



Figura 1 – Amostragem com material da perfuratriz.

## Metodologia de amostragem de material de perfuratriz para fins de reconciliação

Wellington Lacerda Gomes<sup>1</sup>, Ana Carolina Chieregati<sup>2</sup>, Homero Delboni Jr<sup>2</sup> e Daniel Bortowski Carvalho<sup>3</sup>.

**T**odo empreendimento mineiro é constituído de várias etapas até o início da produção, desde a prospecção da anomalia mineral, passando pelas etapas de pesquisa mineral, caracterização tecnológica do minério, estudos e desenvolvimentos do método de lavra e do beneficiamento do minério.

Após o início da operação, as diversas operações unitárias devem ser controladas por um sistema integrado, que permita avaliar cada etapa do empreendimento. Uma ferramenta importante para esta avaliação, especialmente para o planejamento de lavra, é a reconciliação, vista como um teste de qualidade dos modelos de longo e de curto prazo. A reconciliação visa comparar os teores e produção obtida pela usina de beneficiamento com aqueles estimados pelos modelos geológicos da jazida. A integração do processo de lavra com o de beneficiamento (mine-to-mill) permite à operação atingir melhor aproveitamento dos recursos naturais e maior desempenho econômico.

Entretanto, a prática de reconciliação ao longo dos anos vem sendo utilizada de maneira incorreta. Aplica-se o fator MCF (mine call factor) às estimativas dos modelos, na tentativa de melhorar a previsão de desempenho da operação, sem tentar encontrar a causa das discrepâncias observadas entre a produção real e as estimativas de produção geradas pelos modelos. Segundo Morley (2003), esta não é a melhor prática industrial de reconciliação. Uma

prática correta de reconciliação deve identificar as causas das discrepâncias observadas e indicar modificações nos métodos de amostragem que reduzam estas variâncias a um nível aceitável.

No desenvolvimento de uma metodologia correta de amostragem, o método de coleta de amostras empregado deve gerar amostras representativas e não-enviesadas. Este objetivo é alcançado quando se utilizam equipamentos adequados à operação e técnicas de amostragem baseadas em teorias que permitam minimizar os erros de amostragem. Neste contexto, as ferramentas estatísticas e geoestatísticas são de grande valia, pois permitem analisar os erros associados à amostragem e, portanto, minimizá-los.

### Atividades experimentais

As atividades desenvolvidas durante o período experimental foram:

- Atividades de amostragem do material proveniente dos furos de desmonte do Open Pit, no Bloco I5A, e amostragem na Planta Metalúrgica, cujos resultados serão utilizados para fins de reconciliação;
- Atividades laboratoriais, tais como preparação das amostras e realização das análises químicas pelo método de fire assay.

#### Amostragem com Perfuratriz

Para o desenvolvimento do projeto foi escolhido o Corpo I5A (Xisto Carbonoso). O motivo da escolha deste corpo é que ele apresenta carac-

terísticas geológicas representativas do modelo da Zona Inferior do Open Pit para os próximos anos de vida útil da mina.

Foi realizada a coleta de todo o material proveniente de todos os furos do desmonte do bloco selecionado, obtendo-se um total de 130 amostras de aproximadamente 10 kg cada.

O trabalho de perfuração foi realizado com a perfuratriz hidráulica Sandvik DC550. Para o trabalho de amostragem, o coletor de material centrífugo da perfuratriz foi desativado durante o trabalho, e a operação de perfuração foi realizada com o mínimo de água possível, de modo a evitar que os finos fossem lavados para dentro furo, diminuindo a recuperação de material.

### Amostragem na Planta Metalúrgica

Para que se pudesse comparar o teor médio estimado na mina com o teor na usina, alimentou-se a Planta Metalúrgica apenas com o material que foi amostrado e desmontado do corpo I5A do Open Pit. Este material foi armazenado separadamente e devidamente identificado, para que não ocorresse mistura com materiais provenientes de outras frentes de lavra.

A amostragem foi realizada no transportador de correia 08 (TC 08) que alimenta os silos, sendo coletada uma amostra a cada 15 minutos e perfazendo um total de 50 amostras de aproximadamente 2 kg cada. A Planta Metalúrgica esteve envolvida com o processo de amostragem

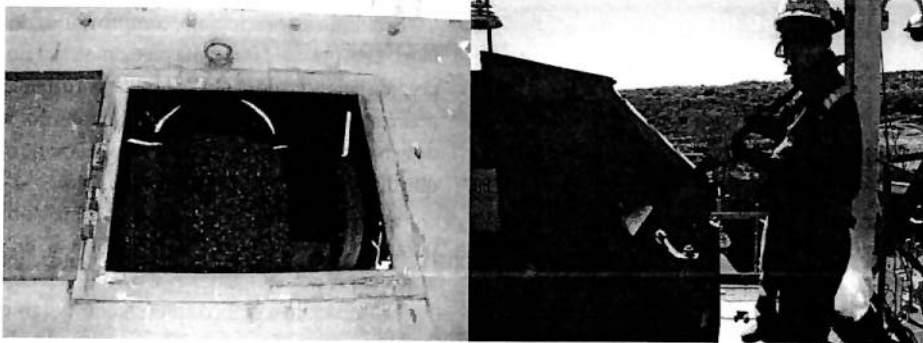


Figura 2 – Amostragem na Planta Metalúrgica.

durante 2 dias. No primeiro dia foi realizada a limpeza de todos os equipamentos de britagem, para que o minério a ser amostrado não sofresse nenhuma contaminação com outros minérios alimentados anteriormente. No segundo dia foi realizada a coleta das amostras.

Os procedimentos para a amostragem na Planta Metalúrgica foram os seguintes:

- O material desmontado e carregado à área de transferência foi isolado e identificado, para que não houvesse contaminação com minérios de outras minas ou outras frentes de lavra e para que facilitasse a operação dos alimentadores da moega, alimentando a usina somente com o devido minério;

- Realizou-se uma mudança na britagem secundária, tornando o processo “a seco”, sendo necessário excluir do sistema o classificador espiral, pois este retira uma parte da alimentação que é transportada diretamente ao espessador. Portanto, este material não seria amostrado na TC 08, o que tornaria nossa amostra incorreta e enviesada;

- Para que todo o material da britagem pudesse ser coletado, o divisor de fluxo acima do Silo 02 foi levantado durante as coletas de amostras, realizadas por meio de uma pá de modo a cortar todo o fluxo em velocidade constante, simulando, assim, um amostrador corta-fluxo de movimento retilíneo.

### Amostragem para Análise Granuloquímica

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). Devido à perda de finos observada na amostragem de material de perfuratriz e visando analisar a confiabilidade nestas amostras, decidiu-se realizar uma análise granuloquímica de todo o material proveniente dos furos. O objetivo desta etapa de trabalho foi

evidenciar um possível enviesamento causado pela perda de finos.

Para isto foram coletadas amostras no mesmo corpo I5A, realizando a amostragem de dois furos gêmeos. O procedimento de amostragem do primeiro furo foi o mesmo adotado para os furos de desmonte do trabalho anterior, e o segundo furo foi amostrado utilizando-se um tambor recortado de modo a encaixar na lança da perfuratriz, possibilitando a recuperação do material fino eventualmente perdido durante a primeira amostragem. Para este trabalho, utilizou-se a perfuratriz pneumática Atlas Copco PW Hidro (XAS 420 - 100 psi), que possibilitou o encaixe do tambor para recolhimento do material fino.

Estas amostras, de aproximadamente 10 kg cada, foram identificadas e encaminhadas ao laboratório em caráter especial, para a realização de análise granuloquímica, ou seja, as análises químicas para teor de ouro foram feitas para diversas frações granulométricas.

O intuito da realização desta análise granuloquímica foi saber qual o impacto da perda de parte do material fino no procedimento de amostragem proposto neste trabalho.

### Procedimentos Laboratoriais

Para este caso em particular, ao final da preparação das amostras, foram selecionadas duas alíquotas de cada amostra, para a realização do teste de fire assay. Os resultados destas duas amostras, nos permite calcular o erro analítico associado à análise química.

### Análises Químicas das Amostras da Perfuratriz e Planta Metalúrgica

As análises químicas das amostras com o material da perfuratriz e na Planta Metalúrgica seguiram o mesmo procedimento. A única diferença esteve no início da preparação das amostras da perfuratriz, as quais, devido ao seu grande volume, foram primeiramente quarteia-

# Você quer conhecer o segredo de um líder?



**Caçamba  
meia-cana  
Rossetti.  
As maiores  
mineradoras  
do país  
já conhecem.**

**ROSSETTI**

**EQUIPAMENTOS RODOVIÁRIOS**  
Tradição e credibilidade rodando juntas.

**Matriz: Guarulhos - SP**  
Tel.: 11 2191.0900

**Fábrica: Betim - MG**  
Tel.: 31 2191.1200

**www.rossetti.com.br**

Respeite a sinalização de trânsito.

**Tabela 1 – Faixas granulométricas para análise granuloquímica.**

Faixas granulométricas (mesh)								
3,5	6	10	18	30	50	100	140	140

**Tabela 2 – Resultados da análises químicas.**

	Teor médio (g/t)	Variância das amostras	Média do erro	Variância do erro	Erro de estimativa (%)
Perfuratriz	1,58	4,2	-0,09	0,18	1,25%
Planta metalúrgica	1,60	0,53	0,06	0,24	

das, utilizando-se um amostrador Jones, para se obter uma amostra de aproximadamente 2 kg. Esta última seguiu todo o processo padrão para análise química.

## Análise Granuloquímica

Na preparação das amostras para análise granuloquímica, o primeiro passo foi o peneiramento a úmido, com a separação do material amostrado em faixas granulométricas devidamente selecionadas. Após secagem do material de cada fração, o procedimento padrão de análise química do laboratório foi seguido para cada fração granulométrica.

A tabela 1 mostra as frações granulométricas utilizadas para a realização das análises granuloquímicas.

Apresentação, análise e discussão dos resultados.

Análise dos Resultados das Análises Químicas.

Os resultados médios das análises químicas estão apresentados na Tabela 2.

## Análise da Amostragem com Perfuratriz

Como já observado, a amostragem realizada com o material da perfuratriz gerou resultados bastante satisfatórios, visto que o erro de estimativa foi de apenas 1,25%, tomando-se como base de cálculo a amostragem realizada na Planta Metalúrgica, que, segundo Crawford (2004), é muito mais acurada do que a amostragem na mina.

Entretanto, seguindo o objetivo do nosso trabalho, devemos analisar mais profundamente a metodologia desta amostragem. O dimensionamento de um sistema de amostragem deve sempre ter por objetivo a eliminação dos erros possíveis de ser eliminados e a minimização dos erros que não podem ser eliminados, de modo a se obter precisão e acurácia a um custo aceitável (Grigorieff, 2002).

Observou-se que o principal problema da amostragem do material proveniente dos furos de desmonte foi a perda do material fino, arrastado pelo vento, já que problemas de contaminação, se não eliminados, foram ao menos minimizados a um nível aceitável que não afetaria a representatividade das amostras.

Para o estudo deste problema, foram realizadas amostragens em furos gêmeos, para posterior análise granuloquímica. Este teste possibilitará verificar qual o verdadeiro impacto que a perda dos finos traz à amostragem com o material da perfuratriz.

## Descrição dos furos:

- Furo A: Amostrado com o mesmo procedimento adotado para o desenvolvimento da metodologia proposta neste trabalho;

- Furo B: Amostrado com o uso do tambor recortado acoplado à lança da perfuratriz, para recuperar o material fino que antes era perdido pela ação do vento.

Os resultados das análises granuloquímicas estão apresentadas nas Tabelas 4 e 5

## Discussão dos Resultados

Pelo fato de as amostras serem de furos muito pouco distanciados e com mesma profundidade, espera-se que as amostras tenham parâmetros próximos. Contudo, o primeiro fato a ser notado é que a amostra B possui uma massa significativamente maior (8,7%) do que a amostra A.



Figura 3 – Amostragem com material da perfuratriz para análise granuloquímica.

Seguindo este raciocínio, comprovamos dois fatos. O primeiro é que a massa de material fino perdida pela ação do vento é significativa e merece maior atenção. O segundo é que o tambor recortado acoplado à lança da perfuratriz foi eficiente no que diz respeito à coleta de material fino.

O gráfico da Figura 4, mostra uma comparação de teor e granulometria entre as duas amostras A e B.

Observando o gráfico apresentado, notamos que para as frações mais grossas os teores das amostras mantêm-se razoavelmente constantes, considerando que se trata de uma amostra de minério com heterogeneidade elevada. Entretanto, para as duas frações mais finas (#140 e < 140), o comportamento das duas amostras varia bastante, sendo que a amostra A apresentou um teor mais alto para estas frações. Vale salientar que a amostra A foi coletada sem o tambor para recuperação de finos e, portanto, neste caso houve uma perda maior de material fino.

Analisando as porcentagens em massa de cada fração granulométrica, verificamos, nas Tabelas 4 e 5, que a porcentagem em massa das duas malhas mais finas da amostra A cai pela metade em relação à amostra B, o que não ocorre com as frações mais grossas. Isto pode ser devido ao fato de as frações mais grossas, por serem mais pesadas, sofrerem uma menor influência do arraste pelo vento. Podemos afirmar, então, que a perda desta parcela de material fino levou a uma superestimativa destas frações da amostra, ou seja, apenas o material fino pobre foi perdido pela ação do vento, tendo sido recuperado apenas o material fino mais rico.

Ou seja, como a densidade do ouro é muito elevada, o material fino rico, composto por fragmentos contendo grãos de ouro liberado, é mais pesado e não sofre o arraste pelo vento. O material fino mais pobre, por sua vez, constituído principalmente por sílica e outros minerais mais leves, é facilmente arrastado pelo vento. Este fato leva a uma superestimativa das frações granulométricas mais finas.

Portanto, a amostragem feita com material de perfuratriz a partir de furos de desmonte para fins de reconciliação pode ser otimizada pelo uso

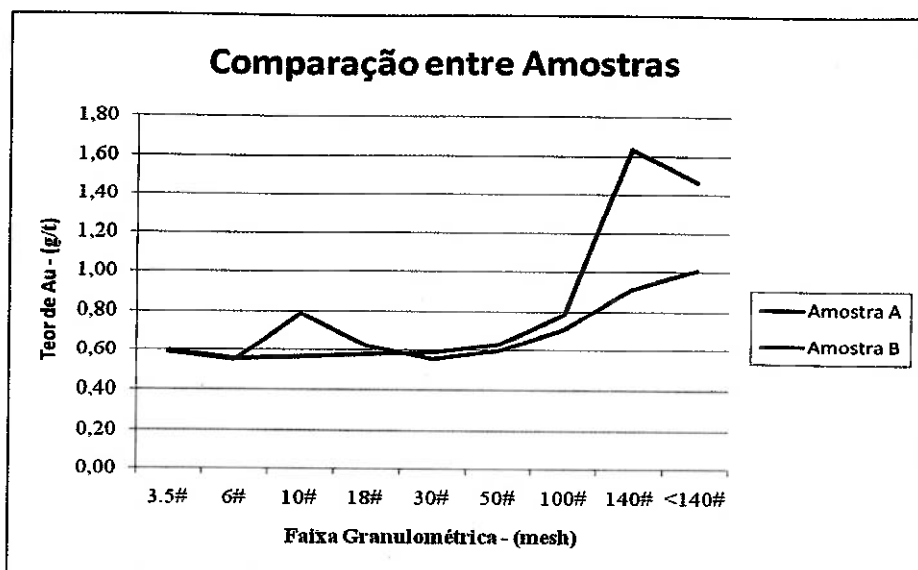


Figura 4 – Gráfico de comparação dos teores das amostras A e B em relação às faixas granulométricas.

de equipamentos que minimizem a perda do material fino, gerando amostras não-enviesadas e mais representativas. Um equipamento para esta utilidade é apresentado no ANEXO A.

#### Análise da Amostragem na Planta Metalúrgica

O estudo dos erros de amostragem na Planta Metalúrgica baseou-se em ferramentas estatísticas e geoestatísticas.

#### Análise Variográfica

A precisão de uma amostragem é medida através da variabilidade das amostras em torno da média do lote do qual elas foram retiradas. Esta medida é geralmente expressa como a variância do erro de amostragem.

Para este estudo, recorremos a uma ferramenta geoestatística muito importante para a análise de variáveis regionalizadas, que é o variograma. O variograma é construído em função do tempo entre dois pontos localizados sobre um eixo e permite caracterizar a heterogeneidade unidimensional de dados cronologicamente ordenados. Quando as massas dos incrementos coletados não apresentam variações maiores que 20%, podemos assumir que o variograma dos teores  $t_q$  é praticamente o mesmo variograma das heterogeneidades  $Q$  (Gy, 1998), como veremos a seguir.

O variograma experimental pode ser calculado por:

$$v(j) = \frac{1}{2N} \sum q(t_{q+j} - t_q)^2$$

Onde  $v(j)$  é a função variograma para o intervalo de tempo entre dois incrementos  $j$ ,  $t_q$  é o teor do incremento  $q$  e  $t_{q+j}$  é o teor do incremento separado por  $j$  do incremento  $q$ , e finalmente  $N$  representa a quantidade de pares de valores separados por  $j$ .

Para a construção do variograma experimental, é necessário primeiramente determinar o  $v(0)$ , também conhecido como “efeito pepita”, que representa a soma das variâncias dos seguintes erros:

- Erro fundamental;
- Erro de segregação e grupamento;
- De todos os outros componentes do erro de amostragem;
- Erros gerados durante a redução de massa das amostras até o envio às análises químicas;
- Erro analítico.

Diversos são os métodos para se estimar o  $v(0)$  do variograma. O método mais indicado para o caso em estudo é o do cálculo da variância com base nas duplicatas das amostras, onde a variância é calculada pela diferença dos teores das duplicatas. Segundo Gy (1998), a variância desta população de diferenças é um excelente estimador de  $2v(0)$ . Como lidamos com a diferença entre dois valores, cada valor representa um estimador de variância, e, por isto, a variância da população de diferenças é um estimado de  $2v(0)$  e não  $v(0)$ .  $2v(0)$  representa o variograma e  $v(0)$  representa o semi-variograma.

#### Semi-Variograma

Na geoestatística, a construção de semi-variogramas em vez de variogramas se deve

## SOMOS ESPECIALISTAS NA INDÚSTRIA DE MINERAÇÃO



**Recursos Humanos**

- Recrutamento e Seleção
- Executive Assessment
- Plano de Carreira
- Descrição de Cargos e Salários
- Diagnóstico de Clima
- Avaliação de Desempenho
- Definição e Revisão de Estrutura Organizacional



☎ 55-21-2609-4758

🌐 [www.rhios.com.br](http://www.rhios.com.br)

✉ [rhioscommercial@rhios.com.br](mailto:rhioscommercial@rhios.com.br)



# Mine-To-Mill

**Tabela 3 – Amostras para análise granuloquímica.**

	Massa inicial (kg)	Teor médio de Au (g/t)
Amostra A	8,650	0,73
Amostra B	9,470	0,74

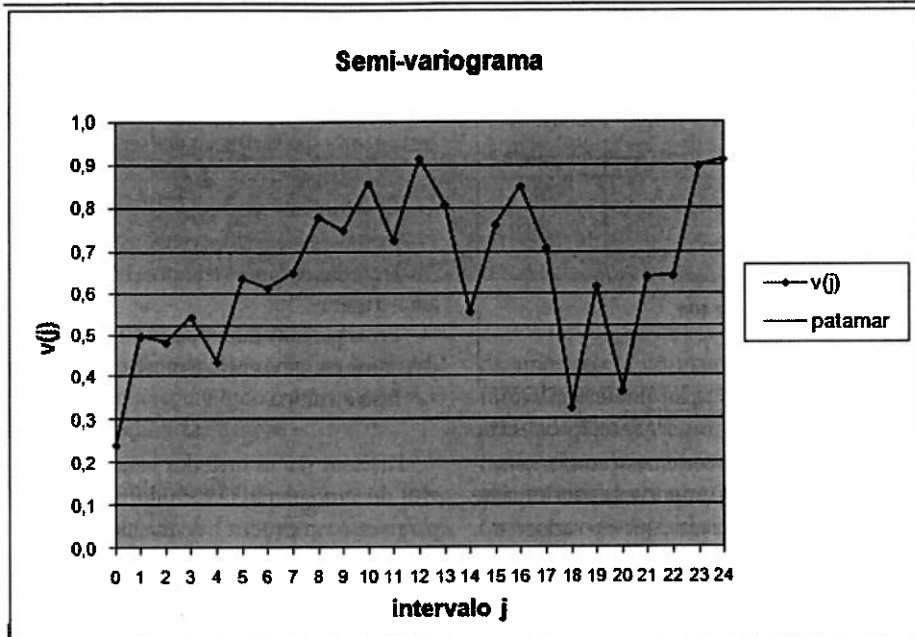


Figura 5 – Semi-variograma da amostragem na Planta Metalúrgica.

ao fato de querermos comparar os resultados do variograma com os resultados da estatística clássica. Para o cálculo do variograma, medimos uma variância que se refere à diferença entre dois valores (um par de amostras separadas pela distância ou período  $j$  entre si) e, portanto, quando queremos comparar o valor obtido pelo variograma com o obtido pela estatística clássica, é necessário dividir

esta variância por 2 (Pitard, 1993), conforme equação apresentada no item anterior.

A função semi-variograma nos fornece a correlação entre as amostras separadas por um período  $j$  e nos permite definir um intervalo mínimo  $j_{min}$  entre coletas de amostra, de modo que a amostra seja representativa do bloco em estudo.

Esta correlação entre as amostras não mais existe no momento em que a curva do semi-

variograma atinge o "patamar", ou variância estatística, relativo a fenômenos aleatórios puros. As amostras coletadas com intervalos maiores do que o referente a este ponto ("alcance" do semi-variograma) não têm mais correlação entre si e podem ser tratadas como variáveis aleatórias.

Os dados das análises químicas em duplicata das amostras da usina possibilitaram a construção do semi-variograma experimental. Como descrito anteriormente, a estimativa de  $v(0)$  baseou-se na variância das duplicatas. Os cálculos de variâncias e o semi-variograma experimental são apresentados na Tabela 6 e na Figura 5, respectivamente.

Analisando o semi-variograma experimental, notamos que a partir do terceiro intervalo ( $j = 3$ ), a curva do semi-variograma ultrapassa o patamar e que, em seguida, a curva passa a variar em torno do patamar. Logo, temos correlação entre amostras somente para intervalos entre coletas igual ou inferiores a 30 min ( $j = 2$ ), momento em que o variograma atinge o patamar e, portanto, o intervalo mínimo entre coletas de amostras  $j_{min}$  vale 30 min.

A seguir é apresentado o estudo do erro de integração (IE) associado à coleta de amostras em fluxos unidimensionais (transportadores de correia). Este estudo permite calcular o erro de amostragem gerado para cada intervalo  $j$  entre coletas de amostras.

## Análise do Erro de Integração

Segundo Gy (1998), as variâncias de amostragem podem ser estimadas a partir de quatro funções auxiliares do variograma e



*Mining the future. Delivering today.*

Desde o estabelecimento da parceria, iniciada no Brasil e que já se expandiu por duas minas no exterior, temos tido a satisfação de manter um relacionamento frutífero com a **Yamana Gold**. Seu crescimento consistente e a busca da excelência motiva e serve de inspiração para todos na caminhada para o sucesso. Sustentabilidade aliada a uma produção eficiente e segura são propósitos compartilhados pela **Yamana** e pela **Devex** – líder brasileira no segmento de soluções para o gerenciamento e otimização das operações de minas a céu aberto e subterrâneas.

"Sabemos que o fator humano é fundamental nos projetos de minas modelo da **Yamana Gold**. O time de executivos arrojados e de excelência da empresa faz toda a diferença e é notório como está se posicionando à frente em relação às soluções tecnológicas e rumo à mineração do futuro. Queremos cumprimentá-la pelo reconhecimento de seus méritos e reafirmar nosso compromisso de colaborar para seu continuado desenvolvimento", parabeniza a equipe da **Devex S.A.**

**"Devex, excelência em inovação tecnológica"**



**Tabela 4 – Resultados da análise granulométrica da amostra A.**

Amostra A			
Faixa granulométrica (mesh)	Massa retida (g)	v	Porcentagem em massa (%)
3,5	1.180,9	14,14	0,60
6	1.016,9	12,17	0,56
10	1.958,4	23,45	0,57
18	1.370,7	16,41	0,58
30	468,3	5,61	0,59
50	691,8	8,28	0,63
100	431,2	5,16	0,79
140#	123,4	1,48	1,63
<140#	1.111,2	13,30	1,47

**Tabela 5 – Resultados da análise granulométrica da amostra B.**  
Amostra B

Faixa granulométrica (mesh)	Massa retida (g)	Porcentagem em massa (%)	Teor de Au (g/t)
3,5#	973,4	10,28	0,59
6#	852,5	9,00	0,55
10#	1.766,6	18,65	0,79
18#	1.390,6	14,68	0,62
30#	533,5	5,63	0,56
50#	884,6	9,34	0,60
100#	683,3	7,21	0,71
140#	322,5	3,40	0,91
<140#	2.065,0	21,80	1,01

uma função de geração de erros. As funções auxiliares são representadas por:

- $S(j)$ : integral simples do variograma,
- $w(j)$ : o valor médio de  $S(j)$ ,
- $S'(j)$ : integral dupla do variograma,
- $w'(j)$ : valor médio de  $S'(j)$ .

Estas funções auxiliares podem ser calculadas por dois métodos:

- Modelagem da curva do variograma por uma expressão algébrica, ou;

- Método ponto-a-ponto das funções auxiliares e da função geração de erros.

Segundo Gy, o método ponto-a-ponto é o mais indicado, por sua superioridade e simplicidade em relação ao outro. Este método baseia-se em duas hipóteses:

- A curva do variograma passa por todos os pontos experimentais  $v(j)$  e pelo valor estimado de  $v(0)$ ;
- A curva do variograma consiste em linhas retas que ligam estes pontos.

**Os melhores  
merecem  
sempre  
o melhor!**

**Projetos logísticos  
para empresas  
do setor da siderurgia  
ou mineração**

Transporte de produtos Químicos  
Transporte de Carga Industrial  
Cargas extensivas e extra-dimensionais  
Logística portuária  
Transporte de Container  
Assessoria no despacho aduaneiro  
Transporte Fluvial  
para toda a região norte do País.



**GRUPO ARIZONA**

Transporte e Logística  
Excelência em transporte multimodal

Belo Horizonte • 31 3311.2808  
São Paulo • 11 2219.1011  
Belém • 91 2335.7289 | Macapá • 96 3282.1441

contato@arizonagrupo.com.br  
[www.arizonagrupo.com.br](http://www.arizonagrupo.com.br)

# Mine-To-Mill

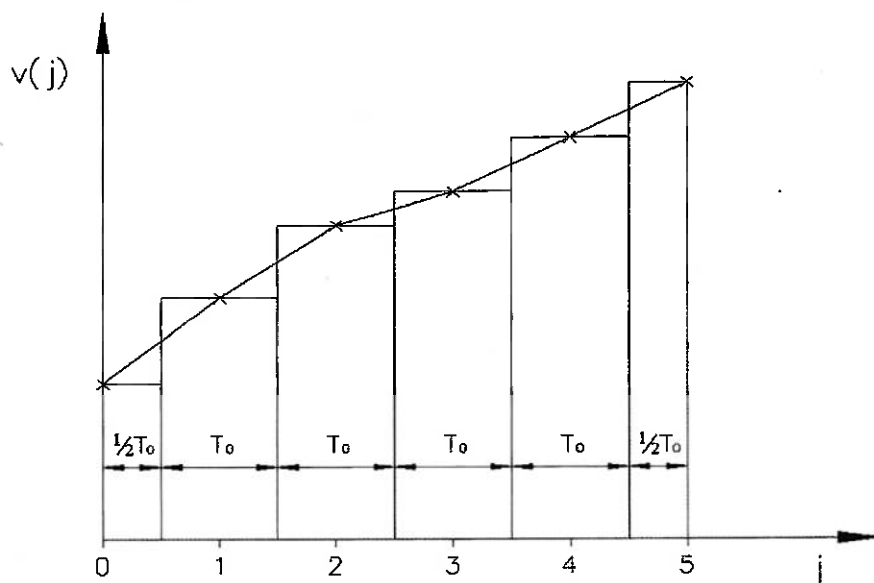


Figura 6 – Estimativa ponto-a-ponto de uma integral (Chieregati et al., 2007).

Com essas duas hipóteses, a integral de  $v(j)$  torna-se igual à área formada pelas linhas que unem os pontos  $v(j)$  e o eixo das abscissas. Geometricamente, por semelhança de triângulos comprova-se que esta área é igual à área formada pelos retângulos apresentados na Figura 6.

Tendo-se definido isto, o cálculo das funções auxiliares é efetuado a partir das seguintes expressões:

$$S(j) = S(j-1) + \frac{1}{2}v(j-1) + \frac{1}{2}v(j) \quad w(j) = \frac{1}{j}S(j)$$

$$S'(j) = S'(j-1) + \frac{1}{j}S(j-1) + \frac{1}{j}S(j) \quad w'(j) = \frac{1}{j}S'(j)$$

E a função geração de erros é calculada por:

$$W(j) = 2w(j/2 - w'(j))$$

Por último, a variância do erro de integração pode ser obtida pela expressão:

$$s^2(IE) = \frac{W(j)}{Q}$$

Aplicando-se as expressões descritas anteriormente, calcularam-se as variâncias do erro de integração para cada intervalo de tempo  $j$  considerado. Multiplicando-se o valor de  $j$  pelo intervalo mínimo entre coletas de amostras (em nosso caso, 15 minutos), tem-se o valor do intervalo de tempo considerado para os cálculos

de variância. Foi calculado também para o intervalo de 95% de confiança – representado por  $(0)2s(IE)$  – assumindo que os erros apresentam distribuição normal. Os valores calculados são apresentados na Tabela 7.

## Discussão dos Resultados

Nota-se, na Tabela 7, que quanto maior o intervalo entre coletas de amostras e menor o número de incrementos coletados para compor a amostra, maior é a variância do erro de integração (IE).

Segundo Pitard (1993), em se tratando de minérios de ouro, o máximo desvio aceitável para erros de amostragem é de 16%. O estudo do semi-variograma experimental indicou que apenas para intervalos iguais ou inferiores a 30 minutos ( $j = 2$ ) há correlação entre as amostras. Contudo, a variância do erro de integração não é a única que compõe o erro global de estimativa e, portanto, mesmo que para os cinco primeiros intervalos entre coletas de amostras (1h15min) tenhamos erros inferiores a 16%, consideramos o intervalo  $j = 1$  (15 min) como intervalo ideal entre coletas, pois somente este componente já infere um erro de 10,9% no erro global de estimativa.

## Reconciliação

Como apresentado anteriormente, uma reconciliação bem-sucedida pode ser ilusória, visto que erros cometidos em algum ponto do processo podem ser compensados por erros cometidos em outro ponto, resultando em reconciliações excelentes. Estas considerações podem ser observadas

PIMENTA DE AVILA  
CONSULTORIA LTDA

EMPRESA CERTIFICADA ISO 9001:2008



### ENGENHARIA E CONSULTORIA

GEOTECNIA DE BARRAGENS E MACIÇOS DE TERRA  
CONCEPÇÃO DE OBRAS HIDRÁULICAS  
BARRAGENS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA  
PLANEJAMENTO E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS  
CONCEPÇÃO DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS DE MINERAÇÃO E INDÚSTRIA  
GESTÃO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS

AUDITORIA DE SEGURANÇA DE BARRAGENS  
PLANOS DE AÇÕES EMERGENCIAIS  
PLANOS DE FECHAMENTO  
SUPERVISÃO DE CONSTRUÇÃO  
CONTROLE DE QUALIDADE DE OBRAS

DESDE 1989 ATUANDO NAS ÁREAS DE MINERAÇÃO, INDÚSTRIA E GERAÇÃO DE ENERGIA

### CLIENTES

ALCOA, ALUMAR, ALUNORTE, ANGLO FERROUS, ANGLO GOLD  
ASHANTI, BHP, BILLITON, BUNGE, CBA, CEMIG, CIMENTOS TUPI, CSN,  
FEAM, FERROUS RESOURCES, IBRAM, ITAFÓS, MMX, MRN, NOVELIS,  
SAMARCO, SÃO BENTO, THYSSENKRUPP, USIMINAS, VALE, VALESUL,  
VBM, VOTORANTIM E YAMANA GOLD.

### ENDEREÇO:

Alameda da Serra, nº 420 - 2º andar, Bairro Vale do Sereno  
CEP: 34.000-000 / Nova Lima - MG

Tel.: 31 3286.1711 / Fax: 31 3286.3307

www.pimentadeavila.com.br / pimentadeavila@pimentadeavila.com.br

no nosso estudo com a amostragem realizada com material da perfuratriz.

Segundo Schofield (2001), para muitos profissionais a reconciliação é o teste final de qualidade das estimativas de massa e teor resultantes dos modelos de reservas e dos modelos de controle de teor. Entretanto, primeiramente devemos realizar um diagnóstico de todos os processos envolvidos na amostragem que geram os dados para os cálculos de reconciliação.

Em muitos empreendimentos mineiros a reconciliação tem sido feita aplicando-se o mine call factor (MCF) às estimativas dos modelos, o que não é uma prática aconselhada, pois pode mascarar erros de amostragem que posteriormente podem se tornar um grande problema ao planejamento de lavra.

Portanto, devemos desenvolver práticas de reconciliação pró-ativa, que consiste na coleta e análise de dados críticos, que são utilizados no aprimoramento de estimativas em um processo iterativo, que busca minimizar a variância entre as estimativas dos modelos e a produção registrada na usina. Assim sendo, as estimativas tornam-se previsões, que podem formar uma base para a tomada de decisões, assegurando a previsibilidade do modelo geológico, ou seja, garantindo que a variância entre as estimativas e os valores reais de produção permaneçam dentro de limites aceitáveis.

O presente estudo permitiu a análise dos dados referentes à amostragem de furos de desmonte para fins de reconciliação entre mina e usina (mine-to-mill). Após análises crítica dos dados, recomenda-se o uso de um amostrador setorial com uma cúpula (ANEXO A), de modo a minimizar a perda de finos pela ação do vento. Recomenda-se, também, após análise variográfica, que o intervalo de corte do amostrador corta-fluxo da Planta Metalúrgica seja de 15 minutos.

## Conclusão

O objetivo do presente trabalho, de viabilizar uma metodologia de amostragem de material de furos de desmonte na lavra a céu aberto da Mineração Serra Grande, para fins de reconciliação, foi alcançado. Algumas recomendações foram apresentadas de modo a aumentar a representatividade das amostras coletadas durante a lavra e o beneficiamento do minério e, assim, diminuir o erro total de amostragem.

O desenvolvimento do projeto baseou-se no conceito de mine-to-mill, ou reconcilia-

ção entre mina e usina. Foram realizadas amostragens tanto na mina, com material de perfuratriz, quanto na usina, cujos resultados foram considerados como valores de referência para os cálculos de reconciliação.

Para o estudo da amostragem na usina, realizou-se uma análise geostatística, cujos resultados indicaram que, para intervalos de coleta de amostras iguais ou inferiores a 30 minutos, existe correlação entre as amostras, apresentando variâncias aceitáveis para minérios de ouro. Portanto, consideramos o teor destas amostras como uma estimativa do teor real (e desconhecido) do bloco em estudo, para os fins de reconciliação, e sugerimos um intervalo de corte do amostrador da Planta Metalúrgica de 15 minutos, de modo a minimizar o erro global de estimativa.

Tomando-se por base os métodos indicados pela teoria da amostragem, realizou-se o melhor procedimento de amostragem possível, coletando-se o material de todos os furos de desmonte do bloco estudado. A reconciliação obtida foi excelente, com um erro de estimativa de apenas 1,25%.

Entretanto, como citado anteriormente, 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. Baseando-se nesta afirmação, realizou-se uma amostragem adicional para análise granulométrica. A análise destas amostras mostrou que a perda da fração fina do material pode enviesar a amostra, superestimando as frações mais finas.

Conclui-se, portanto, que mesmo tendo obtido uma ótima reconciliação, devemos ser cautelosos. Afinal, a perda de material fino, que para o bloco estudado não causou enviesamento das amostras, pode ser problemática para blocos com teores mais elevados ou regiões mais heterogêneas do depósito. A geração de dados errôneos devido à amostragem prejudica o planejamento de curto prazo e resulta em decisões equivocadas, que podem trazer prejuízos à empresa.

Para evitar os erros devidos à perda de finos na amostragem de furos de desmonte, indica-se, portanto, o uso de um amostrador setorial com cúpula, apresentado no ANEXO A, que minimiza a perda de material fino e aumenta a representatividade das amostras, tornando-as mais confiáveis para os cálculos de reconciliação e para as tomadas de decisão do empreendimento mineiro. □



# GEOSOL

## O MAPA DA MINA

*Investimentos em tecnologia  
e inovação, compromisso  
com a sustentabilidade  
do setor e excelência  
em prospecção  
mineral.*

A Atlas Copco CS4002 é uma das novas sondas da GEOSOL

Capacidade:	
N Wireline .....	2,450 m
N Wireline - Upset Ends .....	2,850 m
H Wireline .....	1,600 m
H Wireline - Upset Ends .....	2,250 m
P Wireline .....	1,050 m

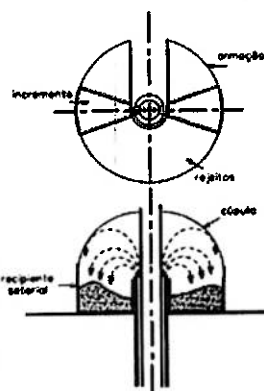
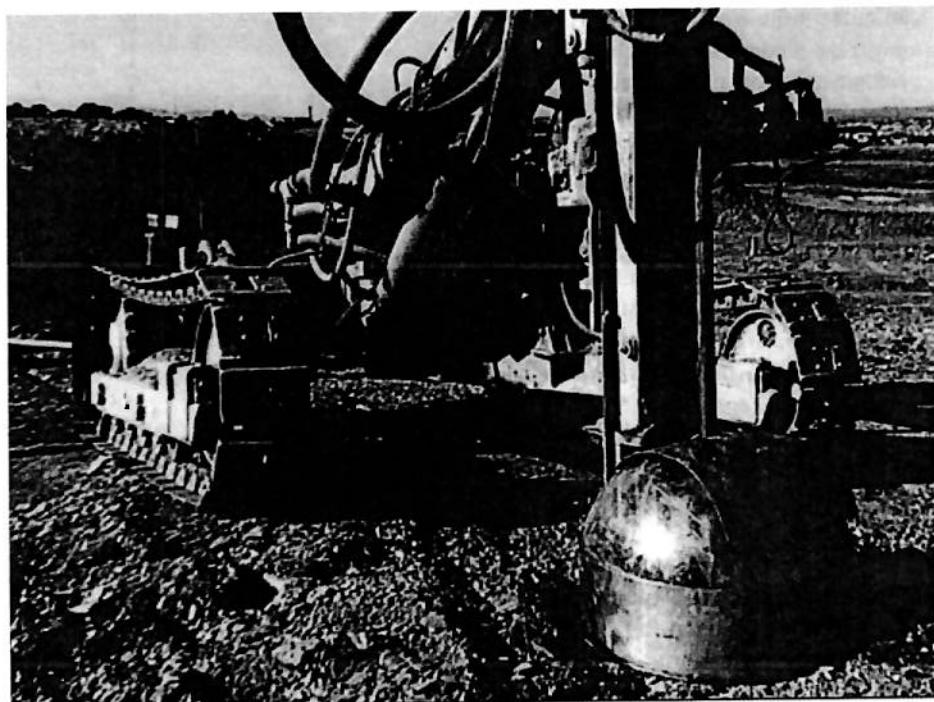


Figura 7 - Amostrador setorial com cúpula para recuperação de finos (Chierigati1, 2007).

## Referências bibliográficas

Chierigati1, A.C. *Reconciliação pró-ativa em empreendimentos mineiros*. Doctoral thesis. São Paulo, Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da USP, 2007. p. 201.

Chierigati2, A.C. et al. The point selection error introduced by sampling one-dimensional lots. In: *World Conference on Sampling and Blending*, 3rd. WCSB3: proceedings. UFRGS/Fundação Luiz Englert. Porto Alegre, Brasil, 2007. p. 405-414.

Crawford, G.D. *Reconciliation of reserves: part 2*. Pincock Perspectives, n°50, jan/04.

2004. págs. 1-4, Pincock, Allen & Holt, Colorado. Disponível em:

<<http://www.pincock.com/perspectives/Issue50-Reconciliation-2.pdf>>. Acesso em: 27 out. 2010.

Grigorieff, A.; Costa, J.F.C.L. & Koppe, J. O problema de amostragem manual na indústria mineral. REM: Revista Escola de Minas, vol. 55, n° 3. 2002. págs. 229-233, jul/set. Escola de Minas, Ouro Preto.

Gy, P. *Sampling for analytical purposes*. 1st ed., translated by A.G. Royle, John Wiley & Sons, West Sussex, England, 1998.

Pitard, F.F. *Pierre Gy's sampling theory and*

## Resumo

As perdas indiretas da indústria mineira mundial por conta de estimativas e decisões baseadas em dados errôneos são economicamente relevantes. As práticas de reconciliação, que consistem na comparação entre os teores estimados pelos modelos das jazidas e os teores produzidos nas usinas de beneficiamento, têm se mostrado cada vez mais importantes para um empreendimento mineiro, visto que estas práticas, quando realizadas corretamente, diminuem as perdas do empreendimento. Historicamente a reconciliação tem sido realizada de maneira inadequada, pelo uso do mine call factor (MCF), o qual expressa a razão entre a produção prevista pelos modelos e a produção registrada na usina. Entretanto, a aplicação de fatores às estimativas dos modelos pode mascarar os erros responsáveis pelas estimativas incorretas de teor e, futuramente, estes erros podem vir à tona e trazer problemas para o planejamento de lavra e o controle de teor. Para a obtenção de amostras corretas e de dados não enviesados que geram estimativas corretas, existe uma ferramenta poderosa, a teoria da amostragem de Pierre Gy, que apresenta os métodos corretos de amostragem para cada caso particular. Estes métodos indicam os procedimentos para a realização de uma amostragem correta e representativa, isto é, para a obtenção de amostras precisas e acuradas de modo a minimizar os erros de amostragem. O presente trabalho tem por objetivo viabilizar, para fins de reconciliação entre a mina e a usina (mine-to-mill), a amostragem do material proveniente de furos de desmonte na lavra a céu aberto da Mineração Serra Grande, visando auxiliar o planejamento de curto prazo na tomada de decisões

**Tabela 7 – Cálculo das funções auxiliares, geração de erros e variâncias do erro de integração IE.**

j	v(j)	S(j)	w(j)	S'(j)	w'(j)	2w(j/2)	Wsy(j)	s <sup>2</sup> (IE) sy	s(IE)sy	Sst 95%	Sst 95% (%)
1	0,498	0,370	0,370	0,185	0,370	0,611	0,242	0,0076	0,0869	0,1738	10,9%
3	0,544	1,372	0,457	1,914	0,425	0,8218	0,396	0,0132	0,1149	0,2299	14,4%
5	0,637	2,397	0,479	5,660	0,453	0,8860	0,433	0,0155	0,1244	0,2488	15,5%
7	0,651	3,655	0,522	11,709	0,478	0,9315	0,454	0,0174	0,1321	0,2641	16,5%
9	0,750	5,135	0,571	20,474	0,506	0,9351	0,43	0,0179	0,1338	0,2676	16,7%

**Tabela 6 – Cálculo das variâncias das amostras na Planta Metalúrgica.**

Intervalo j	v(0) "efeito pepita"	Variância estatística "patamar"
15 min	0,242	0,521

sampling practice: heterogeneity, sampling correctness, and statistical process control. Florida, CRC Press, 1993. 2nd ed., p. 488.

Schofield, N.A. The myth of mine recon-

ciliation. Mineral Resource and Ore Reserve Estimation: the AusIMM Guide to Good Practice. Melbourne, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 2001. p. 601-610.

<sup>1)</sup>Engenheiro de Minas pela Escola Politécnica da USP; e-mail: wellingtonlacerdagomes@gmail.com <sup>2)</sup> Professor, Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo/Universidade de São Paulo. Av. Prof. Mello Moraes, 2373 - Cidade Universitária - 05508-030 - São Paulo/SP; e-mail: ana.chieragati@poli.usp.br; hdelboni@usp.br - <sup>3)</sup>Geólogo do Open Pit da Mineração Serra Grande; e-mail: dbcarvalho@serragrande.com.br

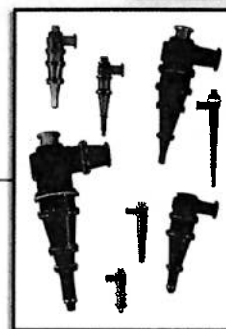
# Netzsch AKW

## A Tecnologia e a Qualidade que você procura estão aqui

- Hidrociclones em Poliuretano, Aço Inoxidável e Outros Materiais
- Distribuidores
- Espessadores
- Tambores Lavadores
- Células de Atrição
- Espirais
- Plantas Completas
- Consultoria
- Assistência Técnica



Netzsch AKW Equipamentos e Processos Ltda.  
Rua Samuel Morse, 120, 7º Andar, Cj 74, Brooklin  
CEP 04576 060 - São Paulo/SP  
Telefone: 55 (11) 2134 0311 - Fax: 55 (11) 2134 0370  
E-mail: naa@naa.com.br - www.netzschakw.com.br



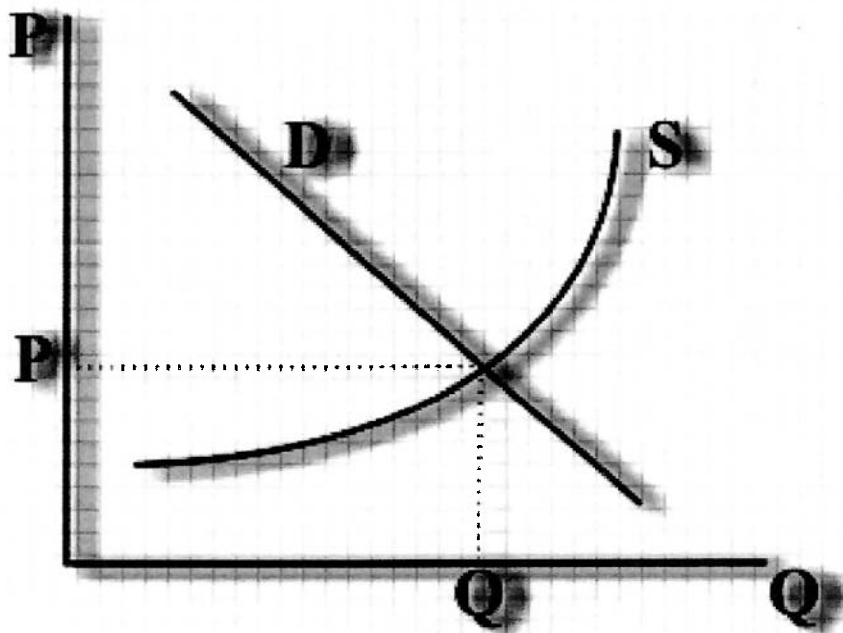


Fig. 01- Oferta vs Demanda: Preço de Equilíbrio

## A falsa dicotomia dos metais especiais e estratégicos

Antonio Fernando da Silva Rodrigues, Geólogo, Gemólogo, MSc.

A fisiocracia, que remonta à primeira metade do século XVIII — considerada precursora entre as correntes de pensamento econômico — ao afirmar que “Toda a riqueza emana da terra” admitia que todas as demais formas produtivas não ligadas a terra, indústria e comércio, eram estéréis, em nada contribuindo para a riqueza humana. Registra-se, assim, no processo evolutivo do paradigma da “Disciplina Economia”, o reconhecimento da estreita relação e importância da natureza para a construção dos valores humanos.

Atribui-se a Adam Smith, e sua “mão invisível”, a síntese de todas as influências filosóficas, humanistas, das ciências exatas e econômicas, ao gerar o primeiro tratado sobre Economia Política: “Uma Investigação sobre a Natureza e as Causas da Riqueza das Nações”. A obra consolida a máxima do liberalismo *laissez faire* — *laissez passer* (deixar fazer, deixar passar) em contraponto ao absolutismo monárquico em decadência, sob o pressuposto de que a defesa dos interesses próprios (*self-interest*) ao promover satisfação e lucro para os indivíduos

resultaria em maior bem estar e riqueza para as Nações.

Remonta à segunda metade do século XVIII a teorização monetária sobre os ciclos econômicos, com significativa contribuição do economista clássico David Ricardo. Na década de 20, Nikolai Dmyitriyevich Kondratyev evidenciou, para desapontamento de Stalin, que o Capitalismo, desde os alvares da 1ª Revolução Industrial, parecia repetir um padrão de “ciclos tech-econômicos” de 50-60 anos, que o salvava da crise final e lhe permitia um período de reengenharia. Na mesma direção, a Teoria das Ondas de Elliott (1939) sustenta-se no princípio de que os movimentos dos grandes mercados são refletidos por amplitudes de ondas (positivas e negativas) harmônicas e simétricas, cujo ciclo compreende cinco ondas: três altistas e duas corretivas.

Nessa perspectiva, emerge a questão: uma análise da história econômica recente, sob o prisma da Teoria dos Ciclos, de Kondratyev, permitiria identificar um novo ciclo que se abre no mercado internacional — associado ao

boom dos preços das commodities, a partir de 2003 — gerando uma expectativa favorável à conformação de um “período de graça” para as economias dos países emergentes com índices de crescimento sem precedentes, de empreendedorismo frenético, ampliando-se as oportunidades de mineralnegócios, na primeira metade do século XXI. Compete advertir, contudo, que esses ciclos longos de 50 a 60 anos são marcados por períodos iniciais de crescimento, seguidos de um pico propício a fraturas históricas a que se segue uma fase de desaceleração, no final da qual, a força motriz de inovações tecnológicas impulsionaria um novo ciclo de prosperidade globalizada.

Portanto, dado o pressuposto de que a ciclicidade da economia subordina-se a uma série regular e recorrente de booms e busts — onde períodos marcados pelo aumento da atividade econômica, dos preços e do nível de emprego são seguidos por recessões, queda de preços e aumento do desemprego — torna-se ocioso enfatizar que o desenvolvimento das civilizações registrado na moderna literatura econômica consiste em um processo histórico de avanço do conhecimento (C&T) sempre associado a estruturas produtivas diversificadas e intensivas em tecnologia, requisitos fundamentais ao equilíbrio e sustentabilidade do crescimento do Estado-Nação.

Nessa perspectiva, nas décadas recentes, observa-se a emergência de uma multiplicidade de inovações tecnológicas que têm promovido uma verdadeira revolução no campo comunicação e informação. Em paralelo às mudanças que vêm ocorrendo no contexto social, econômico, político e cultural, percebe-se também a busca incessante das organizações empresariais em conquistar maiores fatias de mercado (*market share*), diferenciar-se da concorrência, criar estratégias competitivas sustentáveis e acima de tudo, manter-se e sobreviver às turbulências oriundas de seus ambientes concorrenciais, recorrendo muitas vezes a processos de aquisições e fusões (A&F). Com efeito, a dinâmica das transformações constitui-se em um grande desafio para as organizações, dada a resistência natural a passagem de uma “teoria-em-uso” para outra, muitas vezes derivada de verdadeiras rupturas de paradigmas, revoluções tecnológicas.

### Dinâmica da riqueza: minerais convencionais e ‘high-tech’

Os recursos ambientais podem ser categorizados pela sua abundância relativa na crosta terrestre e pelo grau de dependência da