

# OTIMIZAÇÃO DO CIRCUITO DE FLOTAÇÃO REVERSA DE MINÉRIO DE FERRO DA USINA DE CONCENTRAÇÃO DE BRUCUTU<sup>1</sup>

Cristiano Geraldo de Sales<sup>2</sup>  
Gunter Lipper<sup>2</sup>  
Nilson Nedes de Paula<sup>3</sup>  
João Maurício Pereira<sup>4</sup>  
José Benedito Roberto<sup>5</sup>  
Aloísio Fonseca<sup>6</sup>  
Bruno Henrique Machado<sup>7</sup>

## Resumo

Este artigo apresenta um estudo realizado no circuito de flotação da Usina de Brucutu. A mina é localizada no município de São Gonçalo do Rio Abaixo, com distância de 101 km a leste de Belo Horizonte. O complexo tem capacidade de produção na ordem de 30 milhões de toneladas de minério de ferro por ano. Este estudo visa propor melhorias no circuito de flotação com o intuito de reduzir o teor de Fe no rejeito de 18% para 13%. O estudo foi dividido em duas etapas: a 1ª contemplando testes de cinética de flotação com definição de parâmetros de processo e a 2ª contemplando teste em escala industrial e de cinética de flotação para confirmar os resultados obtidos na 1ª etapa. Os resultados alcançados até o momento mostram ser possível a redução do teor de Fe no rejeito da flotação para valores próximo de 13%. Além disso, existe a expectativa de um acréscimo de produção na ordem de 700.000 toneladas por ano, em função do aumento da recuperação mássica do circuito de flotação. Com base nas melhorias propostas neste trabalho, foi realizado um projeto básico/detalhado que está em fase final de implantação com previsão de *start-up* em agosto de 2010 e *rump-up* para atingir a expectativa de produção até setembro de 2010.

**Palavras-chave:** Flotação; Rejeito; Recuperação mássica; Cinética de flotação.

## OPTIMIZATION OF THE CIRCUIT OF IRON ORE REVERSE FLOTATION OF BRUCUTU PLANT

### Abstract

This paper describes a research carried out in the flotation circuit of Brucutu Plant. The Mine is located nearby São Gonçalo do Rio Abaixo town, far 101 km away east from Belo Horizonte city. The complex has a production capacity of almost 30 million tons of iron ore per year. This research aims to propose improvements in the flotation circuit in order to reduce the percentage of Fe in the tailings from 18% to 13%. The research was divided in two stages: the first one contemplating flotation kinetics test works with definition of process parameters and the second one contemplating industrial scale and flotation kinetics test works to confirm the results obtained in the first stage. The results achieved so far to the present moment show to be possible the reduction of Fe in the flotation tailings to values around 13%. Therefore, there is an expectation to increase the production in 700,000 tons per year, due to the increase in mass recovery in the flotation circuit. Based on the improvements proposed in this paper, a basic and detailed project was developed which is in final implementation stage with start-up forecasted to occur in August 2010 and production rump-up to reach the expectation up to September 2010.

**Key words:** Flotation; Tailings; Mass recovery; Flotation kinetic.

<sup>1</sup> 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.

<sup>2</sup> Engenheiro de Processo, Gerência de Engenharia de Processo, Minas Centrais, Vale, Brasil.

<sup>3</sup> Engenheiro de Processo, Gerência de Desenvolvimento de Processo, Mina de Alegria, Vale, Brasil.

<sup>4</sup> Engenheiro de Processo, Gerência de Desenvolvimento de Processo, Minas Centrais, Vale, Brasil.

<sup>5</sup> Msc. Supervisor de Processo, Gerência de Operação de Usina, Mina de Brucutu, Vale, Brasil.

<sup>6</sup> Engenheiro de Produção, Gerência de Operação de Usina, Mina de Brucutu, Vale, Brasil.

<sup>7</sup> Técnico de Processo, Gerência de Operação de Usina, Mina de Brucutu, Vale, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 Revisão da Literatura

A flotação é um dos principais processos de concentração de minerais hoje utilizados no mundo, tendo sido empregada há aproximadamente cem anos para uma ampla classe de minerais: sulfetos, óxidos, fosfatos, silicatos, carvão e sais solúveis. O desenvolvimento da indústria mineral não teria sido possível sem a descoberta da flotação, visto que outros processos físicos tradicionais de concentração de minerais (gravíticos, magnéticos e eletrostáticos) não permitem que a propriedade diferenciadora (densidade, susceptibilidade magnética ou condutividade elétrica) seja induzida ou modulada. Parte da produção mundial de minérios de ferro necessários à produção de aço nos níveis de consumo atuais só tornou-se possível nas últimas décadas com a utilização do processo de flotação em larga escala.<sup>(1)</sup>

A seletividade do processo de flotação se baseia na diferença de hidrofobicidade das diferentes espécies minerais que se deseja separar. O conceito de hidrofobicidade está associado à menor facilidade de umectação dos minerais pela água, sendo as substâncias hidrofílicas classificadas quimicamente como polares e aquelas hidrofóbicas como apolares, havendo afinidade entre substâncias ambas polares ou ambas apolares. Na natureza, poucos minerais são naturalmente hidrofóbicos (grafita, molibdenita, talco, pirofilita, alguns carvões e ouro nativo livre de prata). Minerais conhecidos como polares exibem elevados valores de energia livre de superfície, reagindo fortemente com moléculas de água e apresentando ângulo de contato nulo ou próximo de zero.<sup>(1-3)</sup>

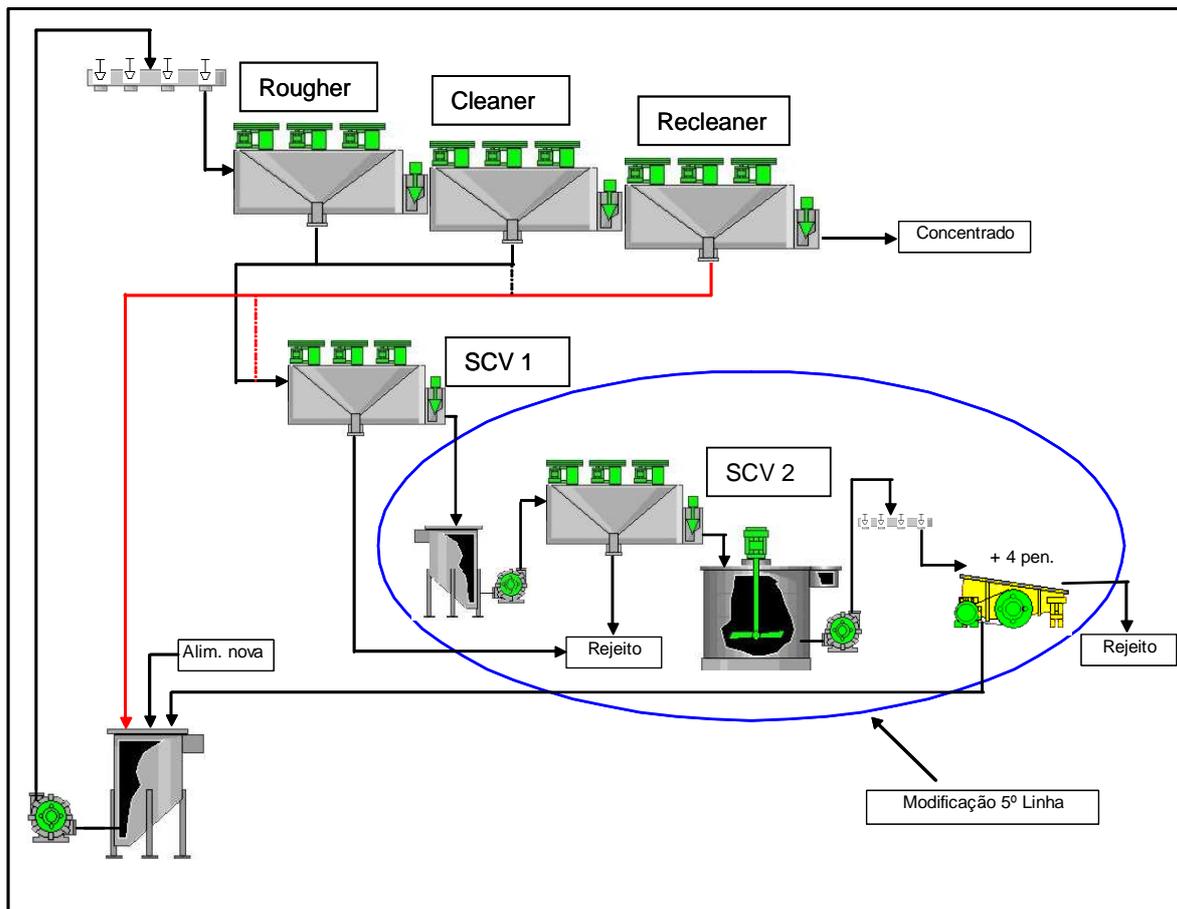
Uma das vantagens do processo de flotação é a possibilidade de tornar hidrofóbica a superfície originalmente hidrofílica da maioria das espécies minerais. Este processo ocorre através da utilização de reagentes surfatantes que se adsorvem na superfície de tais minerais (interface mineral/solução). Adsorção é o processo de concentração de espécies químicas (coletores, modificadores, espumantes) em interfaces. Surfatantes são moléculas anfipáticas do tipo R-Z, isto é, que apresentam uma porção apolar R (R=cadeia hidrocarbônica) que pode ser ramificada, linear ou cíclica; acoplada a Z que constitui sua porção polar, isto é, um ou mais grupos funcionais.<sup>(4)</sup>

Os principais componentes do minério de ferro itabirítico – hematita e quartzo – podem ser flotados com coletores catiônicos como o acetato de alquil éter amina. Portanto, a seletividade tem que ser atingida com o uso do amido como depressor de minerais de ferro, que é condicionado na polpa do minério, previamente à adição do coletor. Então, o cátion alquil éter amina deve adsorver-se preferencialmente na interface quartzo/solução, de modo a tornar sua superfície hidrofóbica; enquanto o amido vai garantir o caráter hidrofílico da interface hematita/solução, viabilizando, assim, a flotação reversa.<sup>(5)</sup>

### 1.2 Aspectos Gerais – Mina de Brucutu

A mina de Brucutu é localizada no município de São Gonçalo do Rio Abaixo, com distância de 101 km a leste de Belo Horizonte. O complexo tem capacidade de produção na ordem de 30 milhões de toneladas de minério de ferro por ano. O

processo de flotação da Usina de Concentração 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. Considera-se ainda como parte integrante do circuito de flotação o peneiramento do concentrado Scavenger realizado em peneiras de alta frequência para retirada de quartzo grosso da carga circulante do processo. Recentemente foi incluído mais um estágio de concentração no circuito de flotação: 2º Scavenger ou Cleaner do Scavenger, alimentado pelo concentrado do Scavenger existente. A Figura 1 apresenta um fluxograma simplificado desse processo, contemplando a inclusão supracitada.



**Figura 1** - Fluxograma do circuito de flotação.

O circuito de flotação da Usina Brucutu gera atualmente rejeito final com teor de Fe na ordem de 18%. Mesmo com essa inclusão, não se tem a garantia de redução do teor de Fe desse Rejeito para valores na ordem de 13%. Diante disso, o presente artigo visa estudar e implementar modificações no circuito em questão de forma a atender a premissa supracitada para geração de rejeito final.

## 2 OBJETIVOS

Propor melhorias no circuito de flotação com o intuito de reduzir o teor de Fe no rejeito final da flotação reversa de minério de Fe da Usina de Brucutu de 18% para 13%.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os testes foram divididos em duas etapas: a 1ª consistiu basicamente em amostrar a alimentação do Scavenger 1 para realização de cinéticas de flotação.

A 2ª etapa consistiu em alterar a camada de espuma do Scavenger 1 no circuito industrial para o valor calculado a partir do resultado de cinética realizado na 1ª etapa. Por motivo de comparação, metade do circuito teve a camada de espuma mantida em patamares normais de operação. Após ajuste do circuito, foram coletadas amostras de alimentação, concentrado e rejeito do circuito modificado e normal. Com as amostras de alimentação foram realizadas cinéticas de flotação e distribuição granulométrica dos concentrados gerados nestas cinéticas, visando a definição de parâmetros para o Scavenger 2 e peneiramento de alta frequência.<sup>(6)</sup>

### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta um resumo dos resultados obtidos na 1ª etapa.

**Tabela 1** - Resumo dos resultados da 1ª etapa

| Ensaio | Condições do ensaio                          | pH    | Recuperação Massa (%) | Alimentação calculada |                  | Concentrado |                  | Rejeito |                  | Tempo de residência (min) |
|--------|--|-------|-----------------------|-----------------------|------------------|-------------|------------------|---------|------------------|---------------------------|
|        |  |       |                       | Fe                    | SiO <sub>2</sub> | Fe          | SiO <sub>2</sub> | Fe      | SiO <sub>2</sub> |                           |
| 1      | Polpa natural (% Sólidos: 37,4)              | 9.49  | 35.51                 | 24.14                 | 61.79            | 52.61       | 20.66            | 8.48    | 84.42            | 6.29                      |
| 2      | Polpa natural com dosagem de 500g/t de amido | 10.21 | 36.31                 | 24.07                 | 61.74            | 52.73       | 20.12            | 8.22    | 84.76            | 5.78                      |
| 3      | % Sólidos: 32,4                              | 9.43  | 36.15                 | 24.03                 | 61.71            | 53.09       | 20.07            | 7.64    | 85.18            | 6.53                      |
| 4      | % Sólidos: 42,4                              | 9.44  | 42.23                 | 24.22                 | 61.84            | 45.22       | 31.68            | 8.87    | 83.89            | -                         |
| 5      | Polpa natural com pH 11                      | 11.00 | 31.13                 | 24.35                 | 61.93            | 52.57       | 20.52            | 11.60   | 80.64            | 5.95                      |

Observa-se na Tabela 1 que em todas as condições exploradas o teor de Fe no rejeito apresenta-se abaixo de 12%, valor inferior ao praticado atualmente na industrial. Diante disso, acredita-se que com a realização de pequenas modificações no circuito de flotação será factível a obtenção de rejeito com teor de Fe na ordem de 13%.

A Tabela 2 apresenta um resumo dos resultados da 2ª etapa oriundos da amostragem industrial realizada no circuito de flotação dia 08/10/2009.

**Tabela 2 - Resumo dos resultados da 2ª etapa**

| Nível de Polpa Banco 1 = 30% e Banco 2 = 60% |                  |       |                  |       |                                |       |                  |       |       |
|--|------------------|-------|------------------|-------|--------------------------------|-------|------------------|-------|-------|
| Fluxo  | Rec. Mássica (%) | Fe    | SiO <sub>2</sub> | P     | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Mn    | TiO <sub>2</sub> | CaO   | MgO   |
| AL   | 100              | 21.71 | 67.18            | 0.015 | 0.84                           | 0.012 | 0.047            | 0.011 | 0.073 |
| CO   | 20               | 61.78 | 9.69             | 0.021 | 0.72                           | 0.021 | 0.131            | 0.013 | 0.035 |
| RJ   | 80               | 11.66 | 81.93            | 0.012 | 0.79                           | 0.005 | 0.026            | 0.015 | 0.086 |
| Nível de Polpa Banco 1 = 50% e Banco 2 = 60% |                  |       |                  |       |                                |       |                  |       |       |
| Fluxo  | Rec. Mássica (%) | Fe    | SiO <sub>2</sub> | P     | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Mn    | TiO <sub>2</sub> | CaO   | MgO   |
| AL   | 100              | 16.61 | 74.70            | 0.013 | 0.82                           | 0.008 | 0.039            | 0.010 | 0.080 |
| CO   | 20               | 66.87 | 2.38             | 0.022 | 0.51                           | 0.022 | 0.122            | 0.014 | 0.017 |
| RJ   | 80               | 16.61 | 74.70            | 0.013 | 0.82                           | 0.008 | 0.039            | 0.010 | 0.080 |

Observa-se na Tabela 2 que ao reduzir a camada de polpa do banco 1 de 50% para 30% para adequação do tempo de residência, o teor de Fe no rejeito diminui de 16.61% para 11.66%, redução que pode ser considerada significativa, uma vez que, gera uma expectativa de ganho na recuperação mássica da flotação de 3 a 4 pontos percentuais.

Para melhor compreensão da 2ª etapa Scavenger e do peneiramento de alta frequência, foi realizado duas cinéticas de flotação e distribuição granuloquímica dos concentrados gerados nessas cinéticas. A classificação foi realizada em peneiras de laboratório buscando corte em 0.15mm (simulação do Peneiramento de Alta Frequência). As Tabelas 3 e 4 apresentam as granuloquímicas desses concentrados.

**Tabela 3 – Química faixa do concentrado SCV 2 – Cinética 1**

| Fração (mm) | Massa (%) | Fe    | SiO <sub>2</sub> | P     | AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Mn    | PPC  |
|-------------|-----------|-------|------------------|-------|--------------------------------|-------|------|
| +0.150      | 8.70      | 24.25 | 64.38            | 0.010 | 0.42                           | 0.019 | 0.58 |
| -0.150      | 91.30     | 68.28 | 1.85             | 0.023 | 0.53                           | 0.040 | 0.16 |
| Global      | 100.00    | 63.52 | 7.76             | 0.024 | 0.56                           | 0.036 | 1.29 |

**Tabela 4 – Química faixa do concentrado SCV 2 – Cinética 2**

| Fração (mm) | Massa (%) | Fe    | SiO <sub>2</sub> | P     | AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Mn    | PPC  |
|-------------|-----------|-------|------------------|-------|--------------------------------|-------|------|
| +0.150      | 8.20      | 29.73 | 56.46            | 0.010 | 0.41                           | 0.020 | 0.86 |
| -0.150      | 91.80     | 68.59 | 0.89             | 0.024 | 0.54                           | 0.041 | 1.16 |
| Global      | 100.00    | 64.13 | 6.22             | 0.028 | 0.67                           | 0.039 | 1.42 |

Observa-se nas Tabelas 3 e 4 que as frações -0.15mm geradas possuem teores de Fe e SiO<sub>2</sub> adequados para compor o Pellet Feed Brucutu (Fe = 68% e SiO<sub>2</sub> = 1%). Atualmente o Underflow do Peneiramento de Alta frequência do concentrado Scavenger retorna na etapa Rougher. Com base nesses resultados, propõe-se direcionar o fluxo supracitado para o espessador de concentrado da flotação, o que proporcionará um aumento da recuperação máxima do circuito, além de permitir com a redução da carga circulante, a entrada de uma maior massa de alimentação nova.

Propõe-se ainda colocar um direcionamento opcional do rejeito da Scavenger 2 como carga circulante retornando na etapa Rougher, pois este fluxo apresenta-se muito rico nas duas cinéticas realizadas, conforme mostra a Tabela 5.

**Tabela 5 – Resumo resultados cinética Scavenger 2**

| Resumo Cinética Scavenger 2 - Testes 01 |                  |       |                  |       |                                |       |      | Fec. Químico |
|---|------------------|-------|------------------|-------|--------------------------------|-------|------|--------------|
| Fluxo                                   | Recup. Massa (%) | Fe    | SiO <sub>2</sub> | P     | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Mn    | PPC  | %            |
|   |                  | %     | %                | %     | %                              | %     | %    |              |
| AL Analisada                            | 100.00           | 61.68 | 8.87             | 0.029 | 0.720                          | 0.043 | 1.35 | 99.34        |
| Concentrado                             | 94.34            | 63.52 | 7.76             | 0.024 | 0.560                          | 0.036 | 1.29 | 100.61       |
| RJ 01                                   | 3.31             | 42.66 | 32.22            | 0.060 | 2.090                          | 0.093 | 3.64 | 99.42        |
| RJ 02                                   | 1.18             | 46.18 | 26.29            | 0.071 | 2.380                          | 0.102 | 4.66 | 99.88        |
| RJ 03                                   | 0.75             | 54.08 | 15.06            | 0.080 | 2.560                          | 0.116 | 5.02 | 100.58       |
| RJ 04                                   | 0.41             | 56.03 | 10.29            | 0.088 | 2.870                          | 0.128 | 5.14 | 99.09        |
| RJ Total                                | 5.66             | 45.89 | 27.10            | 0.067 | 2.270                          | 0.100 | 4.15 | 99.64        |

| Resumo Cinética Scavenger 2 - Teste 2 |                  |       |                  |       |                                |       |      | Fec. Químico |
|---------------------------------------|------------------|-------|------------------|-------|--------------------------------|-------|------|--------------|
| Fluxo                                 | Recup. Massa (%) | Fe    | SiO <sub>2</sub> | P     | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Mn    | PPC  | %            |
|                                       |                  | %     | %                | %     | %                              | %     | %    |              |
| AL Analisada                          | 100.00           | 61.68 | 8.87             | 0.029 | 0.720                          | 0.043 | 1.35 | 99.34        |
| Concentrado                           | 89.83            | 64.13 | 6.22             | 0.028 | 0.670                          | 0.039 | 1.42 | 100.21       |
| RJ 01                                 | 6.84             | 36.55 | 41.79            | 0.052 | 1.750                          | 0.075 | 2.94 | 99.13        |
| RJ 02                                 | 1.74             | 37.41 | 38.87            | 0.064 | 2.220                          | 0.094 | 4.06 | 99.13        |
| RJ 03                                 | 1.02             | 49.63 | 22.12            | 0.076 | 2.430                          | 0.110 | 4.51 | 100.60       |
| RJ 04                                 | 0.59             | 55.97 | 12.16            | 0.084 | 2.770                          | 0.128 | 5.12 | 100.74       |
| RJ Total                              | 10.17            | 39.12 | 37.62            | 0.058 | 1.957                          | 0.085 | 3.41 | 99.37        |

De acordo com os resultados alcançados, realizaram-se dois balanços de massas do circuito de flotação: o 1º contempla a configuração oficial concebida para operação e o 2º contempla uma nova configuração proposta neste trabalho, visando a redução do teor de Fe no rejeito final da flotação para valores próximos de 13%. Vale ressaltar que os resultados apresentados até aqui são oriundos de testes realizados pontualmente, mesmo assim, devido a coerência dos resultados acredita-se na plena redução do teor de Fe global da flotação perante as modificações propostas.

Ressalta-se ainda que o circuito proposto neste trabalho gera uma expectativa de ganho real em recuperação mássica na flotação de 3 a 4 pontos percentuais, o que corresponde a um acréscimo de produção anual na ordem de 700.000 toneladas. As Figuras 2 e 3 apresentam os balanços de massas e as configurações do circuito de flotação.

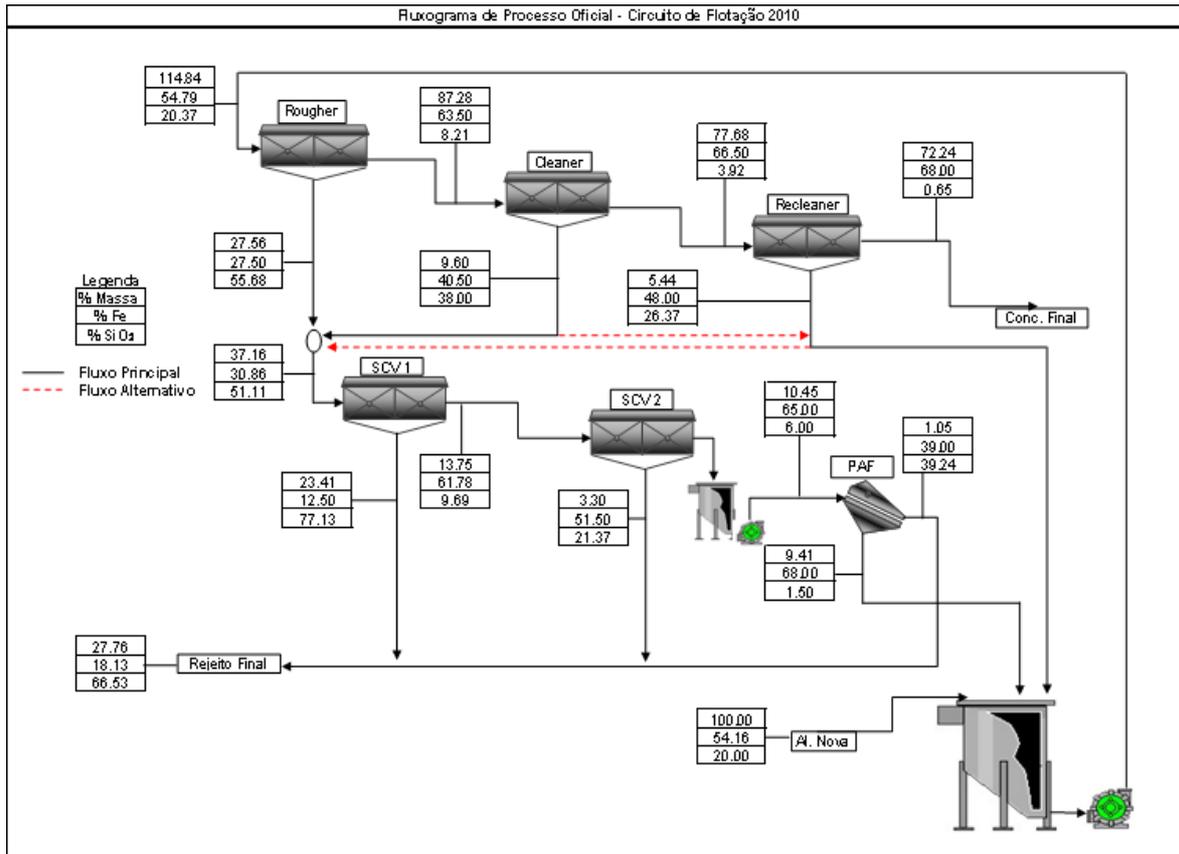


Figura 2 - Fluxograma do circuito de flotação oficial.

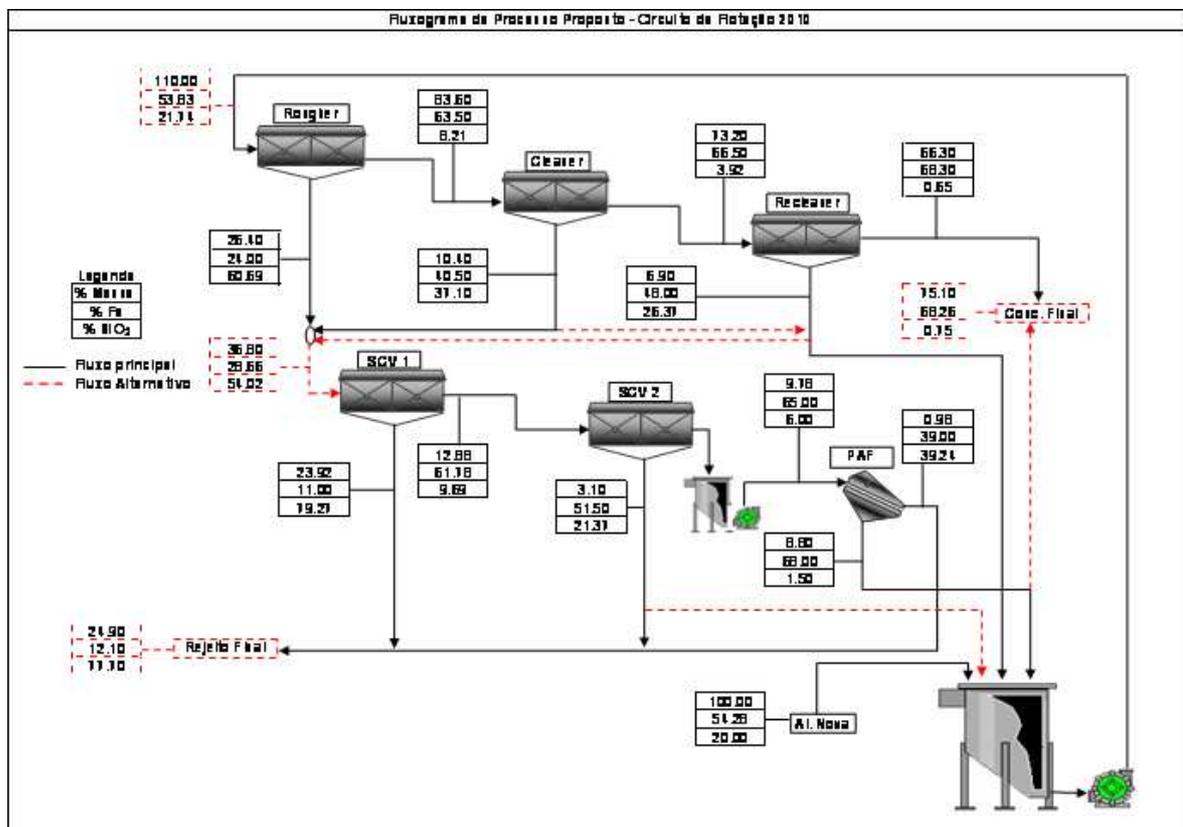


Figura 3 - Fluxograma do circuito de flotação proposto.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os resultados obtidos até aqui pode-se concluir que o objetivo deste trabalho foi alcançado, sendo possível, através das modificações propostas, reduzir o teor de Fe no rejeito da flotação para valores próximo de 13%. Ressalta-se ainda a expectativa de um acréscimo de produção na ordem de 700.000 t/a, em função do aumento da recuperação mássica do circuito de flotação.

Foi realizado um projeto básico/detalhado para implantação das modificações propostas neste trabalho. Esse projeto está em fase final de implantação com previsão de start-up em agosto de 2010 e rump-up para atingir a expectativa de produção até setembro de 2010.

## REFERÊNCIAS

- 1 OLIVEIRA, J.F. (2006). Setor Mineral: Tendências Tecnológicas, Texto elaborado para o projeto Setor Mineral – Tendências Tecnológicas, do Centro de Tecnologia Mineral – CETEM. 2006.
- 2 ARAÚJO, A.C.; VIANA, P.R.M.; PERES, A.E.C. (2005). Reagents in iron ore flotation. *Minerals Engineering*, v. 18, p. 219 – 224.
- 3 WILLS, B.A. (1997). *Mineral Processing Technology . An introduction to the practical aspects of ore treatment and mineral recovery*. 6 th edition, p. 258 – 341, 1997.
- 4 PERES, A.E.C.; COELHO, E.M.; ARAUJO, A.C. (1981). Flotação, espessamento, filtração e floculação seletiva. In: Fundação Tecnológica do Estado de Pernambuco (ed). *Tratamento de minérios e hidrometalurgia*, in *Memoriam Prof. Paulo Abib Andery*. Recife, p.205-286.
- 5 BRANDÃO, P.R. A seletividade na flotação reversa de minério: adsorção dos reagentes. XXI Encontro nacional de tratamento de minérios e metalurgia extrativa, Natal-RN, Novembro de 2005, p.22-33.
- 6 Relatório teste industrial do projeto 5ª linha de Brucutu, Complexo Minas Centrais, Mina de Brucutu; São Gonçalo do Rio Abaixo-MG, Novembro de 2009, p. 27 - 31.
- 7 RAJU, B. G.; HOLMGREN, A.; FORSLING, W. (1998). Complexation mechanism of dextrin with metal hydroxides. *Journal of Colloid and Interface Science* 200: 1-6.
- 8 LINS, F.A. F.; LUZ, A. B.; *Tratamento de minérios*, CETEM / MCT, 4ª Ed., Cap. 6, Rio de Janeiro, 2004.