

2007

XXII ENTMME / VII MSHMT – Ouro Preto-MG, novembro 2007.

## RECONCILIAÇÃO × PROGNOSTICAÇÃO

Chieregati, A.C.<sup>1</sup>; Delboni Jr., H.<sup>1</sup>; Costa, J.F.C.L.<sup>2</sup>; Carneiro, F.B.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Depto. de Eng. de Minas e de Petróleo – Escola Politécnica da USP – Av. Prof. Mello Moraes, 2373 – São Paulo/SP;

<sup>2</sup> Depto. de Eng. de Minas – UFRGS – Av. Bento Gonçalves, 9500 – Porto Alegre/RS; <sup>3</sup> Rio Paracatu Mineração S/A –

Depto. de Planejamento de Lavra – Estrada do Machado, s/nº – Paracatu/MG  
 ana.chieregati@poli.usp.br; hdelboni@usp.br; jfelipe@ufrgs.br; fernanda.carneiro@kinross.com

### RESUMO

As práticas de reconciliação consistem na comparação entre as quantidades e teores de minério estimados pelos modelos da jazida e as quantidades e teores de minério produzidos na usina de beneficiamento. O resultado dessas comparações é geralmente um grupo de fatores que são aplicados a estimativas futuras, na tentativa de melhorar a previsão do desempenho de uma operação. Atualmente, a prática comum de reconciliação baseia-se na definição do *mine call factor* (MCF) e sua aplicação às estimativas dos modelos de recursos e de controle de teor. O MCF expressa a diferença entre a produção prevista pelos modelos e a produção registrada na usina e, portanto, sua aplicação permite uma correção nas estimativas dos modelos. Esta é uma prática de reconciliação reativa. Entretanto, a aplicação desses fatores às estimativas dos modelos pode mascarar as causas dos erros responsáveis pelas discrepâncias observadas. As causas reais de qualquer variância só podem ser identificadas analisando-se as informações referentes a cada variância e, em seguida, modificando metodologias e processos. Este é o conceito de prognosticação, ou reconciliação pró-ativa, um processo iterativo de recalibração constante das entradas de dados e dos cálculos. Portanto, a prognosticação permite uma correção das metodologias de coleta de dados, e não simplesmente uma correção das estimativas dos modelos. O presente trabalho analisa as práticas de reconciliação realizadas em uma mina de ouro no Brasil e sugere um novo protocolo de amostragem, com base nos conceitos de prognosticação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Reconciliação. Prognosticação. Amostragem.

### ABSTRACT

Reconciliation is the practice of comparing the tonnage and average grade of ore predicted from resource and grade control models with the tonnage and grade generated by the processing plant. The result is usually a group of factors, which are applied to future estimates in an attempt to better predict how the operation may perform. The common practice of reconciliation is based on definition of the *mine call factor* (MCF) and its application to resource or grade control estimates. The MCF expresses the difference, a ratio or percentage, between the predicted grade and the grade reported by the plant. Therefore, its application allows to correct model estimates. This practice is named reactive reconciliation. However, the use of generic factors that are applied across differing time scales and material types often disguises the causes of the error responsible for the discrepancy. The root causes of any given variance can only be identified by analyzing the information behind any variance and, then, making changes to methodologies and processes. This practice is named prognostication, or proactive reconciliation, an iterative process resulting in constant recalibration of the inputs and the calculations. The prognostication allows personnel to adjust processes so that results align within acceptable tolerance ranges, and not only to correct model estimates. This study analyses the reconciliation practices performed at a gold mine in Brazil and suggests a new sampling protocol, based on prognostication concepts.

**KEY-WORDS:** Reconciliation. Prognostication. Sampling.

<b>DIVISÃO DE BIBLIOTECAS DA</b> <b>EPUSP</b> <b>BIBLIOTECA DE ENG. DE MINAS</b> <b>E DE PETRÓLEO</b> <i>2007</i> <b>PRODUÇÃO DOCENTE</b>
--

## 1. INTRODUÇÃO

O empreendimento mineiro é caracterizado por uma seqüência de operações que envolvem disciplinas estanques e provenientes de áreas distintas de conhecimento. A crescente complexidade das operações unitárias individuais, bem como a necessária integração entre cada etapa, requerem um enfoque sistêmico, para que se obtenham níveis adequados de aproveitamento de recursos não-renováveis e desempenho econômico.

Nesse contexto inserem-se as práticas de reconciliação, que consistem na comparação entre as quantidades e teores de minério estimados pelos modelos da jazida e as quantidades e teores de minério produzidos na usina de beneficiamento. Grandes discrepâncias entre esses valores são um problema comum em diversas minas de ouro e de metal básico no mundo, fazendo-se necessária a adoção de estratégias que minimizem esse problema.

Historicamente, a reconciliação tem sido realizada de maneira reativa, i.e., comparando-se os valores de produção com os valores estimados pelos modelos e aplicando-se fatores, tais como o *mine call factor* (MCF), a estimativas futuras, na tentativa de melhorar a previsão do desempenho de uma operação. Entretanto, conforme observou Morley (2003), esta não é melhor prática industrial de reconciliação. Uma prática correta de reconciliação deve ser realizada de maneira pró-ativa, i.e., identificando as causas das variâncias observadas e modificando as metodologias de coleta de dados e os processos. Só assim podem ser tomadas ações que reduzam a variância a um nível aceitável.

A reconciliação é vista por muitos como um teste de qualidade das estimativas dos modelos, porém, sem uma amostragem adequada, capaz de gerar dados confiáveis, qualquer análise estatística perde o sentido. Quando uma amostra é extraída de uma massa maior de minério, ocorrem os erros de amostragem. Um ato correto de amostragem requer que todas as partículas pertencentes a um determinado lote tenham a mesma chance de ser extraídas. Este tipo de amostragem denomina-se amostragem não-enviesada. Devido à falta de conhecimento dos fundamentos da teoria de amostragem, muitas empresas perdem milhões por ano com problemas de reconciliação, traduzidos na precária otimização das operações de lavra e de beneficiamento, balanços metalúrgicos enviesados, concentrados subestimados, etc. Estudos demonstram que mesmo pequenas melhorias na amostragem resultam em melhorias significativas nos resultados de uma operação.

Os equipamentos de amostragem, ou amostradores, por sua vez, devem ser projetados de modo a garantir amostras não-enviesadas. E as técnicas de amostragem devem se basear em teorias que permitam minimizar os erros de amostragem, garantindo a coleta de amostras representativas. Nesse sentido, as técnicas estatísticas e geoestatísticas são uma ferramenta poderosa, pois permitem analisar os erros associados à amostragem utilizando variogramas e funções auxiliares.

O trabalho apresentado a seguir tem por objetivo desenvolver um sistema integrado de reconciliação pró-ativa, fundamentado no processo iterativo de análise de variâncias e correção de metodologias de coleta de amostras. Com base nesse sistema, são propostas alterações no protocolo de amostragem de um empreendimento mineiro, visando diminuir os erros de amostragem, aumentar a confiabilidade nos dados e melhorar as estimativas do modelo de recursos.

### 1.1 As Fontes de Erros

Uma reconciliação bem-sucedida pode ser ilusória. Em muitos casos, erros cometidos em algum ponto do processo são compensados por erros cometidos em outro ponto, resultando em reconciliações excelentes (Crawford, 2004). Porém, isto mascara os enviesamentos do sistema, que, mais cedo ou mais tarde, podem vir à tona.

A primeira, e mais óbvia, fonte de erros é a amostragem. Em certos casos, amostragens de furos de desmonte podem consistentemente subestimar ou superestimar o teor real de um corpo de minério. O enviesamento da amostragem é provavelmente o erro mais difícil de se medir e, certamente, merece uma consideração especial. Segundo Gy (1998), "a heterogeneidade é vista como a única fonte de todos os erros de amostragem" e é a única condição na qual um conjunto de unidades pode ser observado na prática.

A qualidade dos resultados de reconciliação depende da qualidade e da confiabilidade das amostras coletadas e do processo utilizado para gerar as estimativas dos modelos da jazida. A confiabilidade nos resultados de uma amostragem, por sua vez, depende das características da mineralização, da qualidade da amostragem, da preparação e da análise das amostras, e pode ser avaliada através da variabilidade do teor das amostras (precisão) e da acurácia dos resultados (enviesamento). A variabilidade dos resultados da amostragem pode ser dividida em três causas principais: (1) a heterogeneidade constitucional do material, (2) os erros de amostragem, incluindo os erros de preparação, e (3) os erros de análise. É de extrema importância compreender e quantificar esses erros, de modo que os resultados finais possam ser usados com confiança nos cálculos de reconciliação (Noppé, 2004).

## 1.2 Reconciliação x Prognosticação

A reconciliação é uma atividade desenvolvida na maior parte das empresas de mineração e pode ser definida como a comparação entre uma medição e uma estimativa, ou seja, entre a produção e a estimativa de produção. Divide-se o teor de metal produzido pelo teor estimado pelo modelo da jazida, e o resultado dessa comparação é um fator chamado de *mine call factor* (MCF), aplicado a futuras estimativas do modelo.

Entretanto, esta não é a melhor prática industrial de reconciliação, pois o principal objetivo de qualquer sistema de reconciliação não deve ser o de gerar fatores utilizados para corrigir estimativas, mas o de permitir ajustes nos processos de modo que os resultados estejam sempre dentro de limites aceitáveis.

A prognosticação é uma alternativa à reconciliação, e consiste em se coletar e analisar dados críticos, que são usados para calibrar estimativas em um processo iterativo. Os erros são analisados com a finalidade de se tomarem ações corretivas para assegurar que a diferença entre os valores estimados e os valores reais seja mínima. Desta maneira, as estimativas tornam-se previsões – ou prognósticos – e podem formar uma base para a tomada de decisões, assegurando que o que acontecerá no futuro corresponde ao que foi planejado no presente. Portanto, a prognosticação permite uma correção das metodologias de coleta de dados, e não simplesmente uma correção das estimativas dos modelos.

Práticas adequadas de reconciliação só são possíveis se houver informações de desempenho de todas as operações de lavra e de beneficiamento de minérios, informações estas que devem ser baseadas em dados de qualidade. Portanto, a otimização dos métodos de amostragem é de essencial importância para o desenvolvimento de um sistema confiável de reconciliação, pois é de uma amostragem correta que resultam dados de qualidade.

## 2. TRABALHOS EXPERIMENTAIS

Segundo Crawford (2004), a reconciliação não deve simplesmente avaliar os modelos de recursos e de controle de teor com base no produto final. Na prática, cada etapa da operação deve ser examinada seqüencialmente: do modelo de recursos para a mina, da mina para a usina, e da usina para a metalurgia ou produto final. O presente trabalho está focado na segunda etapa de reconciliação, ou seja, na etapa de comparação entre os teores da lavra (ou de controle de teor) e os teores alimentados na usina.

As estimativas para o planejamento de curto prazo são, em geral, baseadas em perfurações adicionais e em amostragens de frentes de lavra. Na maioria dos casos, utiliza-se amostragem do pó de perfuratriz proveniente dos furos de desmonte, o que apresenta duas vantagens principais: (a) o espaçamento entre os furos de desmonte é pequeno, resultando em uma densidade de amostragem relativamente alta por tonelada de material, e (b) já que os furos têm que ser perfurados de qualquer maneira, não há custo adicional de perfuração. Entretanto, na maioria das vezes as amostras coletadas dos furos de desmonte são pobres, e o material recuperado apresenta segregação de partículas, não sendo representativo da amostra total (Schofield, 2001). A precisão de amostragens de furos de desmonte geralmente é baixa, mas o problema mais sério é o enviesamento das amostras causado pela segregação de densidade e de tamanho das partículas. Uma das principais causas desse enviesamento é a perda de finos, o que pode levar a uma subestimativa ou a uma superestimativa do teor do minério (Snowden, 1993).

De acordo com François-Bongarçon & Gy (2002), uma amostra é correta se qualquer fragmento do lote tiver a mesma probabilidade de ser selecionado. Esta condição garante o não-enviesamento da amostra, visto que qualquer viés iria anulá-la. Assim, fica possível formalizar o conceito de representatividade de uma amostra: uma amostra é considerada representativa quando as duas seguintes condições forem satisfeitas: a amostra é acurada (correta ou não-enviesada) e precisa (suficientemente reproduzível). Na prática, os métodos corretos de coleta de amostras não são tão simples. Mas como o risco de enviesamento é inaceitável, devemos procurar utilizar amostradores e procedimentos de amostragem corretos. Qualquer amostrador ou procedimento eventualmente incorreto deve ser substituído, pois, neste caso, não se pode garantir o não-enviesamento das amostras e, consequentemente, sua representatividade.

O procedimento de coleta de amostras anteriormente realizado na mina em estudo, para o planejamento de curto prazo, era a amostragem manual por pá. Eram retirados 4 incrementos da pilha de material depositado ao redor de cada furo de desmonte a ser amostrado, compondo uma amostra com massa aproximada de 3 kg. Além da perda de finos durante a perfuração, a inconformidade da amostragem manual por pá com a teoria da amostragem reside no fato de a mesma não ser probabilística, pois pressupõe que as partículas dispostas nas porções inalcançáveis pela pá apresentam as mesmas características de qualidade das partículas dispostas nas porções mais externas e superficiais da pilha. Assim, nesse tipo de amostragem, além da variabilidade existente entre as partículas, os erros de amostragem são influenciados pela disposição das partículas no interior do lote. Em consequência, a precisão da amostragem manual não pode ser estimada, tornando-a não confiável (Grigorieff et al., 2002).

## 2.1 Amostrador Setorial

O procedimento experimental adotado neste trabalho objetivou minimizar os erros anteriormente descritos, desenvolvendo um amostrador que pudesse diminuir a perda de finos e aumentar a representatividade das amostras. A alternativa escolhida foi a utilização de um amostrador setorial estacionário, proposto por Pitard (1993), colocado ao redor do furo de desmonte. Este tipo de amostrador minimiza os riscos de contaminação do material e os erros cometidos na amostragem manual. Ao amostrador proposto por Pitard, foi sugerida uma modificação visando minimizar a perda de finos, um problema constante na amostragem de furos de desmonte. Essa modificação consistiu em adicionar uma cúpula semi-esférica ao amostrador, de modo que todo o material proveniente do furo pudesse ser coletado, diminuindo, assim, o enviesamento das amostras. A cúpula foi construída em material acrílico e possui a forma de uma semi-esfera, respeitando as condições de correção de extração da amostra. O amostrador setorial proposto está ilustrado na Figura 1.

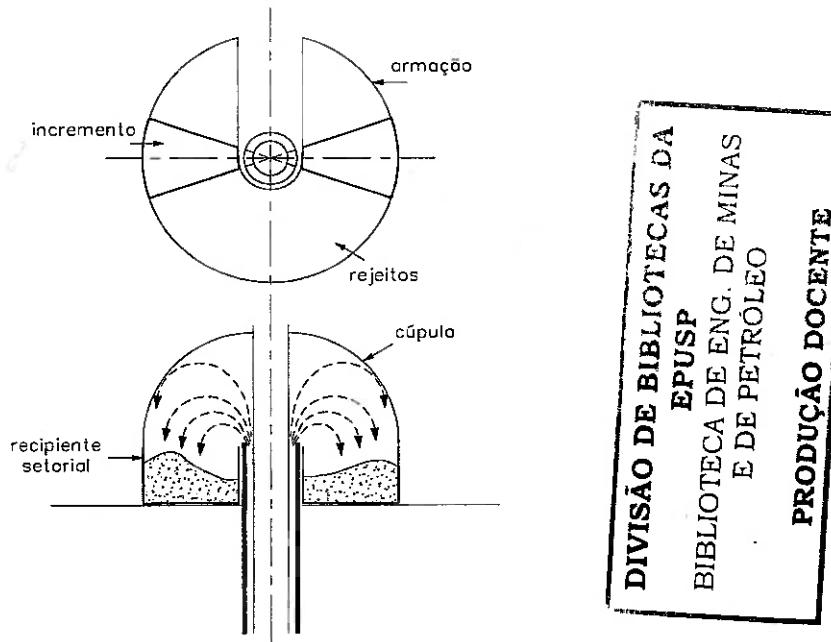


Figura 1 – Amostrador setorial com cúpula para captação de finos.

O amostrador setorial é encaixado à lança da perfuratriz e gera duas amostras, uma por recipiente, cada uma pesando, em média, 3 kg. Os recipientes setoriais são dispostos em dois quadrantes do amostrador e suas arestas são alinhadas com o centro do furo. Cada recipiente coleta um setor da amostra, em forma de pizza, e o restante do material é descartado. Este amostrador é dimensionado de modo que a amostra coletada seja correta, seguindo a teoria de amostragem de Pierre Gy. O equipamento deve dar chances iguais de seleção para todas as partículas do lote e, também, deve amostrar todo o comprimento do furo. A Figura 2 mostra o amostrador encaixado à lança da perfuratriz.

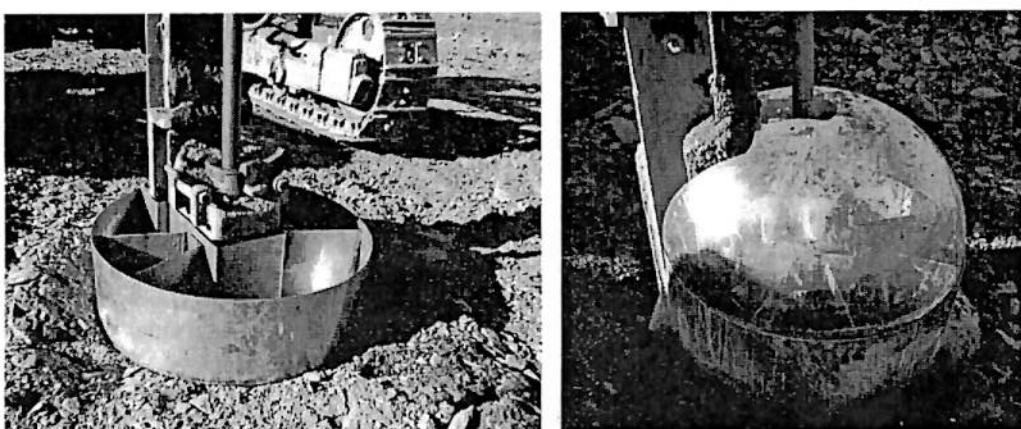


Figura 2 – Amostrador setorial acoplado à lança da perfuratriz.

## 2.2 Metodologia de Amostragem

A metodologia de amostragem foi baseada nos conceitos de reconciliação pró-ativa – ou prognosticação – de Morley, cujos passos tomados seqüencialmente seguiram um processo iterativo de alterações nos métodos de amostragem, visando a diminuição dos erros de estimativa e das variâncias dos erros de amostragem. Nesse processo, as alterações realizadas entre cada passo visaram melhorar a qualidade das amostras, aumentando, portanto, sua representatividade.

O método de reconciliação consistiu em comparar os teores das amostras coletadas na usina (*head samples*) com os teores das amostras coletadas na mina (*grade control samples*). Pela definição de Crawford (2004), esta é a segunda etapa da reconciliação, também chamada *mine-to-mill*. A amostragem na usina foi efetuada nas linhas de britagem, antes da etapa de moagem. As amostras foram coletadas nos transportadores de correia, a intervalos de tempo regulares, consistindo de material equivalente a 1 m de correia e pesando em média 50 kg cada. As amostras coletadas na mina foram provenientes dos furos de desmonte, utilizando o amostrador setorial descrito no item anterior.

O total de amostras submetidas ao laboratório de preparação e análise química, incluindo as amostras da mina e da usina, foi de 480 amostras. Todas as amostras foram preparadas e analisadas no mesmo laboratório, seguindo o mesmo procedimento de secagem, quarteamento e rebritagem. De cada amostra foram retiradas 3 alíquotas de aproximadamente 50 g cada para análise de ouro, arsênio e enxofre. A média ponderada das 3 alíquotas representou o teor do furo, e a média dos teores dos furos ponderada pela respectiva profundidade representou o teor médio do bloco.

## 3. RESULTADOS

A seguir são apresentados os passos seguidos, as alterações no protocolo de amostragem e os objetivos da reconciliação pró-ativa, discutindo tanto os acertos quanto os erros cometidos. Para a visualização do processo como um todo, as informações são apresentadas em forma de tabela, com os passos mostrados cronologicamente da primeira à última linha.

**Tabela I – Etapas da reconciliação pró-ativa aplicada a um empreendimento mineiro.**

passo	origem dos dados	alteração realizada	objetivos	resultados
1	mina	substituição da amostragem por pá manual pelo amostrador setorial	minimizar o erro de delimitação e de extração da amostra	diminuição da variância do erro de amostragem
	mina	inserção de borracha de vedação na cúpula do amostrador	minimizar o enviesamento das amostras causado pela perda de finos	diminuição da variância do erro de amostragem
2	usina	inclusão da etapa de amostragem na britagem	calcular o erro de estimativa	valor pouco representativo, baseado em 2h de amostragem na usina (5% do bloco)
3	usina	coleta de um maior número de amostras na britagem	aumentar a confiabilidade na estimativa da britagem	valor mais representativo, porém não ideal (70% da massa do bloco amostrada)
	mina	exclusão da borracha de vedação e furação com mais água	eliminar o possível enviesamento causado pela borracha e diminuir a perda de finos	piora na estimativa devido à lavagem dos finos; aumento do enviesamento
4	usina	coleta de um maior número de amostras na britagem	aumentar a confiabilidade na estimativa da britagem	valor mais representativo (90% da massa do bloco amostrada)
	mina	re-inserção da borracha de vedação, furação sem água	minimizar o enviesamento causado pela lavagem dos finos	diminuição da média e da variância do erro; melhoria na estimativa de teor
5	usina	menor intervalo entre coleta de amostras	aumentar a confiabilidade na estimativa da britagem	valor mais representativo (100% da massa do bloco amostrada)

A Figura 3 mostra, para cada bloco, a diferença entre os teores estimados pela aplicação do MCF às estimativas do modelo e os teores estimados pelos novos métodos de amostragem na mina e na usina.

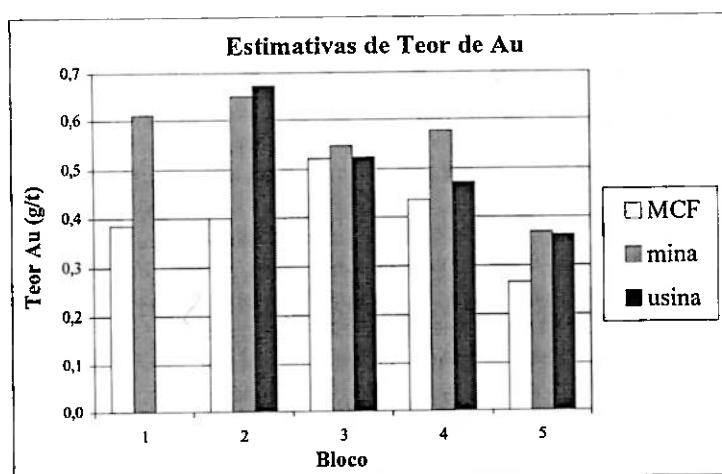


Figura 3 – Gráfico comparativo dos teores de ouro estimados pelos diversos métodos.

#### 4. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Segundo Isaaks e Srivastava (1989), antes de submeter quaisquer dados à análise estatística ou geostatística, é de essencial importância verificar sua qualidade e, se necessário, excluir os dados pouco confiáveis. A informação extraída de uma série de dados, bem como qualquer inferência sobre a população que os originou, só podem ser tão boas quanto os dados originais. Os autores sugerem os seguintes passos para eliminar erros grosseiros e produzir dados de melhor qualidade: (1) organize os dados e analise os valores extremos, procurando estabelecer a autenticidade desses valores; (2) plote os valores extremos em um mapa, verificando se eles seguem uma tendência ou se estão isolados (*outliers*), atentando aos valores extremos isolados; (3) verifique possíveis erros de coordenadas, organizando e examinando os valores extremos; (4) verifique a localização dos dados no mapa.

Seguindo a sugestão dos autores, os resultados das análises químicas das amostras foram analisados individualmente, tendo sido excluídos os *outliers* e os dados pouco confiáveis, após análise detalhada da caderneta de campo, onde constavam informações sobre as amostras coletadas e os problemas eventualmente encontrados para cada uma. A Tabela II mostra os resultados obtidos para cada bloco e para cada etapa de amostragem. Nota-se que as linhas referentes ao MCF representam o teor de ouro estimado a partir da aplicação do *mine call factor* às estimativas do modelo, procedimento comum às práticas de reconciliação reativa.

Tabela II – Resultados comparativos entre as práticas de reconciliação e de prognosticação.

bloco	origem dos dados	número de amostras	teor médio Au (g/t)	média do erro m(SE)	variância do erro s <sup>2</sup> (SE)	erro de estimativa de teor PROGNOSTICAÇÃO	erro de estimativa de teor RECONCILIAÇÃO
1	MCF		0,385	*	*	*	*
	mina	12	0,612				
	MCF		0,400				
2	mina	20	0,649	-0,024	0,054	3,5%	40,6%
	usina	6	0,673				
	MCF		0,522				
3	mina	20	0,548	0,029	0,053	4,6%	0,38%
	usina	18	0,524				
	MCF		0,436				
4	mina	59	0,578	0,103	0,040	22,7%	7,4%
	usina	49	0,471				
	MCF		0,265				
5	mina	72	0,369	-0,011	0,028	1,7%	26,9%
	usina	22	0,363				

\* Não houve amostragem na usina e, consequentemente, não há um valor de referência para o cálculo dos erros.

Analizando a tabela anterior, nota-se que as práticas de reconciliação reativa não nos permitem prever e/ou controlar os erros de estimativas do modelo e, portanto, não são capazes de auxiliar adequadamente o planejamento de lavra de um empreendimento mineiro. A reconciliação pró-ativa, ou prognosticação, por sua vez, ajudou a compreender alguns dos erros cometidos durante os processos de coleta de amostras. A compreensão desses erros tornou possível a alteração de metodologias visando minimizá-los, e este fato, por si só, pode ser considerado como uma vantagem da prognosticação. Sabendo que a variância do erro de amostragem representa a precisão ou reproduzibilidade das amostras, e que a média do erro de amostragem representa a acurácia ou enviesamento das amostras, a seqüência cronológica mostrou uma melhoria nas estimativas, traduzida pela diminuição da variância do erro de amostragem (de 0,054 para 0,028), pela diminuição da média do erro de amostragem (de -0,024 para -0,011) e pela diminuição dos erros de estimativa do teor de ouro (de 3,5% para 1,7%).

A exceção, não menos importante que a regra, é feita ao bloco 4, que, apesar de exaustivamente amostrado, apresentou erros acima do esperado. A provável causa desse enviesamento foi o aumento, particularmente para este bloco, da quantidade de água utilizada na perfuração, com o intuito de diminuir a geração e a consequente expulsão dos finos. Na realidade, o que ocorreu foi uma ‘lavagem’ dos finos para dentro do furo e, assim, a primeira condição de representatividade de uma amostra não foi satisfeita: a condição de não-enviesamento. As estatísticas, felizmente, confirmam que sem dados de qualidade, qualquer análise perde o sentido.

## 5. DISCUSSÕES

Sabe-se que a primeira, e mais óbvia, fonte de erros é a amostragem, e que o enviesamento da amostragem é provavelmente o erro mais difícil de se medir. Diz-se que a variância do erro global de estimativa deve-se em 80% à amostragem, 15% à preparação e 5% à análise química (Grigorieff, 2002).

O método de prognosticação apresentado procurou, primeiramente, minimizar a perda de finos e otimizar os métodos de amostragem na lavra. O dimensionamento de um sistema de amostragem deve objetivar a eliminação de erros possíveis de ser eliminados e a minimização dos erros que não podem ser eliminados, de modo a se obter a precisão e a acurácia desejadas. Portanto, foram sugeridas alterações em metodologias e processos visando a minimização desses erros.

Como visto anteriormente, uma amostra é representativa quando ela é correta (acurada) e suficientemente reproduzível (precisa). Como as práticas de reconciliação baseiam-se em resultados de amostragem, um método de reconciliação pró-ativa deve sempre ter por objetivo aumentar a representatividade das amostras, maximizando, portanto, sua acurácia e precisão. Os resultados das práticas de prognosticação apresentados neste trabalho mostraram, cronologicamente, o aumento da representatividade das amostras, traduzido por:

1. Maior acurácia: diminuição da média do erro de amostragem  $m(SE)$ .
2. Maior precisão: diminuição da variância do erro de amostragem  $s^2(SE)$ .

## 6. CONCLUSÕES

Mesmo conhecendo os conceitos da Teoria da Amostragem, nem sempre se consegue realizar, industrialmente, o teoricamente correto. A amostragem de ouro, em especial, tem suas peculiaridades, principalmente no que diz respeito à segregação entre as partículas e à dificuldade em se reduzir a massa de uma amostra sem causar alterações significativas em seu teor. Todos os problemas com a amostragem de ouro são ampliados quanto menor o teor de ouro, quanto mais marginal o depósito e quanto mais irregular a distribuição do ouro na rocha. O presente trabalho estudou um depósito de ouro de baixo teor, utilizando amostras provenientes do pó de perfuratriz, onde a precisão de amostragem é baixa e, em geral, há enviesamento das amostras.

Portanto, partiu-se da pior situação e procurou-se desenvolver uma metodologia de amostragem que, no mínimo, permitisse conhecer os erros envolvidos nos processos, de modo que os resultados finais pudessem ser usados conscientemente nos cálculos de reconciliação. A qualidade desses resultados depende da qualidade e da confiabilidade dos dados de entrada. E, portanto, especial atenção foi dada à geração de dados confiáveis, ou amostras representativas, procurando seguir as regras básicas de seleção de amostras corretas.

Como uma alternativa à reconciliação reativa, foi introduzido o método de reconciliação pró-ativa, ou prognosticação, o qual se baseia no processo iterativo de análise e correção de metodologias de coleta de amostras, com o objetivo de tornar mínima a diferença entre as estimativas e as medições. Os resultados obtidos mostraram que:

Ana Carolina Chieregati; Homero Delboni Jr.; João Felipe C. L. Costa; Fernanda B. Carneiro

1. Com a diminuição das variâncias dos erros, aumentou-se a precisão da amostragem.
2. Com a diminuição das médias dos erros, aumentou-se a acurácia da amostragem.
3. Com o aumento da precisão e da acurácia da amostragem, aumentou-se a representatividade das amostras e, consequentemente, a confiabilidade nos dados de entrada.

Conclui-se, portanto, que a prognosticação pode trazer benefícios significativos a um empreendimento mineiro. É evidente que os erros de amostragem estão longe de ser eliminados por completo, mas um passo inicial foi dado, e as melhorias foram demonstradas. A minimização dos erros que não podem ser eliminados, bem como a aplicação de protocolos capazes de eliminar os restantes, são as ferramentas que nos permitem criar um modelo cujas estimativas sejam previsões, ou prognósticos, assegurando que os resultados futuros correspondam ao planejamento presente.

## 7. REFERÊNCIAS

- CRAWFORD, G.D. 2004. Reconciliation of reserves: part 2. Pincock Perspectives, n°50, jan/04, págs. 1-4, Pincock, Allen & Holt, Colorado. Disponível em: <<http://www.pincock.com/perspectives/Issue50-Reconciliation-2.pdf>>.
- FRANÇOIS-BONGARÇON, D. & GY, P. 2002. Critical aspects in mill and plants: a guide to understanding sampling audits. In: Journal of the South African IMM, vol. 102, n° 8, South Africa.
- GRIGORIEFF, A. 2002. Desenvolvimento de um novo protocolo de amostragem de carvão mineral. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia, PPGEM, UFRGS, Porto Alegre.
- GY, P. 1998. Sampling for analytical purposes. 1<sup>st</sup> ed., translated by A.G. Royle, John Wiley & Sons, West Sussex, England.
- ISAAKS, E.H. & SRIVASTAVA R.M. 1989. The sample data set. In: An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford University Press, cap. 6, págs. 107-139, New York.
- MORLEY, C. 2003. Beyond reconciliation: a proactive approach to using mining data. In: Large Open Pit Mining Conference, 5th, págs. 185-192, Kalgoorlie, Australia.
- NOPPÉ, M. 2004. Reconciliation: importance of good sampling and data QA-QC. In: Mining and Resource Geology Symposium, Queensland, Australia. Disponível em: <<http://www.snowdengroup.com/Files/GradeControl-1.pdf>>.
- PITARD, F.F. 1993. Pierre Gy's sampling theory and sampling practice: heterogeneity, sampling correctness, and statistical process control. 2<sup>nd</sup> ed., CRC Press, Boca Raton, Florida.
- SCHOFIELD, N.A. 2001. The myth of mine reconciliation. In: Mineral Resource and Ore Reserve Estimation: the AusIMM Guide to Good Practice, págs. 601-610, Ed. A.C. Edwards, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne, Australia.
- SNOWDEN, V. 1993. Comparative 3-D resource modeling approaches at Macraes deposit in New Zealand and their reconciliation with production. In: Applications of Computers in the Mineral Industry, págs. 42-45, University of Wollongong, New South Wales, Australia.