

AVALIAÇÃO DE PERFORMANCE DO MEDIDOR DE VAZÃO SONARTRAC NA ALIMENTAÇÃO DA FLOTAÇÃO DE BRUCUTU¹

Cristiano Geraldo de Sales²
Gunter Lipper²
Natasha Souza²
Doriedson Souza³
Felipe Caldas⁴
Thiago Resende⁴
André Fonseca⁵
Bruno Batista⁵
Denílson Faria⁶
Paulo Longo⁷

Resumo

O presente trabalho teve como principal objetivo avaliar a performance do medidor de vazão tipo Sonartrac na alimentação da flotação da Usina de Brucutu, comparando-o ao medidor existente, de princípio eletromagnético. Para fins comparativos foram considerados os seguintes parâmetros: exatidão de leitura, instalação e manutenção, recuperação em massa da flotação e consumo de reagente. A medição de vazão nos processos de concentração faz-se necessária, em conjunto com a densidade, para obtenção da massa de alimentação de cada operação unitária, cujo número governa os parâmetros de operação mais adequados ao processo: quantidade de equipamentos em operação, tamanho dos equipamentos e adição de reagentes, como no caso da flotação. Os medidores de vazão do tipo eletromagnético têm seu princípio de funcionamento baseado na lei da indução de Faraday. Assim sendo, a vazão volumétrica de processo está em função da intensidade da “Força Eletro Motriz”, gerada no condutor. Os medidores de vazão tipo Sonartrac funcionam como um Sonar que “escuta” e detecta o sinal característico das tensões provocadas por fluxos turbulentos criando estruturas de vórtices que viajam em correntes de convecção com o fluxo do fluido. Desta forma, a inclinação do perfil dos picos de vibração, causado por estas correntes, determina a velocidade do fluxo identificado pelo algoritmo Sonar transformando-o em vazão. Os resultados evidenciaram que instalação do Sonartrac na alimentação da flotação foi vantajosa devido a este possuir maior estabilidade de leitura, maior média de recuperação mássica e menor consumo de reagentes, bem como maior facilidade de manutenção e montagem.

Palavras-chave: Medidor de vazão; Sonartrac; Eletromagnético; Flotação.

PERFORMANCE EVALUATION OF THE FLOWMETER SONARTRAC IN THE FLOTATION FEED OF BRUCUTU MINE

Abstract

The present work has as objective to evaluate the performance of the Sonartrac flowmeter in the flotation feed of Brucutu mine, comparing it with the existing one, that uses the electromagnetic principle. For such comparison the following parameters were considered: measurement accuracy, installation and maintenance, flotation mass recovery and reagents consumption. The flowmeter is essential to the process together with a densitometer, in order to provide the feed mass of each unitary operation, which value governs the operational parameters that are more adequate to the process: quantity of pieces of equipment in operation, size of the pieces of equipment and reagents addition, as is the flotation case. The electromagnetic flowmeters have their operating principle based on the Faraday induction law. Thus, the volumetric process flowrate is a function of the "Electro-Motive-Force" intensity, produced by the conductor. The Sonartrac flowmeters work as a Sonar that "listens" and detects the characteristic signal of the tensions caused by the turbulence created by vortex structures that travels in convection currents in the fluid. Therefore, the profile slope of the vibration picks, caused by these currents, determines the speed of the flow identified by the Sonar algorithm then transformed in flowrate. The results showed that the installation of the Sonartrac in the flotation feed was successful because it presented higher measurement stability, higher mass recovery average and lower reagents consumption and easier to maintain and install.

Keywords: Flow measurer; Sonartrac; Electromagnetic; Flotation.

¹ Contribuição técnica ao 41º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 12º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 12 a 26 de setembro de 2011, Vila Velha, ES.

² Engenheiro de Processo, Gerência de Engenharia de Processo, Vale, Brasil

³ Supervisor de Manutenção Elétrica, Gerência de Manutenção, Vale, Brasil

⁴ Engenheiro de Controle e Automação, Gerência de Automação, Vale, Brasil

⁵ Engenheiro de Operação de Usina, Gerência de Operação de Usina, Vale, Brasil

⁶ Engenheiro Mecânico e Automação, Flowtec, Brasil

⁷ Engenheiro Eletricista e Automação, Metroval, Brasil

1 INTRODUÇÃO

A medição de vazão nos processos de concentração faz-se necessária, em conjunto com a densidade, para obtenção da massa de alimentação de cada operação unitária, cujo número governa os parâmetros de operação mais adequados ao processo, quantidade de equipamentos em operação, tamanho dos equipamentos e adição de reagentes como no caso da flotação.

1.1 Medidor Tipo Eletromagnético

Os medidores de vazão tipo eletromagnéticos tem seu princípio de funcionamento baseado na lei da indução de Faraday, ou seja, quando um condutor elétrico se move num campo magnético cortando as linhas de campo forma-se uma F.E.M. (Força Eletro Motriz) no condutor, e esta força é proporcional à velocidade do condutor.

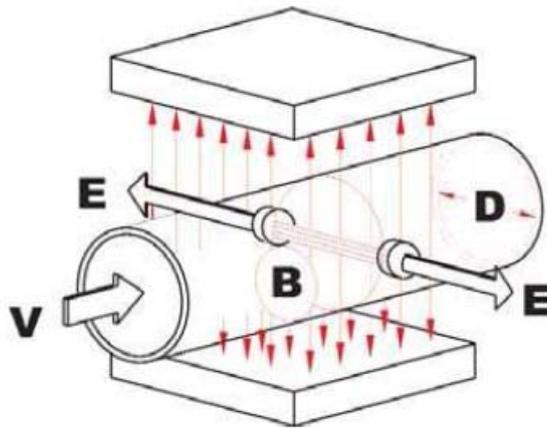


Figura 1. Esquema do princípio de funcionamento do medidor de vazão eletromagnético.⁽¹⁾

Como pode ser visto na Figura 1, a indução magnética B (intensidade de campo magnético) e a distância entre os eletrodos D (diâmetro nominal do tubo) são constantes. Logo a F.E.M induzida é função da vazão volumétrica do processo. Na medição indutiva de vazão o fluido em movimento constitui o condutor móvel, porém sua condutividade precisa ser no mínimo $5 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. O transmissor de vazão instalado na tubulação entre flanges é composto basicamente do tubo cilíndrico revestido de material isolante, duas bobinas fixadas no tubo, face a face, para geração do campo magnético e dois eletrodos fixados perpendicularmente às bobinas. Veja esquema do equipamento na Figura 2.

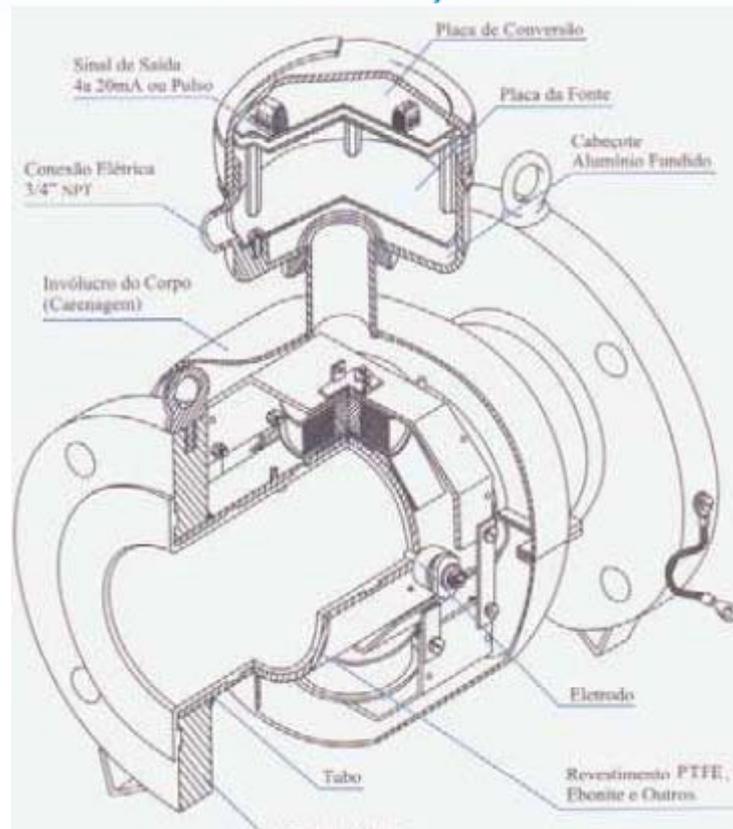


Figura 2. Vista em corte do medidor de vazão eletromagnético.⁽¹⁾

1.2 Medidor Tipo Sonartrac

Os medidores de vazão tipo Sonartrac funcionam como um Sonar que “escuta” e detecta o sinal característico das tensões provocadas por fluxos turbulentos criando estruturas de vórtices que viajam em correntes de convecção com o fluxo do fluido.

Os vórtices criam pequenas variações de pressão dentro da tubulação, das quais estas pequenas variações de pressão causadas pela passagem dos vórtices provocam tensões na parede da tubulação, que é então medida por sensores de espaçamento fixo.

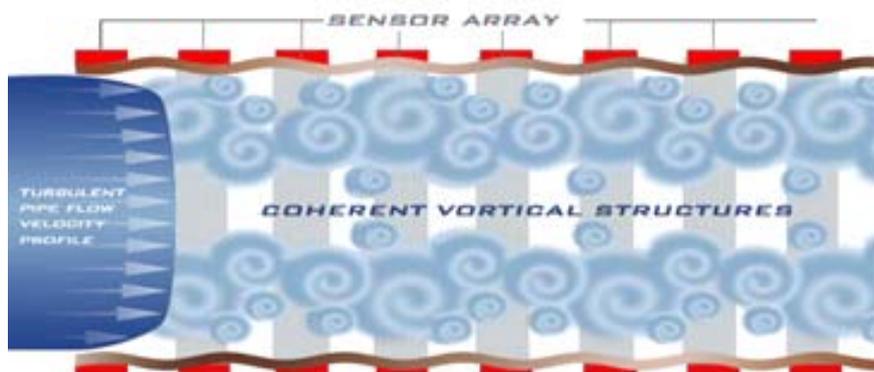


Figura 3. Estrutura de leitura do Sonartrac.⁽²⁾

As tensões no sensor são detectadas em forma de comprimento de onda, onde cada comprimento de onda espacial tem uma frequência de onda discreta.

Logo, a inclinação do perfil dos picos de vibração determina a velocidade do fluxo identificado pelo algoritmo Sonar transformando-o em vazão.⁽²⁾



Figura 4. Foto do Sonartrac instalado.⁽²⁾

As grandes vantagens do Sonartrac iniciam-se pelo fato de ser de instalação rápida, ou seja, em apenas 40 minutos, acomoda-se externamente à tubulação (Figura 4), não necessitando de paradas, sem componentes susceptíveis à abrasão e conseqüentemente não sofrendo variação da calibração original por influência do processo. Além da medição de vazão, o medidor Sonartrac mede a quantidade de ar na polpa podendo-se então corrigir a densidade e medir a real massa da linha.

1.3 Histórico

Devido a grande variância dos medidores eletromagnéticos atualmente utilizados na Mina de Brucutu estarem em patamares de 18% de erro relativo, foi acordado entre diversas áreas da Vale que seria necessário a busca por uma tecnologia de melhor performance. Foi disponibilizado dois medidores Sonartrac de 14" com intuito de testar sua performance e confiabilidade em série com os medidores eletromagnéticos existentes.

A flotação foi escolhida por ser uma operação unitária do beneficiamento bastante dependente da leitura da vazão e densidade, das quais governam a adição e redução de coletor e depressor (amina e amido respectivamente).

Os indicadores de desempenho estabelecidos para comparar os medidores foram:

- exatidão do medidor: +/- 1% de erro absoluto;
- instalação e manutenção;
- recuperação em massa da flotação; e
- consumo de reagente.

Para que os medidores fossem então comparados em relação à adição de reagentes, foi criado inicialmente apenas sobre o coletor Amina, um bloco de cálculo no PLC para obtenção da taxa de sólido e taxa de SiO₂, utilizando-se da leitura de vazão de polpa e porcentagem de ar (este para correção da densidade).⁽²⁾

2 OBJETIVOS

Avaliar a performance do medidor de vazão tipo Sonartrac na alimentação da flotação do circuito A da Usina de Brucutu, comparando-o ao medidor existente de princípio eletromagnético, através dos seguintes parâmetros: exatidão de leitura; Instalação e manutenção; recuperação em massa da flotação e consumo de reagente.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Análise de Dados Históricos

Após um período de três meses da data de instalação de dois conjuntos de medidores Sonartrac em cada uma das tubulações de recalque das bombas BP's – 148A – 1804 e 2804, dados do PI foram levantados e analisados com o objetivo de se avaliar e comparar as vazões medidas pelos equipamentos em teste com o eletromagnético.

3.2 Teste com Pilha de 150 m

Além de todo o período de determinação de adição de Amina na flotação pelo Sonartrac, foi necessário efetuar um teste com uma pilha de homogeneização com intuito de se poderem eliminar os fatores físicos, químicos e mineralógicos. Neste caso, metade do tempo foi adicionada Amina pelo comando do Sonartrac e a outra pelo Eletromagnético. Veja na Tabela 1 as características da pilha testada.⁽³⁾

Tabela 1. Dados da pilha teste⁽³⁾

03/02/2011	PILHA:	51	Massa (t)	49.224	COMPRIM.:	150
Frações	%Massa	Fe	SiO ₂	P	Al ₂ O ₃	Mn
+8,0 mm	10,49	61,51	5,89	0,079	1,87	0,019
-8,0+1,0mm	13,94	59,04	9,59	0,085	1,25	0,041
+1,0 mm	24,43	60,10	8,00	0,082	1,52	0,031
-1,0+0,15mm	26,27	49,29	28,15	0,019	0,45	0,011
-0,15mm	49,30	57,30	14,95	0,035	1,03	0,020
Global	100%	55,88	16,72	0,040	1,00	0,021
INICIO RECUPERAÇÃO: 10:50 FINAL RECUPERAÇÃO: 00:00						

A partir desta pilha foram coletadas amostras da alimentação, concentrado e rejeito, do estágio Rougher do circuito A (linhas 1 e 2 em separado) para análise de comportamento do circuito.

4 RESULTADOS

4.1 Correlação das Vazões de Polpa Medida

A Figura 5 apresenta a correlação da soma das medidas de vazão volumétrica das linhas 1 e 2 da Flotação, entre os medidores em questão.

CORRELAÇÃO DAS VAZÕES DO SONARTRAC X ELETROMAGNÉTICO

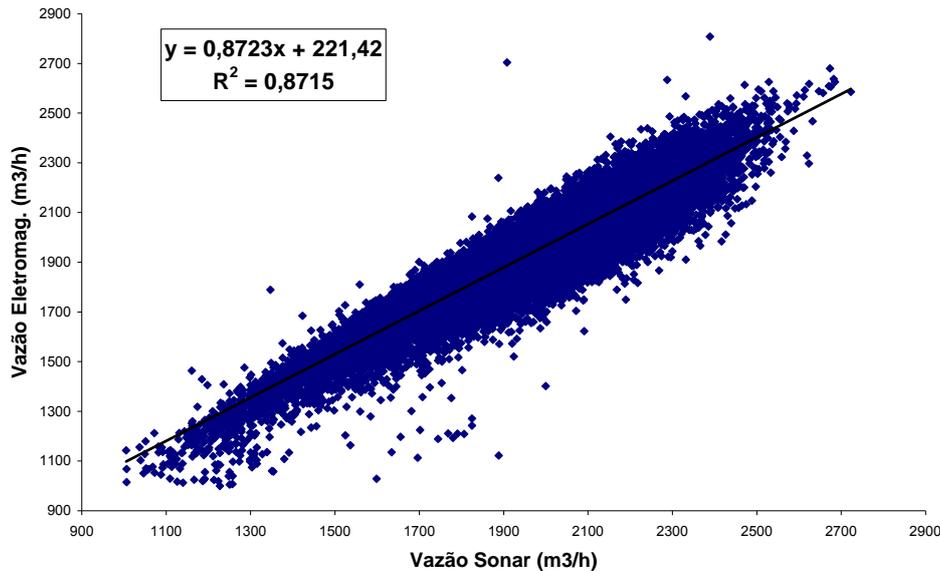


Figura 5. Gráfico de correlação das vazões dos medidores Sonartrac x Eletromagnético.⁽⁴⁾

O gráfico acima comprova que as leituras de vazão são bem próximas, mesmo a leitura do Sonartrac tendendo a ser ligeiramente menor. A partir disto, pode-se concluir, portanto, que a leitura de vazão do Sonartrac é confiável.

4.2 Análise da Taxa de Sólido

A Figura 6 apresenta as médias diárias da taxa de sólido calculada a partir das medidas de vazão para os dois equipamentos e evidencia suas diferenças.

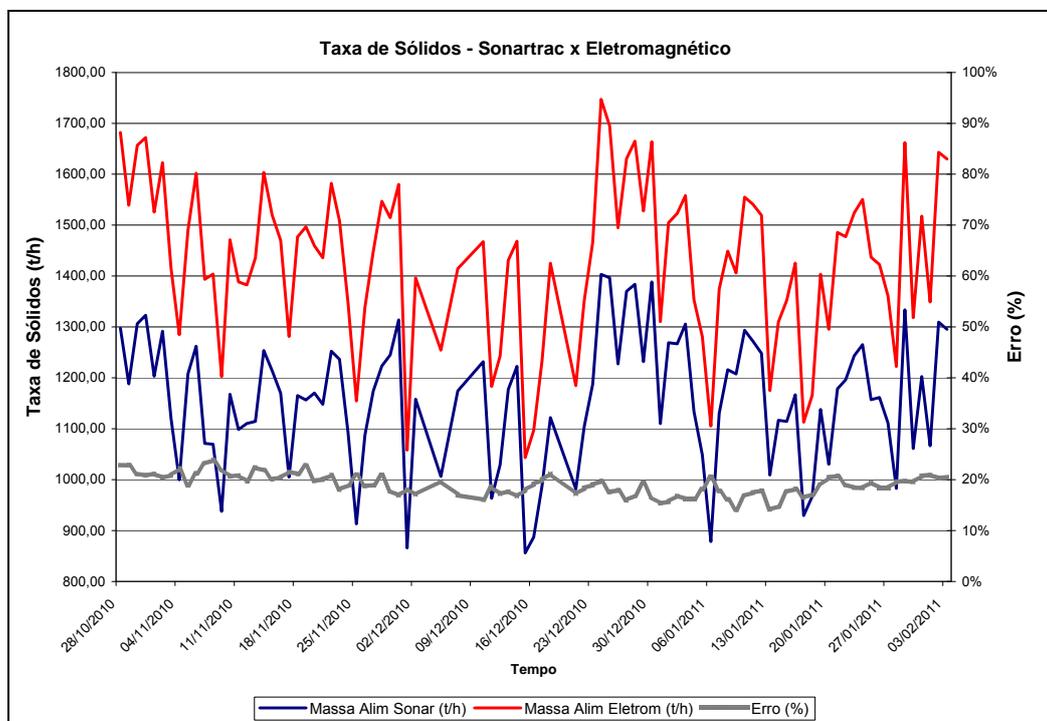


Figura 6. Gráfico comparativo das taxas de sólido dos medidores Sonartrac e Eletromagnético.⁽⁴⁾

Pela análise do gráfico fica evidente que existe uma diferença entre os resultados da média dos cálculos de taxa de sólido de aproximadamente 20%.

Esta diferença se deve à leitura da porcentagem de ar nas tubulações pelo Sonartrac utilizando-se de metodologia patenteada do equipamento para correção da medição volumétrica, densidade e taxa de sólido, a qual é incorporada na equação mostrada a seguir, inserida na lógica do PLC:

$$VazãoSólidosCorrigida = VFnãocorrigida * \frac{(100 - Ar)}{100} * \frac{DensidadeSólidos}{DensidadeLíquido} * \frac{(\frac{Densidade\tilde{v}ocorrigida * 100}{100 - Ar} - DensidadeLíquido)}{(DensidadeSólidos - DensidadeLíquido)}$$

Para complementar a análise, foi levantado aleatoriamente num período de cinco dias, a tela de *Process book* das leituras de taxa de sólido dos dois medidores para uma linha (Figura 7).



Figura 7. Tela do Process book mostrando as leituras dos dois medidores do dia 23/02/2011 a 28/02/2011 (em verde: Elettromagnético e em amarelo: Sonartrac).

Da Figura 7 nota-se que a leitura da taxa via Sonartrac é mais estável do que a do Elettromagnético. O maior ruído do Elettromagnético pode ser explicado pela influência da presença de magnetita na polpa além do desgaste dos eletrodos intrusivos, o que implica no uso de um filtro temporizador na lógica do PLC para controlar as válvulas de reagentes, ao passo que o Sonartrac não requer tal filtro.

4.3 Análise da Performance da Flotação

4.3.1 Análise estatística do período de agosto/2010 a janeiro/2011

Para avaliação da performance da flotação no período em que o Sonartrac estava no controle da adição de Amina, utilizou-se dos dados de PI para avaliar a influência deste equipamento na operação da flotação. Para tanto, foi realizado levantamento estatístico diário dos parâmetros do Circuito A da flotação, considerando apenas os dias em que houve produção de Pellet Feed para Redução Direta (Meta de Brucutu). A Tabela 2 apresenta o comparativo das duas condições.

Tabela 2. Análise estatística comparativa da performance da flotação do circuito A nos períodos de 01/08/2010 a 03/11/2010 (Elettromagnético) e 04/11/2010 a 31/01/2011 (Sonartrac)

Estatística	Recuperação Mássica		Fe Alimentação		Fe Concentrado		Fe Rejeito	
	Elettrom.	Sonartrac	Elettrom.	Sonartrac	Elettrom.	Sonartrac	Elettrom.	Sonartrac
Média	71,48%	74,07%	53,72	55,24	68,27	68,34	17,25	17,81
Mediana	72,05%	73,35%	53,64	55,17	68,20	68,32	16,81	17,90
Desvio padrão	3,23%	2,71%	1,24	1,34	0,16	0,19	3,25	2,62
Variância da amostra	0,10%	0,07%	1,54	1,80	0,03	0,03	10,57	6,87
Mínimo	64,51%	68,39%	50,86	51,96	68,02	68,04	12,79	14,11
Máximo	77,31%	79,37%	56,23	57,90	68,68	68,74	25,45	26,43

Da Tabela 2 se pode concluir que a performance dos dois equipamentos para as datas citadas foram similares. A maior recuperação mássica no período de atuação do Sonartrac pode ser explicada pelo maior teor de Fe na alimentação da flotação.

4.3.2 Análise estatística do período de agosto/2010 a janeiro/2011

Para eliminar possíveis desvios de qualidade física, química e mineralógica da alimentação nova da Usina, foi realizado um teste com uma pilha formada no pátio de homogeneização de Brucutu, a partir da qual foram coletadas amostras e realizadas análises de química global dos fluxos de alimentação, concentrado e rejeito do estágio Rougher nas duas linhas do Circuito A da Flotação.

A Figura 8 apresenta o resultado alcançado, bem como a média consumida de solução de amina durante a operação de ambos os medidores para os seguintes períodos:

- 10:30 a 12:30 – adição de amina via Sonartrac;
- 13:30 a 15:30 – adição de amina via Eletromagnético.

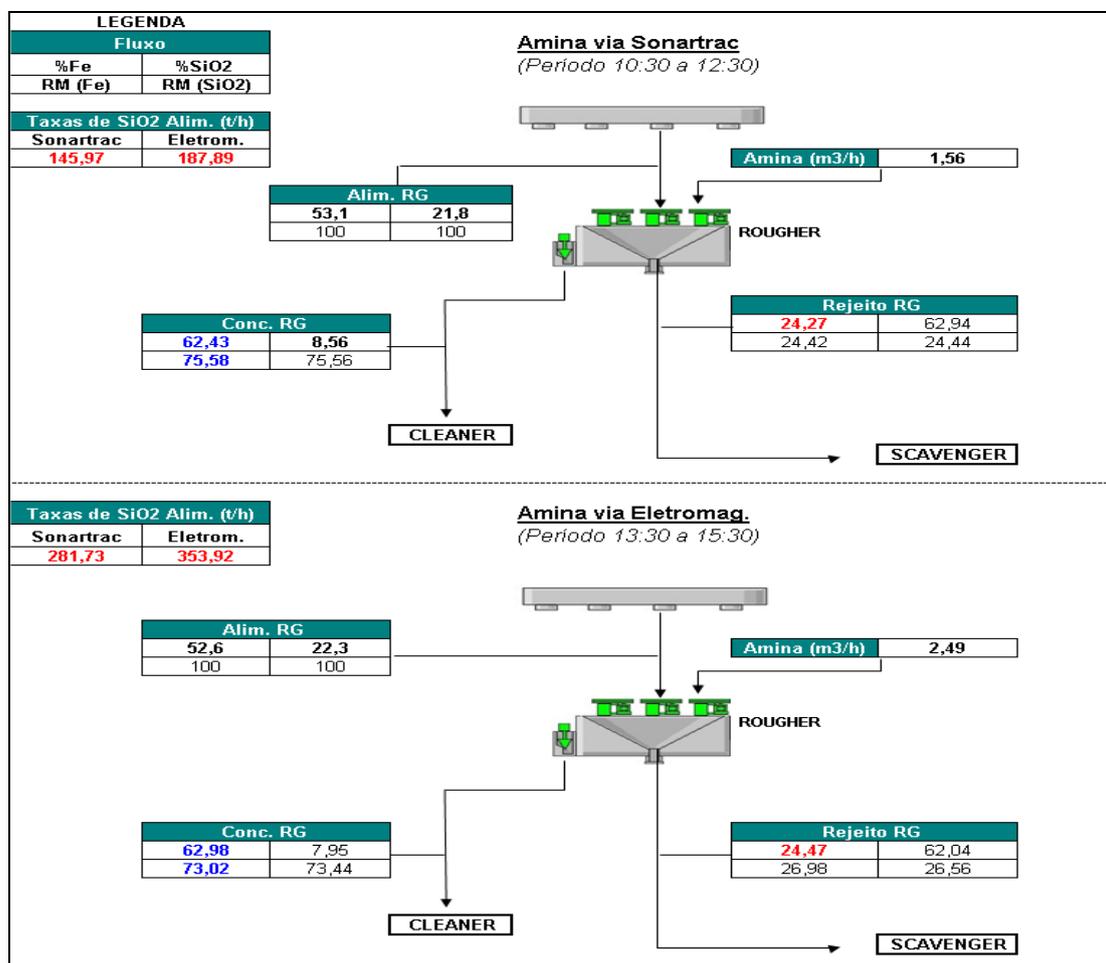


Figura 8. Balanço de Massas no estágio Rougher da flotação – Sonartrac x Eletromagnético.⁽⁴⁾

Do balanço de massas acima realizado no estágio Rougher da Flotação, pode-se notar uma recuperação de massa maior para o Sonartrac. No entanto, não se pode afirmar que o ganho é real, pois a alimentação do Sonartrac estava mais rica, logo é esperada uma recuperação em massa maior e para um concentrado mais rico é esperado uma recuperação em massa menor. A diferença de recuperação pode ser explicada também por pequenas variações no processo e erros implícitos na amostragem e análise.

Também nota-se um consumo menor de Amina no período em que o Sonartrac esteve no controle. Entretanto este ganho não é função do Sonartrac, pois as taxas de massa de SiO₂

aumentaram em torno de 90% para o segundo período, que faz com que necessariamente haja um consumo maior de Amina para a mesma dosagem específica de todo o teste, ou seja, 300 g/t de massa alimentada de SiO₂.

5 DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

O equipamento medidor de vazão Sonartrac apresentou, ao longo do período testado, vantagens do ponto de vista de manutenção, instrumentação e controle em relação ao medidor Eletromagnético, que foram:

- o equipamento é não-intrusivo (sem contato com o processo) eliminando desgastes e manutenção das partes do instrumento;
- não necessita de um plano de calibração, pois o mesmo é ajustado uma única vez no *start-up*;
- possui maior estabilidade na medição de vazão, não necessitando valor de dumping de amortecimento, o que minimiza o erro na medição;
- possui uma interface adequada, de fácil entendimento, permitindo ao usuário navegar nos menus sem dificuldade;
- possui fácil montagem e desmontagem sem necessidade de paralisação do processo, além de redução no custo de manutenção e operação;
- redução de paradas; e
- melhoria nas condições de trabalho de manutenção frente às RAC's.

Do ponto de vista de processo, pode-se concluir que a instalação do Sonartrac na alimentação da flotação foi vantajosa devido a este possuir maior estabilidade de leitura, eliminando a influência da magnetita, da qual resulta em ruído para o medidor eletromagnético, necessitando de filtro na lógica para estabilização do controle de reagentes.

Agradecimentos

A toda equipe de Engenharia de Processo pela condução de todo o trabalho. A empresa Metroval pelo fornecimento do equipamento testado. Às gerências de Operação e Manutenção da usina de Brucutu pelo inestimável apoio na realização dos testes.

REFERÊNCIAS

- 1 CIASEY. Pag 1. Disponível em: <[http:// www.ciasey.com.br](http://www.ciasey.com.br)>. Acesso em: 28/02/2011.
- 2 Relatório Sonartrac™ – Como funciona; São Paulo, 2010.
- 3 Relatórios de produção diários de Brucutu; Mina de Brucutu; São Gonçalo do Rio Abaixo, 2010.
- 4 Relatório técnico SAT 1421 – Avaliação de performance do medidor de vazão Sonartrac na alimentação da flotação de Brucutu; Mina de Brucutu; São Gonçalo do Rio Abaixo, 2011.