais testes, uma vez que possui em média as mesmas variáveis operacionais praticadas na rotina industrial;
- o concentrado de todos os testes deverão apresentar %SiO₂ igual ou menor que 0,8% (LSE para produção de pellet feed tipo especial ou para redução direta);
- os indicadores comparativos para conclusão dos resultados serão: recuperação mássica e metalúrgica; e
- os testes simularam as etapas rougher, cleaner e recleaner. Sendo assim, a recuperação mássica global foi estimada em função dos ganhos apresentados nas etapas supracitadas.

Para confirmação dos resultados obtidos no primeiro teste em bancada, um teste industrial foi efetuado e também foram feitas análises da operação nas condições com 550 g/t e 750 g/t (a ser melhor comentado a seguir), sendo necessários novos testes em bancada dos quais os seguintes critérios foram adotados:

- utilizar solução de soda a 50% de concentração (modificação sendo adotada na época pela operação de Usina) na gelatinização do amido;
- coletar e utilizar o amido de Brucutu, com o intuito de garantir a utilização do mesmo tipo de amido;
- utilizar Flocculan para modular o pH;
- utilizar amina EDA;
- % de sólidos = 50%;
- a preparação do amido e da amina será realizada conforme procedimento do CPT de Itabira; e
- todos os testes serão realizados com flotação até a exaustão (Rougher, Cleaner e Recleaner).

4 RESULTADOS E CONCLUSÕES

A Tabela 2 mostra os resultados obtidos nos testes em bancada.

Tabela 2 – Resultados dos ensaios em bancada

| Amostra | Amina (g/t SiO ₂) | Amido + Depressor Alternativo (g/t de alim.) | pH | Fluxo | Análise Química | | | | | Recuperação | |
|---------|-------------------------------|--|------|-------|-----------------|----------------------|-------|------------------------------------|--------|-------------|-----------------|
| | | | | | Fe (%) | SiO ₂ (%) | P (%) | Al ₂ O ₃ (%) | Mn (%) | Mássica (%) | Metalúrgica (%) |
| 01 | 250 | 500 + 0 | 9,76 | CONC | 67,82 | 0,79 | 0,031 | 0,700 | 0,023 | 39,57 | 54,60 |
| | | | | REJ | 44,42 | 35,09 | 0,013 | 0,610 | 0,012 | | |
| 02 | 250 | 300 + 200 | 9,80 | CONC | 66,49 | 1,47 | 0,052 | 1,190 | 0,036 | 28,57 | 37,89 |
| | | | | REJ | 49,40 | 27,14 | 0,011 | 0,510 | 0,010 | | |
| 03 | 250 | 400 + 100 | 9,86 | CONC | 67,37 | 1,04 | 0,042 | 0,910 | 0,030 | 34,29 | 43,02 |
| | | | | REJ | 47,94 | 29,40 | 0,011 | 0,540 | 0,013 | | |
| 04 | 250 | 500 + 50 | 9,77 | CONC | 67,74 | 0,84 | 0,032 | 0,720 | 0,024 | 40,14 | 50,04 |
| | | | | REJ | 45,90 | 32,61 | 0,012 | 0,570 | 0,011 | | |
| 05 | 250 | 500 + 150 | 9,82 | CONC | 68,11 | 0,72 | 0,032 | 0,720 | 0,023 | 39,69 | 49,27 |
| | | | | REJ | 45,96 | 31,94 | 0,013 | 0,550 | 0,012 | | |
| 06 | 250 | 500 + 250 | 9,75 | CONC | 68,15 | 0,64 | 0,031 | 0,700 | 0,024 | 41,32 | 50,45 |
| | | | | REJ | 45,59 | 32,46 | 0,012 | 0,540 | 0,011 | | |
| 07 | 250 | 750 + 0 | 9,7 | CONC | 68,71 | 0,55 | 0,021 | 0,460 | 0,018 | 60,50 | 75,84 |
| | | | | REJ | 33,40 | 49,69 | 0,019 | 0,860 | 0,015 | | |
| 08 | 250 | 1000 + 0 | 9,73 | CONC | 68,39 | 0,67 | 0,019 | 0,410 | 0,016 | 63,93 | 80,92 |
| | | | | REJ | 29,63 | 55,44 | 0,020 | 0,960 | 0,016 | | |

Da Tabela 2 podemos concluir que:

- a utilização do depressor alternativo tipo polímero poliamina-poliâmida de baixo peso molecular complementando e suplementando a dosagem de amido não trouxe nenhum tipo de ganho ao processo de flotação;
- a dosagem de amido entre 750 g/t e 1.000 g/t apresentou ganhos significativos de recuperação mássica e metalúrgica; e
- foi observado que para a condição do amido em 1.000 g/t pode-se obter ganho com a redução da carga circulante atual, ou seja, viabiliza a criação de opções para envio dos fluxos de rejeito das etapas cleaner e recleaner para a etapa scavenger.

Resumindo, os resultados dos testes em bancada mostraram a inviabilidade do uso do depressor alternativo e indicaram que o aumento do amido, para patamares em torno de 1.000 g/t de alimentação nova, apresenta considerável ganho de recuperação metalúrgica sem afetar a qualidade do concentrado final.

Além da viabilidade técnica mostrada pelos ensaios, a viabilidade econômica deve ser levada em consideração, uma vez que esse fator é de extrema importância na implantação de qualquer projeto.

Ao aplicar dosagens de amido entre 750 g/t e 1.000 g/t, espera-se um aumento no lucro operacional anual na ordem de 27,6 e 42,0 milhões de reais pelo aumento da produção anual de PF na ordem de 363 e 581 mil toneladas, respectivamente.

Após a obtenção de resultados satisfatórios em escala de bancada, testes em escala industrial indicaram que o aumento do amido, para patamares em torno de 1.000 g/t de alimentação nova, apresenta considerável ganho de recuperação metalúrgica sem afetar a qualidade do concentrado final. Além disso, devido a uma mudança ocorrida na flotação causada pela condição com dosagem maior de amido, uma nova rota de tratamento dos fluxos teve que ser necessariamente desenvolvida

para viabilizar a futura operação nesta condição, da qual esta foi a necessidade de direcionar o rejeito das etapas cleaner e recleaner para a scavenger, afim de evitar a saturação destas etapas com o quartzo recirculado na etapa rougher como previsto pelos testes em bancada.

Para evidenciar esta situação, foram coletadas amostras dos rejeitos da rougher, cleaner e recleaner para avaliação (a coleta do U/F das peneiras de alta frequência foi inviável) do qual o resultado é evidenciado na Tabela 3.

Tabela 3 – Análise das amostras de rejeito da flotação

| Fluxo | Análise Química | | | |
|-------------------|-----------------|----------------------|-------|------------------------------------|
| | Fe (%) | SiO ₂ (%) | P (%) | Al ₂ O ₃ (%) |
| Rejeito Rougher | 32,43 | 50,48 | 0,023 | 1,760 |
| Rejeito Cleaner | 16,49 | 73,84 | 0,011 | 0,415 |
| Rejeito Recleaner | 16,04 | 74,85 | 0,010 | 0,337 |

Em função dos resultados dos testes em bancada e industrial até então já apresentados, a Operação tomou a decisão de operar com 750 g/t de amido por um longo período avaliando-se a performance da flotação frente a este aumento e aguardar a operacionalização do circuito sugerido acima.

O resultado disto é apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Média de resultados industriais no período de 01/01/2010 a 14/04/2010

| Dosagem de Amido (g/t de alim.) | Dosagem de Amina (g/t SiO ₂) | Fe (%) AL da Flotação | RM (%) da Flotação | Fe (%) Rej da Flotação | RM (%) da Usina |
|---------------------------------|--|-----------------------|--------------------|------------------------|-----------------|
| 558 | 237 | 54,65 | 72,38 | 17,91 | 73,91 |
| 731 | 271 | 55,16 | 73,53 | 17,62 | 74,44 |
| Variação | 34 | 0,51 | 1,15 | -0,29 | 0,53 |

Dos resultados acima, nota-se que houve ganho de 1,15% na recuperação mássica da flotação e conseqüentemente um ganho de 0,53% na recuperação da usina.

Por outro lado, ocorreu uma variação no teor de Fe na alimentação da flotação nas duas condições de operação, perturbando uma análise crítica mais apurada, sendo assim necessária a realização de um novo teste em bancada varrendo as duas condições dentro de uma mesma pilha para conclusão do trabalho.

Logo, três amostras de alimentação da flotação foram coletadas de três pilhas de homogeneização diferentes com intuito de abranger uma maior variabilidade nas amostras. Os resultados são apresentados nas Tabelas 5, 6 e 7.

Tabela 5 – Resultado dos testes com amostra 01

| Amostra / Teste | Amina (g/t SiO ₂) | Amido (g/t de alim.) | Fluxo | Análise Química | | | | | Recuperação | |
|-----------------|-------------------------------|----------------------|-------|-----------------|----------------------|-------|------------------------------------|------|-------------|--------------|
| | | | | Fe (%) | SiO ₂ (%) | P (%) | Al ₂ O ₃ (%) | PPC | Mássica (%) | Metálica (%) |
| 1/1 | 250 | 500 | CONC | 67,70 | 0,86 | 0,020 | 0,360 | 0,94 | 60,55 | 75,37 |
| | | | REJ | 33,96 | 48,78 | 0,015 | 0,680 | 0,94 | | |
| 1/2 | 250 | 750 | CONC | 67,99 | 1,00 | 0,020 | 0,360 | 1,16 | 57,54 | 71,93 |
| | | | REJ | 35,96 | 46,81 | 0,020 | 0,800 | 0,88 | | |
| 1/3 | 250 | 1000 | CONC | 67,18 | 2,74 | 0,020 | 0,360 | 0,69 | 64,33 | 79,46 |
| | | | REJ | 31,32 | 52,94 | 0,021 | 0,860 | 1,29 | | |
| 1/4 | 150 | 500 | CONC | 67,31 | 2,62 | 0,020 | 0,380 | 0,92 | 66,71 | 82,56 |
| | | | REJ | 28,50 | 57,78 | 0,019 | 0,920 | 1,12 | | |
| 1/5 | 150 | 750 | CONC | 67,40 | 2,02 | 0,022 | 0,450 | 0,88 | 67,65 | 83,84 |
| | | | REJ | 27,18 | 59,96 | 0,019 | 0,860 | 0,75 | | |
| 1/6 | 150 | 1000 | CONC | 66,98 | 1,97 | 0,018 | 0,360 | 0,89 | 68,27 | 84,07 |
| | | | REJ | 27,30 | 59,42 | 0,019 | 0,850 | 1,45 | | |

Nota-se que ao aumentar de 500 g/t para 750 g/t de amido não ocorreu aumento das recuperações. Contudo, com o aumento para 1.000 g/t o aumento das recuperações ocorre e é significativo, entretanto comprometendo a qualidade do concentrado.

Tabela 6 – Resultado dos testes com amostra 02

| Amostra / Teste | Amina (g/t SiO ₂) | Amido (g/t de alim.) | Fluxo | Análise Química | | | | | Recuperação | |
|-----------------|-------------------------------|----------------------|-------|-----------------|----------------------|-------|------------------------------------|------|-------------|--------------|
| | | | | Fe (%) | SiO ₂ (%) | P (%) | Al ₂ O ₃ (%) | PPC | Mássica (%) | Metálica (%) |
| 2/1 | 250 | 500 | CONC | 68,00 | 0,95 | 0,015 | 0,350 | 0,57 | 54,65 | 70,01 |
| | | | REJ | 35,10 | 47,31 | 0,014 | 0,750 | 0,70 | | |
| 2/2 | 250 | 750 | CONC | 67,98 | 1,04 | 0,013 | 0,290 | 0,48 | 58,66 | 75,12 |
| | | | REJ | 31,94 | 52,15 | 0,012 | 0,710 | 0,82 | | |
| 2/3 | 250 | 1000 | CONC | 67,98 | 1,37 | 0,013 | 0,320 | 0,49 | 60,91 | 78,01 |
| | | | REJ | 29,86 | 55,65 | 0,014 | 0,850 | 1,03 | | |

Nota-se que para esta amostra, aumento crescente da dosagem de amido acarreta no aumento das recuperações mássicas e metalúrgicas, sem comprometer a qualidade do concentrado.

Tabela 7 – Resultado dos testes com amostra 03

| Amostra / Teste | Amina (g/t SiO ₂) | Amido (g/t de alim.) | Fluxo | Análise Química | | | | | Recuperação | |
|-----------------|-------------------------------|----------------------|-------|-----------------|----------------------|-------|------------------------------------|------|-------------|--------------|
| | | | | Fe (%) | SiO ₂ (%) | P (%) | Al ₂ O ₃ (%) | PPC | Mássica (%) | Metálica (%) |
| 3/1 | 250 | 500 | CONC | 68,50 | 1,45 | 0,274 | 0,290 | 0,42 | 66,06 | 80,56 |
| | | | REJ | 32,17 | 51,95 | 0,013 | 0,800 | 0,72 | | |
| 3/2 | 250 | 750 | CONC | 67,78 | 1,21 | 0,050 | 0,330 | 0,46 | 67,29 | 81,19 |
| | | | REJ | 32,29 | 51,67 | 0,013 | 0,780 | 0,34 | | |
| 3/3 | 250 | 1000 | CONC | 67,77 | 2,43 | 0,012 | 0,270 | 0,32 | 68,69 | 82,88 |
| | | | REJ | 30,72 | 53,96 | 0,014 | 0,820 | 0,80 | | |

Nota-se que para esta amostra, aumento crescente da dosagem de amido acarreta no aumento das recuperações mássicas e metalúrgicas, entretanto a qualidade do concentrado é gradativamente comprometida.

5 DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

As conclusões finais deste trabalho são:

- O aumento da dosagem do depressor amido está diretamente ligado às características mineralógicas da alimentação, pois nota-se que há comprometimento das qualidades dos concentrados em algumas amostras e em outras não.
- Em todas as amostras ocorre ganho nas recuperações mássicas e metalúrgicas ao se aumentar a dosagem de amido, bem como redução do %Fe no rejeito. Este fato se evidencia com dosagens em patamares de 1000 g/t.
- Para a condição de operação industrial em 1000 g/t, os rejeitos das etapas cleaner e recleaner devem ser necessariamente direcionados para a scavenger, a fim de evitar a saturação destas etapas com o quartzo recirculado na etapa rougher como previsto pelos testes em bancada.
- Mesmo com as incertezas relativas à tipologia mineral de composição do ROM, a Operação de Usina adotou a dosagem em 750 g/t de amido, uma vez que para a maioria das pilhas, esta condição apresentou maior produção.

Agradecimentos

Este trabalho foi gerado devido ao comprometimento de todas as equipes envolvidas, agradecemos a: GAEHS, GADMF, CPT de Itabira, GPQ – GAUBS, Processo Curto Prazo – GAUBS, Operação de Usina – GAUBS; das quais formam uma grande equipe com comprometimento aos objetivos e missão Vale.

REFERÊNCIAS

- 1 TURRER, H.D.G. (2007). Polímeros depressores na flotação de minério de ferro, UFMG. Dissertação de Doutorado (Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas). Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte.
- 2 LEJA, J. (1982) Surface Chemistry of Froth Flotation. New York: Plenum Press, 758p.
- 3 LIPPER, G.C.; PAULA, N.N.; SALES, C.G. (2009). Relatório do teste industrial de adequação da dosagem de amido na flotação de Brucutu.