

# OS DESAFIOS DA AMOSTRAGEM DE METAIS PRECIOSOS

Ana Carolina Chierigati

Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo - Universidade de São Paulo. Av. Prof. Mello Moraes, 2373. Cidade Universitária. São Paulo-SP. CEP 05508-900. E-mail: ana.chierigati@poli.usp.br

## RESUMO

A caracterização de minérios visando a estimativa de reservas, o controle de teor, o dimensionamento de equipamentos e a reconciliação mineira fundamenta-se na coleta de amostras supostamente representativas da região em estudo. A amostragem de metais preciosos é um dos maiores desafios da indústria mineral, visto que provavelmente não existe outro tipo de material para o qual a precisão e a acurácia da amostragem sejam tão críticas. O ouro, em especial, tem suas peculiaridades, principalmente no que diz respeito ao efeito de segregação. A densidade do ouro é muito elevada, promovendo uma forte segregação assim que a liberação do metal é atingida. Além disso, o teor de ouro em uma sub-amostra analítica pode ser completamente diferente do teor de ouro na amostra original. Esses problemas são encontrados na maioria dos depósitos de ouro e de metais preciosos no mundo, sendo maiores quanto menor o teor do metal, quando mais marginal o depósito e quanto mais errática a distribuição do metal no depósito. Este trabalho analisa dois depósitos de ouro no Brasil e discute os diferentes protocolos de amostragem no que diz respeito à reconciliação entre a mina e a usina (*mine-to-mill*). Os resultados mostram que uma estimativa de qualidade somente é possível com práticas adequadas de amostragem e controle de processo.

**PALAVRAS-CHAVE:** amostragem, reconciliação, metais preciosos, ouro.

## ABSTRACT

Mineral characterization for resource estimation, grade control, equipment design and mine reconciliation is based on the selection of samples that should be representative of the region under study. Sampling precious metals is one of the greatest challenges in mining industry, for there are probably no other material for which the achievement of sampling precision and accuracy is so critical. Gold has its peculiarities itself, especially regarding the segregation effect. The density of gold is enormous, promoting strong segregation phenomena as soon as gold is liberated. Furthermore, the gold content of an analytical subsample and the gold content of the sample from which it was selected can be very different. All these problems are amplified as the gold grade becomes lower, as gold deposits become marginal, and as the distribution of gold in rocks becomes erratic. This paper analyses two low-grade and erratic gold deposits in Brazil and discusses different sampling protocols for reconciliation between the mine and the mill. The results show good estimation of gold content is only possible with proper sampling practices and process control.

**KEY WORDS:** sampling, reconciliation, precious metals, gold.

## 1. INTRODUÇÃO

Historicamente os especialistas têm dado uma enorme atenção aos problemas teóricos e principalmente práticos da amostragem de materiais contendo metais preciosos. Quantidades relativamente pequenas de material podem envolver grandes quantidades de dinheiro, e assim, os problemas de precisão e acurácia logo se tornam a preocupação principal. Provavelmente não existe outro material para o qual a precisão e a acurácia da amostragem sejam tão críticas quanto para os metais preciosos.

Uma das principais diferenças entre os metais preciosos e os outros metais é o fato de os metais preciosos serem econômicos a teores muito baixos. Os metais básicos, por exemplo, são sempre estimados em porcentagem, enquanto os metais preciosos, tais como o ouro e a platina, são estimados em partes por milhão.

Os metais preciosos, e especialmente o ouro, que ocorre na natureza de diferentes maneiras, apresentam dificuldades de amostragem que devem ser resolvidas de um modo particular para cada caso. Um depósito com distribuição errática de ouro, por exemplo, pode requerer amostragens adicionais durante a lavra, para a definição dos limites entre minério e estéril. Estas amostragens em geral são realizadas a partir do material proveniente de furos de desmonte, e seus resultados são aplicados no desenvolvimento dos modelos de curto prazo, bem como nos cálculos de reconciliação.

A amostragem do ouro envolve diversas dificuldades, tais como: (1) o conteúdo de ouro de uma sub-amostra analítica pode ser completamente diferente do conteúdo de ouro da amostra inicial; (2) a densidade do ouro é elevadíssima (15,5-19,3 g/cm<sup>3</sup>), promovendo uma forte segregação assim que as partículas de ouro são liberadas; (3) as partículas de ouro não cominuem bem, podendo criar um fino filme metálico que cobre a superfície dos amostradores. Todos esses problemas são ampliados quanto menor o teor de ouro, quanto mais marginal o depósito, e quanto mais irregular a distribuição do ouro na rocha. Por isto a importância de se realizar uma amostragem correta, de modo que as estimativas de teor provenientes desta amostragem forneçam um estimador preciso e não-enviesado do teor real do depósito.

### 1.1 Os Conceitos de *Mine-to-Mill* e Reconciliação

O objetivo de se introduzir o conceito *mine-to-mill* é mostrar os benefícios de se transformar dados desordenados e desconexos em dados ordenados e consistentes, que permitam criar um sistema integrado que se estenda da geologia à metalurgia. Visando reduzir os custos de um empreendimento mineiro, o conceito *mine-to-mill* surgiu para integrar os processos de mineração, desde a geologia até a moagem, utilizando a tecnologia da informática para fornecer aos operadores da usina informações acuradas sobre a qualidade do minério. Com esta abordagem, esses profissionais conseguiram reduzir a variabilidade do teor do material alimentado na usina, aumentando sua previsibilidade. É claro que toda informação é baseada em amostras, as quais devem ter qualidade para que a informação seja confiável.

A reconciliação complementa o conceito *mine-to-mill* e pode ser entendida como a prática de se comparar as estimativas de produção baseadas em dados da mina com as estimativas de produção baseadas em dados da usina. Os resultados dessas comparações permitem sugerir medidas para minimizar a discrepância entre as estimativas. Mais especificamente, este é o conceito da reconciliação pró-ativa, cuja finalidade é a tomada de ações corretivas de modo a assegurar que o erro entre as estimativas e os dados reais seja mínimo. 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.

Em geral existe uma discrepância relevante entre as estimativas da mina e as estimativas da usina. Normalmente a mina conta com amostras de furos de desmonte para o desenvolvimento de modelos de controle de teor. Estes modelos, do mesmo modo que os modelos de recursos, baseiam-se em estimativas e, portanto, estão sujeitos aos problemas comuns da estimação. As estimativas da usina são consideradas mais acuradas que as da mina e, portanto, na maioria dos casos elas são a base para os cálculos de reconciliação. Porém, as operações da usina não estão imunes aos problemas da amostragem. Os resultados dos diversos pontos de amostragem utilizados no processo de balanço de massas da usina podem conter erros, e as causas típicas desses erros incluem: calibração inadequada das balanças, protocolos inadequados de análises, retenção de metal nas bombas (particularmente para o ouro), dentre outros.

A reconciliação pode ser vista como um teste de qualidade das estimativas dos modelos. Entretanto, 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. Uma prática adequada de reconciliação só é possível 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 essencial para o desenvolvimento de um sistema confiável de re-

conciliação, pois é de uma amostragem correta que resultam dados de qualidade. Hoje a amostragem deve ser entendida como ciência e tecnologia disponíveis para o uso prático industrial, afinal, ela é um elemento chave para tomadas de decisão objetivando melhorias de processos e aumento da eficiência industrial e da qualificação dos produtos (Girodo, 1999).

## 2. TRABALHOS EXPERIMENTAIS

As duas operações mineiras estudadas para o desenvolvimento do presente trabalho referem-se a jazidas de ouro de baixo teor, lavradas a céu aberto e beneficiadas em circuitos de concentração gravimétrica e lixiviação em pilha ou coluna. As mineralizações anômalas de ouro localizam-se dentro de zonas altamente deformadas e relacionadas a processos hidrotermais. A primeira jazida apresenta distribuição errática do ouro, com o minério de baixo teor associado ao ouro fino e o minério de médio a alto teor associado ao ouro grosso. A segunda jazida apresenta continuidade lateral e uma distribuição de teores muito previsível. Nesta última, o ouro ocorre predominantemente como grãos liberados de granulação fina.

Ao longo de dois anos, essas operações foram avaliadas no que diz respeito às práticas de amostragem, planejamento e reconciliação, e os problemas diagnosticados, bem como as soluções adotadas, são apresentados de maneira resumida nos itens que se seguem. As condições para minimizar os erros de amostragem apresentadas por Pitard (1993) foram a base para o desenvolvimento deste trabalho.

### 2.1 Condições para Minimizar os Erros de Amostragem

Segundo Pitard (1993), as seis condições abaixo visam eliminar, ou pelo menos minimizar, a maior parte dos erros provenientes da amostragem de metais preciosos:

1. Todo equipamento de amostragem deve ser projetado, construído e utilizado de tal maneira que os erros de preparação sejam irrelevantes. Deve-se dar especial atenção no sentido de se minimizarem perdas e contaminação pelo ouro remanescente em equipamentos de amostragem.
2. A delimitação do incremento amostral deve ser correta.
3. A extração do incremento amostral deve ser correta.
4. O número de incrementos deve ser grande o suficiente para minimizar o erro de segregação e grupamento, até que ele se torne irrelevante. Deve-se enfatizar que a homogeneização do ouro liberado é impossível, e, portanto, a única maneira de minimizar este erro é minimizando o erro fundamental e aumentando o número de incrementos por amostra.
5. Para amostragens de lotes unidimensionais, o intervalo entre cada incremento deve ser pequeno o suficiente para tornar irrelevante o erro de variação de heterogeneidade de longo prazo.
6. O método de seleção de amostras deve ser escolhido levando-se em consideração o erro de variação periódica de heterogeneidade.

Se todas as condições acima forem satisfeitas, o único erro restante é o erro fundamental, que é o menor erro existente para uma amostra coletada em condições ideais. O erro fundamental está especificamente relacionado à heterogeneidade constitucional do lote de material e é o único erro que nunca vale zero. Sua importância pode ser secundária para a maior parte dos constituintes, porém, normalmente ela se torna maior para os constituintes que ocorrem em menor quantidade, e muito maior para os elementos-traço contidos em materiais de alta pureza ou para os metais preciosos de baixo teor.

## 3. ANÁLISE DOS COMPONENTES DA RECONCILIAÇÃO

A reconciliação é uma atividade comum desenvolvida na maior parte das empresas de mineração do mundo e pode ser definida como uma comparação entre estimativas e medições. O resultado dessas comparações é geralmente um grupo de fatores, tais como o *mine call factor* (MCF), que são aplicados às estimativas futuras, na tentativa de melhorar a previsão do desempenho de uma operação. Esses fatores são aplicados às estimativas de reservas e de controle de teor, com o objetivo de fornecer uma aproximação da quantidade de metal que deverá ser produzida na usina. Eles fornecem, portanto, uma indicação de quão acurada foi uma determinada estimativa.

É claro que as estimativas da mina e da usina raramente se igualam, devido às diversas variáveis envolvidas no processo, que podem ter diferentes origens, como mostra a Tabela I. Se dividirmos o complexo problema da reconciliação nos componentes básicos da tabela a seguir, e resolvermos um componente por vez, o problema pode ser solucionado ou, pelo menos, minimizado.

**Tabela I:** Algumas variáveis que influenciam a reconciliação (adaptada de Pitard, 2001).

ORIGEM	VARIÁVEIS
MODELOS DA JAZIDA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• efeito pepita <i>in situ</i></li> <li>• erros de amostragem e sub-amostragem</li> <li>• erros de estimativa</li> <li>• erros analíticos</li> <li>• rejeição excessiva de <i>outliers</i></li> <li>• suposições da densidade do minério</li> <li>• erros na definição dos limites entre minério/estéril</li> </ul>
LAVRA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• deslocamento dos limites da mineralização sobre o desmonte</li> <li>• métodos de amostragem não acurados</li> <li>• métodos de transporte por caminhão não acurados</li> <li>• perda de finos na amostragem</li> <li>• estimativa incorreta de massa</li> <li>• diluição causada por erros de seleção na lavra</li> </ul>
BENEFICIAMENTO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• retenção de metal dentro do moinho</li> <li>• métodos de análise não acurados</li> <li>• equipamentos e/ou protocolos de amostragem inadequados</li> <li>• calibração incorreta dos medidores de massa e de fluxo</li> <li>• ciclos do processo desconhecidos ou mal interpretados</li> <li>• reconciliação calculada para períodos muito curtos de tempo</li> <li>• sub-amostragem inadequada no laboratório</li> </ul>

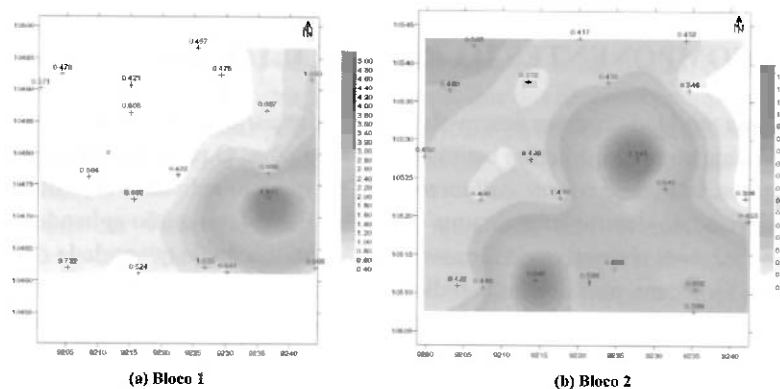
Em seguida, com base nos dados reais dos dois depósitos de ouro estudados no presente trabalho, são discutidos os problemas, e possíveis soluções, associados a algumas das variáveis apresentadas na tabela anterior.

### 3.1 Modelos da Jazida

**Efeito pepita *in situ*:** O efeito pepita descreve quão bem os resultados de uma amostragem são reproduzidos repetindo-se a amostragem no mesmo ponto, e assim, quanto maior a reprodutibilidade amostral, menor o efeito pepita. Este efeito inclui tanto a variabilidade natural inerente ao material quanto a variabilidade devida ao tamanho, preparação e análise das amostras. Em ambientes onde existe um efeito pepita elevado, como é o caso dos depósitos de metais preciosos e das mineralizações heterogêneas, a dificuldade de se definirem os limites entre minério e estéril é ainda maior, devido à baixa reprodutibilidade das amostras (Elliott e outros, 2001 e Snowden e outros, 1994).

Portanto, estes tipos de mineralização são muito sensíveis ao método de amostragem, o qual deve ser o mais acurado possível, de modo a evitar que valores incorretos de efeito pepita sejam considerados nos modelos de reservas e de controle de teor. O reconhecimento do efeito pepita é de extrema importância para as estimativas dos modelos da jazida. Quanto maior o efeito pepita, maior o grau de suavização que deve ser considerado no modelo, pois a estimativa é uma média ponderada das amostras contidas dentro do raio de influência do bloco em estudo.

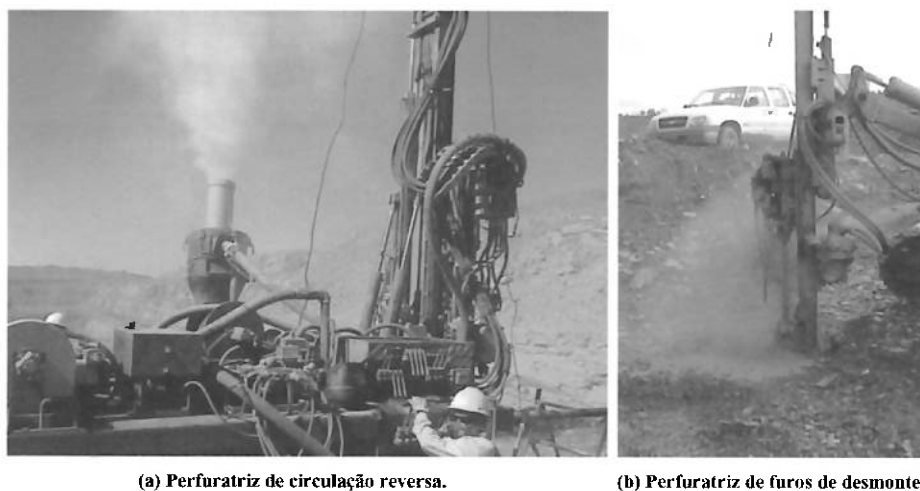
**Rejeição excessiva de *outliers*:** Mesmo conhecendo os conceitos de uma prática de amostragem correta e utilizando equipamentos de amostragem corretos, na prática industrial é muito difícil realizar uma amostragem sem que sejam cometidos erros durante a extração ou o manuseio do material. Isaaks e Srivastava (1989) afirmam que a verificação de erros, além de consumir um tempo excessivo, é uma das tarefas mais difíceis em um estudo geoestatístico. Os autores sugerem alguns passos para eliminar erros grosseiros, tais como: (1) organizar os dados e avaliar os valores extremos, procurando estabelecer a autenticidade desses valores; e (2) plotar os valores extremos em um mapa, verificando se eles seguem uma tendência ou se estão isolados (*outliers*), atentando aos valores extremos isolados. Na Figura 1, nota-se que o Bloco 1 apresenta um valor extremo isolado, mas os valores extremos do Bloco 2 sugerem apenas uma região enriquecida do depósito. Portanto, no caso de depósitos de metais preciosos, a análise de *outliers* deve ser individual, para que dados corretos não sejam descartados durante o desenvolvimento dos modelos da jazida.

**Figura 1:** Análise de teores anômalos (*outliers*) para dois blocos do modelo de curto prazo.

### 3.2 Lavra

**Perda de finos na amostragem:** Apesar de as perfuratrizes de circulação reversa serem consideradas mais adequadas às operações de amostragem, visto que permitem recuperar o material que está abaixo do lençol freático, uma quantidade relevante de finos pode ser perdida pela parte superior do ciclone, quantidade esta que em alguns casos chega a 20% em massa de todo o material do furo. As perfuratrizes destinadas à perfuração de furos de desmonte, por sua vez, em geral são inadequadas à amostragem, visto que os finos ou são perdidos pela ação do vento (Figura 2) ou ficam retidos nos filtros das perfuratrizes. Uma solução para a perfuratriz de circulação reversa seria o uso de um ciclone secundário para captação dos finos. No caso da perfuratriz de furos de desmonte desprovida de filtro para captação de finos, uma solução seria o uso de um amostrador setorial estacionário com cúpula (Chierigati, 2007).

A Tabela II mostra os erros de estimativa devido à perda de finos na amostragem de furos de desmonte para alguns blocos dos depósitos estudados. Vale salientar que o teor de ouro registrado na usina também é uma estimativa calculada com base em amostras. Entretanto, as estimativas da usina são consideradas mais acuradas, pelos motivos expostos no item 1.1.



(a) Perfuratriz de circulação reversa.

(b) Perfuratriz de furos de desmonte.

Figura 2: Perda de finos durante a perfuração.

A Tabela II mostra, como era de se esperar, que as estimativas de teor de ouro utilizando-se perfuratriz de furos de desmonte superestimam o depósito, visto que o material mais fino e menos rico tende a se perder, ocasionando a concentração do ouro no material depositado próximo ao furo, que será coletado para análise de teor.

Tabela II: Erros de estimativa devido à perda de finos durante a amostragem.

Bloco	teor de Au mina (g/t)	teor de Au usina (g/t)	MCF	erro de estimativa
1	0,618	0,460	0,744	34,3 %
2	0,594	0,437	0,736	35,9 %
3	0,723	0,437	0,604	65,4 %
4	0,709	0,419	0,591	69,2 %
5	0,609	0,419	0,688	45,3 %
6	0,541	0,396	0,732	36,6 %
7	0,872	0,396	0,454	120,2 %
8	0,595	0,467	0,785	27,4 %
9	0,748	0,400	0,535	87,0 %
10	0,588	0,400	0,680	47,0 %
11	0,664	0,435	0,655	52,6 %
12	0,674	0,429	0,636	57,1 %
13	0,727	0,429	0,590	69,5 %
14	0,615	0,410	0,667	50,0 %
15	0,727	0,410	0,564	77,3 %

**Diluição causada por erros de seleção na lavra:** Quando minério e estéril são lavrados e dispostos em pilhas de estocagem, pilhas de lixiviação ou pilhas de estéril, uma parte do estéril vai para as pilhas de estocagem ou de lixiviação (diluição), e uma parte do minério é descartada em pilhas de estéril (perda). Ambas as classificações

incorretas de estéril como minério e de minério como estéril causam uma diminuição do teor produzido e dos ganhos da operação. Entretanto, devido ao fato de o teor do minério descartado como estéril não ser medido na alimentação do moinho, a perda de metal causada por esta classificação incorreta não entrará na equação de reconciliação. E, assim, é possível obter uma boa reconciliação entre o teor estimado e o teor produzido, ao mesmo tempo em que quantidades substanciais de minério são descartadas como estéril.

### 3.3 Beneficiamento

Equipamentos e/ou protocolos de amostragem inadequados: Os amostradores corta-fluxo de trajetória retilínea são em geral corretos no que diz respeito ao projeto, desde que certas condições sejam satisfeitas. Estas condições, estabelecidas pela Teoria da Amostragem de Pierre Gy, ajudam a controlar os efeitos que o complexo mecanismo dos fragmentos coletados pelo amostrador pode ter sobre a representatividade da amostra. Em primeiro lugar, a abertura da faca deve ser três vezes maior que o diâmetro do maior fragmento, com um valor mínimo de 10 mm quando o diâmetro do maior fragmento for menor que 3 mm (Gy, 1992). Este tipo de amostrador pode se tornar um amostrador incorreto nos casos de: (1) material de construção da faca frágil, podendo ser danificado pelo impacto dos fragmentos; e (2) obstrução do amostrador por material fino ou lama, que se acumula nas extremidades, fechando parte da abertura da faca. Como se pode notar nos exemplos da Figura 3, a condição de seleção de uma amostra correta não é satisfeita, pois a abertura da faca do amostrador (a) é menor que 10 mm e ambos os amostradores encontram-se obstruídos.



(a) Amostrador corta-fluxo de trajetória retilínea.

(b) Amostrador corta-fluxo de trajetória circular.

**Figura 3:** Amostradores corta-fluxo com obstrução parcial ou total da abertura da faca.

Uma estratégia utilizada para se evitarem erros de amostragem em usinas industriais é o projeto de processos e equipamentos de amostragem capazes de garantir a correta delimitação dos incrementos de amostragem, a qual é alcançada quando a seção do fluxo é totalmente interceptada pelo cortador ou faca, ou seja, quando se cumprem algumas condições básicas, tais como geometria, instalação e velocidade do amostrador. No caso dos amostradores corta-fluxo de trajetória circular, suas arestas devem ser perfeitamente radiais. Desta maneira, assumindo que todas as outras condições de correção de amostragem sejam satisfeitas, a probabilidade de um fragmento fazer parte do incremento é uniforme para toda a seção do fluxo.

Sub-amostragem inadequada no laboratório: Devido à alta densidade do ouro e à forte segregação entre as partículas de um lote, é possível que uma sub-amostra produzida no laboratório apresente um teor demasiadamente elevado, o que acaba mascarando o teor original da amostra. A segregação, também conhecida como heterogeneidade distribucional de um lote de material fragmentado, diminui a reprodutibilidade da amostra e multiplica sua variância por um fator maior. Felizmente, uma descoberta matemática mostrou que esse componente de variância adicional é inversamente proporcional ao número de incrementos utilizados para compor a amostra. Portanto, é imprescindível desenvolver protocolos de preparação e subdivisão de amostras que minimizem o efeito da segregação.

## 4. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Segundo Pitard (1993), uma estratégia de amostragem adequada deve seguir a seguinte cronologia: (1) estudo da heterogeneidade do material; (2) otimização dos protocolos de amostragem de modo a minimizar os er-

ros de amostragem; e (3) utilização de equipamentos de amostragem adequados visando controlar a correção da amostragem.

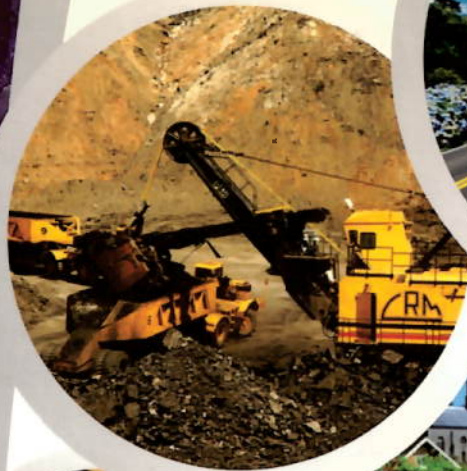
A Tabela III mostra os erros de estimativa de alguns blocos das operações estudadas após a adequação das variáveis que influenciam a reconciliação e seguindo a cronologia e as condições de Pitard para a minimização dos erros de amostragem. Os resultados mostram as vantagens de se dividir o problema da reconciliação em seus componentes básicos e resolver um componente de cada vez. É evidente que eliminar os erros de amostragem de metais preciosos é impossível, mas o primeiro passo é conseguir controlá-los. Demonstra-se que pequenas melhorias na amostragem resultam em melhorias significativas nos resultados de uma operação.

**Tabela III:** Erros de estimativa após adequação das variáveis que influenciam a reconciliação.

Bloco	teor de Au mina (g/t)	teor de Au usina (g/t)	MCF	erro de estimativa
1	0,618	0,460	0,744	34,3 %
2	0,594	0,437	0,736	35,9 %
3	0,723	0,437	0,604	65,4 %
4	0,709	0,419	0,591	69,2 %
5	0,609	0,419	0,688	45,3 %
6	0,541	0,396	0,732	36,6 %
7	0,872	0,396	0,454	120,2 %
8	0,595	0,467	0,785	27,4 %
9	0,748	0,400	0,535	87,0 %
10	0,588	0,400	0,680	47,0 %
11	0,664	0,435	0,655	52,6 %
12	0,674	0,429	0,636	57,1 %
13	0,727	0,429	0,590	69,5 %
14	0,615	0,410	0,667	50,0 %
15	0,727	0,410	0,564	77,3 %

## 5. REFERÊNCIAS

- Chierigati, A.C. Reconciliação pró-ativa em empreendimentos mineiros. Tese de doutorado. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 201 p., 2007.
- Crawford, G.D. Reconciliation of reserves: part 2. *Pincock Perspectives*, n°50, jan/04, p.1-4, Pincock, Allen & Holt, Colorado. Disponível em: <<http://www.pincock.com/perspectives/Issue50-Reconciliation-2.pdf>>, 2004.
- Elliott, S.M. *et al.* Reconciliation of the McKinnons gold deposit, Cobar, New South Wales. In: *Mineral Resource and Ore Reserve Estimation: The AusIMM Guide to Good Practice*, p.257-268, Ed. A.C. Edwards, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne, Australia, 2001.
- Girodo, A.C. Amostragem de minérios para propósitos de desenvolvimento de processos e projetos industriais. Apostila de curso. Escola de Engenharia de Minas, UFMG, Belo Horizonte, 1999.
- Gy, P. Sampling of heterogeneous and dynamic material systems: theories of heterogeneity, sampling and homogenizing. *Data handling in science and technology 10*, Amsterdam, Elsevier, 654 p. 1992.
- Isaaks, E.H. & Srivastava R.M. The sample data set. In: *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press, cap. 6, p.107-139, New York, 1989.
- Pitard, F.F. 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, 488 p., 1993.
- Pitard, F.F. A strategy to minimize ore grade reconciliation problems between the mine and the mill. In: *Mineral Resource and Ore Reserve Estimation: the AusIMM Guide to Good Practice*, p.557-566, Ed. A.C. Edwards, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne, Australia, 2001.
- Snowden, V.; Moore, C. & Kelly, D. Using geostatistics to assist in optimizing grade control estimation at KCGM's Fimiston open pit. Proc. 4<sup>th</sup> Large Open Pit Mining Conference, p.117-131, Perth, Australia, 1994.



# XXIII

## Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa

Gramado - Rio Grande do Sul - Brasil

27 de Setembro a 1ª de Outubro de 2009

### Volume 1