BALANÇO DE MASSAS E METALÚRGICO DA USINA DO SOSSEGO

Anderson M. Mendonça[1], Maurício G. Bergerman[1], Ronaldo A. Fonseca[1], Luis R. Machado[1], Marco A. N. Rosa[1]
[1] Vale, Departamento do Cobre
Mina do Sossego, Canaã dos Carajás, PA, 68537-000
anderson.miranda@vale.com

RESUMO

A etapa de balanço de massas e metalúrgico é de fundamental importância em usinas de beneficiamento mineral, para que se possa avaliar de forma adequada como o mineral de interesse está se comportando no processo de concentração. Ele se baseia na aplicação da Lei de Lavoisier, que define que a massa de um determinado elemento que alimenta uma operação de beneficiamento mineral deve ser a mesma que sai nos produtos. Não pode ocorrer geração ou perda de massa. No entanto, na prática industrial do tratamento de minérios, nem sempre as medidas disponíveis para os diversos fluxos de determinada usina permitem o fechamento adequado de um balanço. Os balanços de massa e metalúrgico de um circuito podem ser estimados através de vários procedimentos independentes. Se os valores medidos não contivessem erros, todos os procedimentos gerariam os mesmos resultados. No entanto, isto não se observa na prática, tendo em vista que a medida experimental está sujeita a erros provenientes de várias fontes, citadas anteriormente, e que acabam por não satisfazer os princípios da conservação de massas. Desta forma, é necessária a realização de ajustes, utilizando-se métodos matemáticos, a fim de se obterem valores consistentes. Diversos *softwares* disponíveis no mercado possuem ferramentas adequadas para este fim que requerem como parâmetro de entrada, além dos valores medidos em campo, qual o desvio associado a esta medida.
Este trabalho apresenta a metodologia desenvolvida na usina de concentração do Sossego para estimar as medidas das variáveis operacionais que devem ser levadas em conta no balanço de massas e metalúrgico, assim como os desvios das medidas experimentais, a fim de subsidiar a etapa de ajuste dos dados medidos em campo. Foi feita também uma avaliação de quais valores medidos em campo possuem maior impacto sobre o valor final da recuperação metalúrgica.

PALAVRAS-CHAVE: balanço de massa e metalúrgico, amostragem, recuperação metalúrgica, cobre

1. INTRODUÇÃO

Segundo Chaves (1996), o balanço de uma usina, seja de massas, metalúrgico ou de água, é o conceito mais importante do Tratamento de Minérios. Ele consiste em nada mais nada menos que a aplicação da Lei de Lavoisier: todas as massas que entram numa operação de tratamento têm que sair em seus produtos – não há geração, nem consumo de massa no Tratamento de Minérios. Os balanços de massa e metalúrgico de um circuito podem ser estimados através de vários procedimentos independentes. Se os valores medidos não contivessem erros, todos os procedimentos gerariam os mesmos resultados. No entanto, isto não se observa na prática, tendo em vista que a medida experimental está sujeita a erros provenientes de várias fontes, citadas anteriormente, e que acabam por não satisfazer os princípios da conservação de massas. Desta forma, é necessária a realização de ajustes, utilizando-se métodos matemáticos, a fim de se obterem valores consistentes. O uso desses procedimentos matemáticos para ajustes dos dados não dispensa o conhecimento técnico por parte de quem formula a solução, pois é necessária uma análise crítica das respostas, que poderão ser corretas do ponto de vista matemático, mas nem sempre serão verdadeiras no que se refere ao beneficiamento mineral (NUNES, 1992).

O Balanço de massas e metalúrgico de uma usina de beneficiamento é peça fundamental para se avaliar o desempenho do processo de concentração da mesma, verificando assim o quanto do elemento útil está sendo recuperado, quanto está sendo perdido, avalia a eficiência de cada etapa do processo, a qualidade dos produtos, entre outros, permitindo a avaliação gerencial dos resultados obtidos na usina, bem como o levantamento de ações para melhorias e otimizações no processo produtivo. O assunto é tão importante que tem merecido atenção recente de entidades ligadas ao setor mineral (AMIRA, 2007).

Em geral, para todos os dados coletados, existem desvios associados, que se devem aos desvios associados a cada equipamento, preparação da amostra e análise no laboratório químico. Esses dados medidos em campo podem ser tratados em softwares adequados para o fechamento do balanço de massa e metalúrgico, gerando o chamado balanço corrigido ou calculado de uma planta. Em geral, o balanço calculado a partir apenas dos dados brutos resulta em valores irreais, já que não consideram os erros comentados acima.

O desafio que se coloca para os responsáveis pelo balanço de massas e metalúrgico, de uma usina de beneficiamento mineral, é o de quantificar as diversas variáveis de interesse, além de definir os desvios atribuídos as variáveis medidas em campo. É preciso que se realizem análises detalhadas do processo em questão para se definir quais variáveis devem ser medidas, e posteriormente definir o valor dos desvios para cada variável. Aonde os valores podem ser medidos com redundância, a comparação de resultados pode ajudar na identificação dos desvios. Caso não existam redundâncias, amostragens são necessárias de forma a se determinar os desvios.

A usina do Sossego possui um circuito de cominuição e de concentração do minério de cobre por flotação. O fluxograma de processo ddetalhado é descrito em Nankran e outros (2007). Por beneficiar um minério de alto valor agregado, a correta realização do balanço de massas e metalúrgico se mostra de grande importância, de forma a se garantir o melhor desempenho do processo.

2. METODOLOGIA

Para avaliação de quais variáveis devem ser medidas para elaboração do balanço de massa, assim como a definição dos desvios associados aos dados medidos em campo, realizamos inicialmente um levantamento de que pontos do processo são coletados dados que devem ser usados no balanço. A Figura 1 ilustra este levantamento.

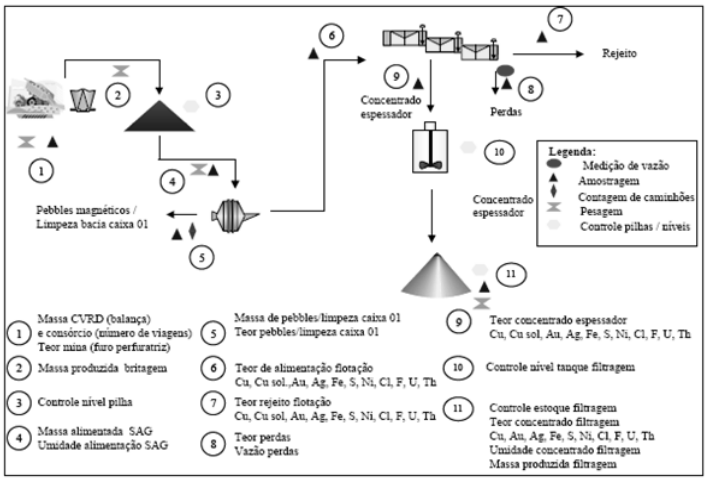

Figura 1 – Fluxograma do processo da usina do Sossego com os pontos de coleta de informações

O balanço de massas realizado na usina do Sossego visa quantificar a massa de cobre alimentada na usina (pontos 1 e 4 da Figura 1) e os produtos (pontos 7 e 11 da Figura 1). A seguir, é explicado como foi feita a quantificação de massa e teor e dos desvios e de cada um dos pontos ilustrados.

2.1. Alimentação da usina

A fim de se determinar os desvios desta medida, foram realizadas análises comparativas das massas totais de sólidos computadas nas balanças instaladas nos caminhões que alimentam a britagem primária (ponto 1 da Figura 1), balança da correia transportadora do produto da britagem primária (ponto 2 da Figura 1) e balança da correia transportadora que alimenta o circuito de cominuição (ponto 4 da Figura 1) mensalmente, a longo de um ano. Como entre a britagem primária e o circuito de cominuição existe uma pilha pulmão, o nível desta era controlado mensalmente, de forma a se ter um fechamento mensal do nível do estoque.

A fim de se melhorar a quantificação da massa seca que efetivamente alimenta o moinho (em geral, este material tem uma umidade de 1 a 3%), foi instalado um medidos de umidade *on line* na correia transportadora. Este equipamento realiza medição por microondas. Para se avaliar a precisão do mesmo, foram realizadas amostragens semanais para se comparar os resultados de umidade. Para a amostragem, a correia é parada, retira-se uma alíquota de 1 m da correia, embala-se a mesma em sacos plásticos, para evitar perda de umidade, e encaminha-se ao laboratório para análise. O resultado é comparado com o medido pelo equipamento de análise *on line*.

2.2 Massa e teor de pebbles

O produto grosseiro do moinho semi-autógeno alimenta uma etapa de rebritagem. Como este produto é composto por minério (chamado de *pebble*) e fragmentos de até 4” de bolas de aço do moinho, é preciso realizar uma etapa de separação magnética a fim de se retirar estes corpos moedores, que poderiam danificar os rebritadores. No entanto, como parte dos *pebbles* possui grandes quantidades de magnetita, eles acabam por sair do circuito junto com os corpos moedores. Este material é encaminhado a uma separação manual, aonde os corpos moedores são separados, podendo-se em seguida retornar com os *pebbles* ao circuito de cominuição. No entanto, como este material passa novamente pela balança da correia de alimentação do moinho semi-autógeno, é preciso controlar a sua massa, para posterior ajuste da massa total alimentada ao moinho. Caso este massa não seja descontada, ela seria computada duas vezes. Além disso, é importante se controlar o teor deste material, para garantir o correto calculo do teor alimentado pela mina. Este fluxo é o ponto 5 da Figura 1.

Desta forma, para se efetuar o controle de massa deste fluxo, é realizado um controle de quantidade e peso dos caminhões que efetuam a retirada deste material da usina. Para determinação do teor, uma amostragem manual é realizada diariamente, de forma aleatória ao longo da pilha de estocagem deste material na usina. Neste caso, por se tratar de uma pequena massa, não foi feito nenhum estudo para se determinar com precisão o desvio da medida, que é sabidamente grande pelo caráter do controle. A Figura 3 ilustra a pilha de acumulo deste material na usina e a amostragem manual dos *pebbles*.

Figura 3 – Pilha de acumulo dos pebbles e corpos moedores na usina (direita) e amostragem manual dos *pebbles* (esquerda)

2.3 Teores de alimentação, concentrado e rejeito da flotação

A flotação da usina do Sossego possui amostradores metalúrgicos, do tipo cortador de fluxo, que fazem uma amostragem representativa do fluxo da alimentação, concentrado e rejeito da usina, a cada 15 minutos (pontos 6, 7 e 9 da Figura 1) . A Figura 4 ilustra este equipamento.

Figura 4 – Amostrador metalúrgico cross cut (esquerda) e sistema completo de amostragem (direita)

As amostras coletadas são compostas a cada turno de operação da usina, e encaminhadas ao final deste período para o laboratório químico para determinação dos teores de cobre, cobre solúvel, ouro, prata, ferro, enxofre, níquel flúor e cloro. Com esses resultados, pode-se realizar o balanço metalúrgico da flotação, e aferir também o valor de massa alimentada e produzida na usina, medidas nos pontos 4 e 11 da Figura 1. Caso se observem diferenças significativas nos fechamento do balanço pelos teores e pela massa, deve-se avaliar algum possível problema nas balanças ou no sistema de amostragem. É importante que se mantenha o sistema de amostragem em operação continuamente, se atentando para possíveis desvios, como pequenos ou grandes volumes de amostras, existência de fluxo mesmo quando o cortador de fluxo não está realizando um corte, entre outros. Uma vez garantida a correta operação e manutenção destes amostradores, é preciso se avaliar o desvio das medidas por ele efetuadas, assim como possíveis desvios existentes na preparação e análise química da amostra no laboratório. Para isso, foram realizados os seguintes procedimentos, ao longo de um ano, repetidos mensalmente:

- Coleta de amostras em intervalos de tempo de 10 s em cada amostrador, por um período de um minuto, para se avaliar o desvio da amostragem. Parte-se do pressuposto de que em um pequeno intervalo de tempo, dado o grande volume do fluxo (em torno de 6.000 m3/h para alimentação e rejeito e 500 m3/h para concentrado), a amostra deve ser homogênea. As amostras foram analisadas individualmente e tirou-se a média das 10 amostras coletadas e calculou-se o desvio padrão.

- Coleta de amostras em intervalos de 5 minutos, por um período de 40 minutos, para se avaliar se o tempo de corte do amostrador (15 minutos) está adequado. As amostras foram analisadas individualmente e em seguida realizou-se a composição dos resultados ponderados das amostras dos minutos 5, 10 e 15, comparando-se o resultado com a amostra coletada a cada 15 minutos.

- Coleta de amostra manual para comparação com a coletada no amostrador metalúrgico: caso o amostrador metalúrgico tenha um problema mecânico e fique indisponível por um pequeno intervalo de tempo, a amostragem terá que ser realizada manualmente. A fim de se avaliar qual o desvio desta amostragem, foi realizado uma amostragem a cada 5 minutos, no mesmo momento, no amostrador metalúrgico e de forma manual.

- Verificação dos desvios de preparação e análise do laboratório: Foi preparada uma amostra padrão, devidamente homogenizada em pilha alongada por três vezes e em seguida quarteada com o auxilio de um quarteador rotativo. As diversas alíquotas preparadas foram embaladas e enviadas para preparação e análise química em momento diferentes ao longo do mês. Os resultados de cada alíquota são comparados e calculou-se o desvio padrão.

2.4. Massa, umidade e teor do concentrado final

Após a filtragem do concentrado final da flotação, é realizada mais uma amostragem, manual, no carregamento dos caminhões que fazem a expedição do produto (ponto 11 da Figura 1). É retirada uma alíquota de cada concha da pá carregadeira que faz esse carregamento. Nesta amostra, além da análise química para os mesmo elementos químicos já citados, é realizada uma medida de umidade. Para controle da massa, é feita uma pesagem dos caminhões em balança estática, antes e depois do carregamento. Com isso, obtém o valor preciso da produção, tendo em vista a alta precisão deste tipo de balança (em torno de 0,01%, conforme laudos anuais de calibração). Desta forma, para o valor de massa, não foi realizado nenhum estudo para avaliação do desvio. É importante atentar para o nível do tanque de alimentação da filtragem (ponto 10), no momento de se reconciliar a massa pesada pelos caminhões com a efetivamente produzida na flotação. Quanto ao teor e umidade, foi realizada uma amostragem comparativa, retirando-se diversas alíquotas da mesma concha da pá carregadeira, e comparando-se os resultados obtidos.

2.5. Avaliação do impacto de cada medida no balanço de massas

Uma vez definidas todas as variáveis que devem ser medidas para o fechamento do balanço de massas e metalúrgico do Sossego, e quantificado os seus desvios, foi realizada uma simulação, a fim de se avaliar o impacto de cada variável, considerando o seu intervalo de desvio, no resultado final do balanço da usina. Cada variável foi simulada individualmente, considerando o valor medido mais o desvio máximo ou mínimo. Após a simulação individual de cada variável, foi possível uma priorização de quais variáveis possuem maior impacto no resultado do balanço.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Alimentação da usina

A Tabela I ilustra os resultados de massa processada nas balanças dos caminhões da usina, correia transportadora da britagem e correia transportadora de alimentação do moinho semi-autógeno.

Tabela I – Valores de massa medida na mina, britagem e usina em 2008

Ponto / mês	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Anual
Caminhões – ponto 1	745.783	994.951	1.091.387	1.046.770	856.996	1.218.130	1.020.056	893.543	1.160.959	1.264.556	1.096.243	908.946	12.298.320
Britagem – ponto 2	742.340	1.013.067	1.148.286	1.048.840	868.420	1.208.340	1.071.562	948.870	1.182.230	1.277.360	1.176.450	950.400	12.636.165
Usina – ponto 4	869.685	976.202	1.122.693	1.078.030	898.271	1.108.760	1.099.586	967.066	1.152.790	1.234.920	1.074.549	967.780	12.550.332

A diferença observada entre as três balanças é da ordem de 200.000 t, o que reflete a massa acumulada na pilha pulmão e o desconto de massa devido a umidade, que é realizado apenas na alimentação do moinho semi-autógeno. Este valor deve ser sempre monitorado e comparado com o volume de material armazenado na pilha pulmão. Divergência entre os valores devem motivar uma análise dos equipamentos para se identificar qual pode apresentar problemas. Deve-se ressaltar também que uma correta calibração das balanças, tanto dos caminhões como das correias transportadoras, respeitando os intervalos de tempo acordados entre manutenção e processo são essenciais para se manter estes valores dentro dos limites aceitáveis.

A figura 5 abaixo ilustra os resultados obtidos com o medidor de umidade.

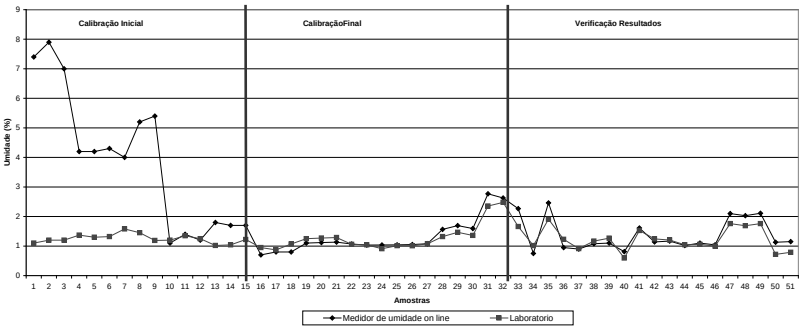

Figura 5 – Comparativo entre o resultado medido pelo medidor de umidade *on line* e o laboratório

Pode-se observar que após o período de calibração, os resultados medidos pelo medidor *on line* apresentam boa aderência aos resultados medidos no laboratório. Desta forma, para efeito do balanço de massas e metalúrgico, pode-se considerar o desvio do valor de umidade como muito baixo, por não impactar de forma significativa o valor mensal de massa alimentada na usina.

3.2 Massa e teor de *pebbles*

O controle da massa de *pebbles* retirados mensalmente da usina mostrou que se trata de um valor em torno de 10.000 t/mês, massa significativa que deve ser levada em conta no calculo do balanço de massas. Quanto ao teor, pudemos observar que o mesmo possui grande variabilidade, mas ao se realizar a composição mensal, ponderando-se a massa e o teor de *pebbles* e a massa e o teor da flotação, não existe impacto sobre o teor de alimentação da usina. A figura 6 ilustra a variabilidade do teor dos *pebbles* ao longo de 5 meses, enquanto a Tabela II compara o teor de *pebbles* com o teor de alimentação da flotação em base mensal.

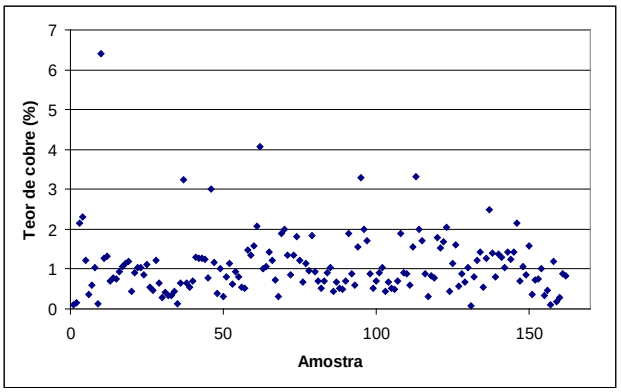

Figura 6 – Teor de cobre contido nos pebbles amostrados na usina

Tabela II – Comparação entre os teores de pebbles e os teores de alimentação da flotação (2008)

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Ano
Pebbles (% Cu)	0,91	1,16	1,22	1,26	1,16	1,11	1,10	1,03	1,29	0,7	0,72	1,23	1,07
Flotação (% Cu)	1,11	1,11	1,10	1,22	1,17	1,14	1,07	1,00	1,13	1,08	0,89	1,19	1,10
Global (% Cu)	1,11	1,11	1,10	1,22	1,17	1,14	1,07	1,00	1,13	1,08	0,89	1,19	1,10

3.3. Teores de alimentação, concentrado e rejeito da usina

A seguir são ilustrados os resultados obtidos nas amostragens para controle dos desvios de valores medidos dos teores de alimentação, concentrado e rejeito da usina.

- Coleta de amostras em intervalos de tempo de 10 s:

A Tabela III apresenta os dados de uma das coletas de amostras realizadas nos amostradores metalúrgicos da alimentação, do concentrado e do rejeito da flotação da usina do Sossego a cada 10 s.

Tabela III – Resultados da coleta de amostras a cada 10 s nos amostradores metalúrgicos

	Medida (s)								Média	Desvio padrão
	0	10	20	30	40	50	60	70		
Alimentação	1,09	1,10	1,11	1,08	1,0	1,10	1,11	1,14	1,10	0,02
Concentrado	0,062	0,069	0,064	0,063	0,058	0,06	0,063	0,068	0,063	0,003
Rejeito	29,58	29,65	29,61	29,46	29,65	29,89	29,81	29,94	29,70	0,17

Podemos observar que os desvios foram muito baixos. Assim, considera-se que o desvio da medida dos teores da flotação devido a amostragem são muito baixos.

- Coleta de amostras em intervalos de 5 minutos e coleta de amostra manual para comparação com a coletada no amostrador metalúrgico

A Tabela IV apresenta os resultados da coleta de amostras a cada 5 minutos, para verificação do tempo ideal de amostragem, assim como a amostragem comparativa entre o amostrador metalúrgico e o amostrado manual.

Tabela IV – Resultados da coleta de amostras em intervalos de 5 minutos e coleta de amostra manual para comparação com a coletada no amostrador metalúrgico

	Medida (s)								Média	Média 10 min	Média 15 min	Média 20 min
	0	5	10	15	20	25	30	35				
Alimentação – amostrador industrial	0,795	0,865	0,889	0,945	0,972	1,035	1,074	1,107	0,953	0,928	0,93	0,892
Alimentação – amostrador manual	0,833	0,799	0,825	0,888	0,984	1,02	1,09	1,071	0,93	0,922	0,927	0,921
Concentrado – amostrador industrial	29,59	29,41	29,25	29,39	29,53	29,64	29,46	29,74	29,498	29,443	29,4598	29,555
Concentrado – amostrador manual	29,79	29,64	29,65	29,55	29,85	29,93	30,09	29,89	29,79	29,835	29,805	29,824
Rejeito – amostrador industrial	0,057	0,054	0,056	0,057	0,059	0,059	0,058	0,06	0,057	0,057	0,057	0,058
Rejeito – amostrador manual	0,058	0,06	0,056	0,053	0,057	0,054	0,054	0,052	0,056	0,056	0,055	0,,058

- Verificação dos desvios de preparação e análise do laboratório

A Tabela V indica os resultados do controle realizado junto ao laboratório, com o envio de uma amostra padrão, para se determinar o desvio devido a preparação e análise química das amostras de alimentação, concentrado e rejeito da usina.

Tabela V – Resultados da verificação dos desvios de preparação e análise do laboratório químico

	Medidas										Média	Desvio padrão
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Alimentação	0,683	0,686	0,673	0,687	0,68	0,683	0,694	0,686	0,685	0,690	0,685	0,006
Concentrado	30,980	30,995	30,870	31,015	30,91	31,005	31,05	31,05	31,05	30,93	31,01	0,063
Rejeito	0,102	0,108	0,105	0,105	0,104	0,103	0,103	0,107	0,102	0,099	0,104	0,003

Podemos observar que o envio de amostras similares ao laboratório permitiu a estimativa dos desvios de cada medida. O desvio de todas as medidas é baixo, e tendem a aumentar conforme menor o teor de cobre da amostra.

3.4. Massa, umidade e teor do concentrado final

A Tabela VI apresenta os resultados da amostragem realizada para determinação do desvio da medida de umidade do concentrado final.

Tabela VI – Medição do desvio do teor de umidade do concentrado final

	Medida										Média	Desvio padrão
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Filtro 1	10,34	10,78	11,30	10,14	10,77	10,69	10,09	10,13	10,41	10,60	10,52	0,38
Filtro 2	10,06	10,20	10,42	10,39	10,39	10,70	10,96	10,50	10,64	11,63	10,59	0,45

3.5. Avaliação do impacto de cada medida no balanço de massas

A Tabela VII ilustra uma das simulações realizadas para avaliar o impacto de cada desvio na recuperação metalúrgica. No caso, é apresenta o impacto do desvio do teor de alimentação. Ressalta-se que as variações atualmente observadas, devido ao desvio da medida do teor de alimentação, são da ordem de 1%. No entanto, este valor deve ser constantemente monitorado, pois valores altos de desvio, como os simulados abaixo, podem impactar de forma significativa o valor final de recuperação metalúrgica.

Tabela VII – Avaliação do impacto do desvio do teor de alimentação no balanço de massas erros.

	-5% no teor de alimentação	-2% no teor de alimentação	Teor de alimentação padrão	+2% no teor de alimentação	+5% no teor de alimentação
Teor cobre alimentação (%)	1,10	1,14	1,16	1,18	1,22
Teor de cobre concentrado (%)	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Teor de cobre rejeito (%)	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Recuperação metalúrgica (%)	98,27	95,26	93,35	91,52	88,91

Para a íntegra das simulações, não apresentadas neste trabalho, observamos que as variáveis que mais podem impactar a recuperação metalúrgica, devido a seus desvios, são as seguintes, apresentadas em ordem de relevância: teor de alimentação, teor de concentrado, teor de rejeito, balança do moinho semi-autógeno, umidade da alimentação do moinho semi-autógeno, material que sai do circuito (*pebbles*), medição de umidade do concentrado e balança da filtragem

4. CONCLUSÕES

Com base nas análises realizadas, observou-se que a recuperação metalúrgica sofre influência das diversas medidas utilizadas em seu cálculo. Em função disso, pequenos desvios em alguma das medidas podem gerar grandes variações no valor de recuperação, gerando valores irreais. Foi verificado que o principal item que impacta a diferença entre as recuperações são os erros no teor de alimentação, seguido pelos erros no teor de concentrado. Para que o balanço de massa e metalúrgico da usina se mostre sempre confiável, é importante que se tenha o adequado mapeamento de quais dados devem ser usados nos cálculos, assim como a correta estimativa dos desvios de cada medida, que devem ser medidos e monitorados constantemente, para que ao primeiro sinal de problemas, passa-se corrigir eventuais falhas, evitando-se assim a geração de dados com desvios excessivos, que poderiam assim gerar resultados não reais de recuperação.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amira International, P754: Metal accouting – code of practice and guidelines: release 3. South Africa, 253 p. 2007.

Chaves, A.P. Teoria e prática do tratamento de minérios. São Paulo: Signus Editora, 1996. vol. 1.

Chieregati, A. C. Reconciliação pró-ativa em empreendimentos mineiros. 2007. 201 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

François-Bongarçon, D. & GY, P. Critical aspects in mill and plants: a guide to understanding sampling audits. In: Journal of the South African IMM, vol. 102, nº 8, South Africa. 2002.

Girodo, A.C. Amostragem de minérios para propósitos de desenvolvimento de processos e projetos industriais. Apostila do curso de amostragem. Escola de Engenharia de Minas, UFMG, Belo Horizonte. 1999.

Nankran, M.; Bergerman, M.; Miranda,A.; Oliveira, J.; Souza, M.; Batista Filho, J.; Cardoso, W. Controle operacional da usina do sossego, Anais do XXI Encontro Nacional de Tratamento de minérios, p. 502 – 512, Ouro Preto, Brasil, 2007.

Vale, Considerações sobre o balanço de massas e metalúrgico da usina do Sossego: revisão 1. Carajás: Vale, 34 p. 2007. Relatório interno.