

Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP

Departamento de Engenharia de Minas

ISSN 0104-0553

BT/PMI/028

**Análise Comparativa de
Métodos de Amostragem de
Depósitos Auríferos**

**Fábio Augusto da Silva Salvador
Helmut Born**

São Paulo -1994

872357

O presente trabalho é uma versão abreviada da dissertação de mestrado apresentada pelo Geólogo Fábio Augusto da Silva Salvador, sob a orientação do Prof. Dr. Helmut Born: "Análise Comparativa de Métodos de Amostragem de Depósitos Auríferos", com defesa realizada em 10 de agosto de 1994.

A íntegra da dissertação encontra-se à disposição dos interessados com o autor e na Biblioteca do Depto. de Engenharia de Minas da Escola Politécnica da USP.

Salvador, Fábio Augusto da Silva

Análise comparativa de métodos de amostragem de depósitos auríferos / F.A.S. Salvador, H. Born. -- São Paulo : EPUSP, 1994.

13p. -- (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Minas, BT/PMI/028)

1. Jazidas de ouro 2. Pesquisa mineral 3. Amostragem (Mineração) I. Born, Helmut II. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas III. Título IV. Série

CDU 553.41
622.1
622.121

ABSTRACT

Sampling, specifically of mineral deposits and in different phases of mineral exploration, has been the theme of many studies, mainly since the 1950s, when reliability and representativity aspects became increasingly important for statistical and probabilistical considerations.

Regarding gold deposits in particular, propositions to recognize the real characteristics of gold bearing concentrations, based on a limited number of informations (data) obtained by sampling, must consider the peculiar properties of native gold, its main ore mineral, and the geological context in which it occurs. Attributes, such as low concentrations, irregular distribution of gold particles and physical segregations phenomena, are reflected in the rather complex and singular nature of gold bearing materials and consequently in its sampling procedures.

This study, considering the historical, social and economic importance of gold, tries to summarize the knowledge gatered by several specialists on the subject to analyse the importance of different sampling techniques; to compare the procedures adopted to obtain reliable and representative samples, according the different nature and classification of gold deposits.

RESUMO

A compreensão do tema amostragem, na conjuntura dos depósitos minerais, tem sido motivo de diversos trabalhos de pesquisa, cingindo praticamente todas as etapas da pesquisa mineral e investigações científicas, principalmente a partir da década de cinquenta.

De um modo específico, tratando-se dos depósitos de ouro, as proposições sobre as melhores maneiras de se ter noção sobre as verdadeiras características das concentrações auríferas, a partir de um conjunto restrito de informações, levam em consideração propriedades inerentes peculiares ao metal e às relações geológicas que o envolvem. Atributos como baixas quantidades relativas, heterogeneidade de distribuição e segregações de origem física singularizam as características sobre a natureza do ouro em materiais geológicos e os métodos de sua amostragem.

Este trabalho, associado à importância histórica, social e econômica do ouro, visa integrar os conhecimentos alcançados por vários especialistas do setor mineral; analisar a relevância dos diferentes métodos de amostragem específicos para depósitos de ouro; fazer comparações entre procedimentos adotados para obtenção de amostras confiáveis e representativas do corpo mineralizado de interesse, sempre observando a importância das classificações de seus depósitos.

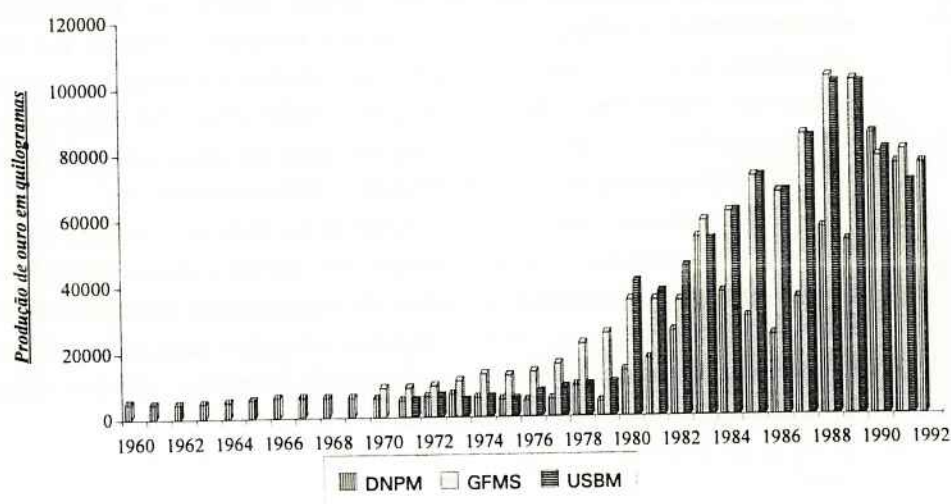
INTRODUÇÃO

"O mais nobre dos metais". A expressão é reconhecida e associada com o ouro mesmo por aqueles que não realizam investigações em geologia e engenharia mineral. O ouro não é o elemento mais raro na natureza, não é metal de mais alta densidade, nem talvez tenha sido o bem mineral mais importante na história da humanidade, mas é o que mais diretamente, atavicamente, conduz à idéia da riqueza.

Batalhas de conquista, corridas do ouro, migrações gigantescas de indivíduos por todas as partes do mundo, descobrimentos de regiões isoladas, foram e continuam sendo motivadas pela busca do bamburro e do "lucky strike". Inicialmente identificado com o brilho do sol, provocando míticas tentativas de transmutação da matéria e hoje tão associado ao dólar quanto com a Indústria Mineral, seu valor sempre se manteve relativamente constante na cultura e na economia mundiais.

As tentativas de quem busca identificar as concentrações de ouro, em seus diferentes tipos de depósitos, devem se nortear por critérios precisos, de acordo com a complexidade das investigações, e da extrema importância científica e tecnológica das descobertas que delas possam ocorrer.

Evolução da produção brasileira de ouro a partir de 1960



AMOSTRAGEM MINERAL

Conceitos.

Nos textos estatísticos e da pesquisa mineral que abordam o assunto nos seus aspectos formais, são definidos:

a) Universo

É o total da massa de interesse e a fonte de todos os dados, sobre a qual será executado o processo de amostragem. Embora o conceito de universo seja estabelecido previamente (o que queremos estudar), de modo teórico, na prática das atividades de prospecção e pesquisa mineral sua delimitação física só será efetivada em função dos próprios resultados obtidos pela amostragem, tanto na massa mineralizada, incluindo porções estéreis, como nas encaixantes imediatamente vizinhas.

b) População

No sentido amplo, população é um conjunto de elementos de um universo que têm todos uma característica comum mensurável. Na prática, por exemplo, seria o agrupamento de partículas portadoras de ouro em um material geológico ou uma série de veios de um depósito de "stockwork" mineralizado. É um conjunto, considerado a partir de um único atributo (como teores em ouro, quantidades de sulfetos auríferos, densidade de certos minerais ou dimensões de suas partículas), de onde amostras e incrementos podem ser selecionados. Assim, zonas diferenciadas em função de seus atributos peculiares são diferentes populações, dentro de um mesmo universo (o corpo mineralizado).

c) Amostra

A amostra é qualquer conjunto cujos elementos provêm de uma população ou, em estatística, uma parte da população usada para estimar parâmetros. Em pesquisa mineral, entretanto, utiliza-se essa denominação para cada porção individualizada de material representativo de um local do corpo mineralizado (amostra, unidade amostral ou amostra unitária). Todas as amostras coletadas são representativas de uma parte do corpo mineralizado, zona ou população, e no seu conjunto uma coleção de amostras unitárias (em terminologia estatística, a **amostra**) representativa de um corpo mineralizado, é composta de muitíssimas partes, típicas do mesmo corpo.

d) Unidade amostral (amostra unitária)

Para fins de pesquisa mineral, é uma parte individualizada da amostra e, por conseguinte, do universo, onde são feitas as medições referentes a alguma sua característica associada. Uma amostra ou unidade amostral obtida em um sítio específico de um depósito ou de um outro material geológico pode ser tratada como espécime individual ou ser associada a outras unidades formando o que se costuma denominar amostra composta.

Na pesquisa mineral, a definição das dimensões da unidade amostral é feita experimentalmente e as especificações devem incluir volume ou massa e também a

configuração física (diâmetro ou largura de poços, dimensões e subdivisões do canal, diâmetro do testemunho, amostra total ou subdividida e intervalos para análises, etc.). Volume ou peso devem ser preferivelmente mantidos constantes, por se destinarem a análises quantitativas, não se podendo comparar e tratar diretamente bases diferentes. Isso implicaria na geração de erros experimentais suscitadores de fatores de correção.

e) Tamanho da amostra

Em estatística, o número de elementos (amostra) coletados é denominado tamanho e se esse número for muito grande, em certos casos podemos tomá-lo como infinito. No caso da amostragem em pesquisa mineral, a importância maior está na definição das dimensões (massa ou volume) das unidades amostrais, que serão alvo das análises quantitativas a respeito de seu atributo de interesse, enquanto a quantidade de elementos da coleção de amostras será definida em função da configuração espacial do corpo mineralizado e das condições logísticas individuais de cada empreendimento. De uma amostra de material geológico, diferentes quantidades de subamostras podem ser obtidas, com reduções ou repartições progressivas de massas e volumes da amostra original, tendo como resultado, em última análise, a alíquota considerada para fins laboratoriais de determinação de valores associados (teores, por exemplo).

f) Principais parâmetros amostrais

A partir do total de unidades amostrais, uma série de parâmetros são calculados, refletindo as propriedades analisadas e sua maior ou menor variabilidade, que por sua vez pode ser expressa quantitativamente.

- total das amostras
- média das amostras

$$\bar{x} = (1/n) \sum_{i=1}^n x_i$$

- variância das amostras minerais

$$S^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / (n - 1)$$

- desvio padrão

$$s = \sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2 / n}$$

- coeficiente de variação

$$CV = S/\bar{x}$$

- proporções nas amostras

É o quociente entre o número de elementos (amostras unitárias) de uma amostra que têm uma característica comum de interesse e o total das amostras unitárias.

- razão entre amostras

É a razão entre os valores de dois ou mais atributos em uma mesma unidade amostral ou em uma amostra composta.

Aleatoriedade

Um fenômeno é dito aleatório quando seu resultado é totalmente incerto. Dados aleatórios, com igual probabilidade de ocorrência em uma amostragem, são o fundamento para a boa qualidade dos resultados amostrais e para expressar sua representatividade. Possibilita o tratamento probabilístico dos valores, estabelecendo limites de confiança em torno da média ou da variância estimada.

Hazen¹ comenta que, para dados que não são aleatórios, não existem métodos conhecidos para expressar integridade ou confiança.

Dados aleatórios em amostragens de depósitos minerais podem ser obtidos de duas maneiras:

- usando métodos de amostragem aleatória ou
- usando algum método de amostragem que obtenha dados das partículas minerais que estejam distribuídas aleatoriamente na rocha hospedeira, como em feições estruturais de pequena escala. Algumas micro estruturas podem estar em escala e distribuição aleatórias, o que permitiria a produção de amostras compostas dessas estruturas e consideradas aleatórias.

Em muitos depósitos auríferos, principalmente com ouro disseminado, a mineralização encontra-se associada a fraturas na rocha. Em outros depósitos está concentrada ao longo de vênulas ou em planos de xistosidade, devendo as amostras ser de tamanho suficiente para conter uma representação dessas estruturas, sem obliquidades. Os resultados analíticos de amostras desses materiais podem, então, ser considerados aleatórios.

Amostragem aleatória e amostragem sistemática

São os dois conjuntos de técnicas e processos de seleção de unidades amostrais, a fim de que uma população amostrada possa ser convenientemente estudada. Visam basicamente rapidez na obtenção de informações, gerar resultados confiáveis e representativos, reduzir custos e orientar as pesquisas.

Considerando como fundamento básico a igual probabilidade de cada elemento da população em participar da amostra, podemos tratar a amostragem de certos depósitos minerais como probabilística (aleatória) ou sistemática.

A **amostragem aleatória**, requer que cada item a ser amostrado tenha igual chance de ser selecionado.

Já a **amostragem sistemática** é basicamente uma repetição ou sequência sucessiva de coleta em algum intervalo **temporal ou espacial** definido. Processos de amostragem sistemática podem introduzir elementos não aleatórios no conjunto de amostras ou no dado analítico. Por exemplo, mineralogicamente é aceito que duas amostras adjacentes são mais aptas a serem similares, isto é, terem o mesmo valor, do que duas amostras distanciadas. Essa correlação ou influência entre amostras sucessivas, é um elemento não aleatório que afeta a inerente aleatoriedade, sendo esta propriedade dos depósitos minerais o principal apanágio motivador da Geoestatística.

Numa amostragem de depósitos de ouro, existem diversos meios de se apossar materiais representativos que tornam possível a igual chance de seleção das unidades amostrais:

- amostragens simples, quando a população não é repartida em subpopulações, sendo efetuada sobre toda a população indivisa. A seleção dos elementos pode ser de várias formas: aleatória, com probabilidade proporcional ao tamanho ou distribuição do elemento, sistemática, etc.;

- amostragens estratificadas, quando a população é repartida em subpopulações disjuntas, desejavelmente homogêneas internamente e heterogêneas entre elas. Colhe-se diversos elementos de cada estrato; a reunião de tais subamostras pode ser feita sobre qualquer das formas citadas: aleatória, sistemática, etc.;

- amostragens por conglomerados, onde tal como no método anterior, a população também se encontra repartida em subpopulações disjuntas, agora denominados "conglomerados". Esse processo se destina, entretanto, a uma alta heterogeneidade interna (dentro de cada conglomerado), de modo que a heterogeneidade entre os conglomerados fique substancialmente reduzida. Sorteiam-se os conglomerados (mediante alguma das formas já citadas) e, a partir daí, realiza-se uma amostragem nos conglomerados sorteados. É a denominada amostragem de conglomerados em dois estágios.

Em depósitos de ouro disseminado a praticidade da amostragem por conglomerados está associada à diminuição da variabilidade dos resultados amostrais, considerando uma extensa distribuição espacial da população. O método também merece ser usado quando, de alguma maneira, populações distintas, como faixas granulométricas ou intervalos de teores, por exemplo, estão sendo investigadas.

Heterogeneidade

Segundo Pitard², considerando que homogeneidade é a condição de uma população ter todos os seus elementos estritamente idênticos, heterogeneidade é definida como a condição em que não existe essa igualdade. Homogeneidade seria a situação onde a heterogeneidade é zero, e é um limite inacessível. O mesmo autor, amparado nas conceituações originais de Pierre Gy³, identifica dois diferentes tipos de heterogeneidade: a de constituição e a de distribuição, que são responsáveis por toda a heterogeneidade de uma população ou de um universo e, conseqüentemente, de uma amostra desses conjuntos.

PRECISÃO E EXATIDÃO

Um dos principais objetivos das amostragens de minérios e materiais auríferos em geral é obter uma estimativa confiável do teor da massa mineralizada e, quando se deseja planejar e executar uma campanha de amostragem, será fundamental:

- a) fixação clara dos objetivos da amostragem;
- b) definição nítida da população alvo, de modo que a população de amostras seja representativa e que os resultados possam ser generalizados para o todo. Uma providência importante é organizar os elementos que compõem a população através de plantas, mapas, fotos aéreas, etc.;
- c) estabelecimento da representatividade de qualquer amostra individual relativa à massa da qual foi obtida, o que depende da magnitude das variáveis naturais e das introduzidas pelo homem;
- d) definição do grau de precisão a ser atingido, mesmo em caráter prévio, a fim de planejar adequadamente a amostragem;
- e) planejamento e seleção da técnica de amostragem, devendo ser escolhido o tipo mais adequado para a população a ser coletada. Conforme o tipo escolhido terão que ser feitas considerações a respeito de precisão, exatidão, tamanho e custo de cada amostra.

Precisão carrega consigo o significado de reprodutibilidade de resultados, com similaridade de valores em caso de repetição do evento amostral. **Exatidão** diz respeito à proximidade entre o valor obtido e o valor real, não havendo uma amostra verdadeiramente exata, segundo alguns, por não existirem seleções sem erro.

Nem sempre uma resposta precisa será também exata. Na avaliação de dados, as repetições de análises dentro de um conjunto de amostras podem identificar a precisão, enquanto altos padrões de controle de qualidade podem identificar o nível de exatidão.

Em amostragens minerais, a precisão de cada operação física ou mecânica, usada na apropriação, no tratamento, nas análises e nos registros das amostras influenciam a representatividade dos resultados. Um conjunto de amostras é suposto como representativo de um depósito mineral, isto é, que proporções, composições ou teores são os mesmos que aqueles de sua fonte, o corpo mineral.

ERROS DE AMOSTRAGEM E VIÉS

De acordo com Yamamoto⁴, a teoria da amostragem é construída em torno do conceito de que, se um número suficiente de unidades representativas de uma população é selecionada sem enviesamento, o valor médio dessas unidades irá se aproximar daquele da população total.

Perdas em testemunhos de sondagem, diluições e contaminações, cortes impróprios de canais de amostragem e outras ocorrências durante o processo de prospecção e pesquisa são geradores de obliquidades de resultados, ou seja, erros. Cada erro individual vai contribuir para o erro experimental total e consequente redução na precisão das estimativas sobre as características do minério ou material geológico.

Burn⁵ classifica os erros de amostragem em:

- a) erros sistemáticos ou viés, que são constantes, não intencionais e de magnitude similar;
- b) erros aleatórios, que resultam de práticas imprecisas e são estatisticamente independentes de observação em observação. Tendem a uma distribuição normal em torno de um valor médio;
- c) erros grosseiros, geralmente de grande magnitude, resultado de erros de procedimento;
- d) erros deliberados, por condutas indevidas de terceiros, que descaracterizam a validade de qualquer tipo de amostragem.

Alguns níveis de erros aleatórios são inevitáveis em qualquer tomada de dados, mas sua magnitude deve ser controlada dentro de limites aceitáveis. Erros grosseiros são normalmente de fácil reconhecimento, especialmente se o programa de amostragem estiver sob eficiente controle geológico e podem ser corrigidos através de verificações regulares dos procedimentos.

Em contraste com a natureza aleatória da maior parte dos erros experimentais, **viés** em amostragem pode ser considerado como uma tendência direcionada, uma obliquidade de uma estimativa, que é diferente do valor verdadeiro. É um erro consistente que pode resultar em super ou subestimações.

Vieses podem ser introduzidos por atos físicos da amostragem, por falhas em equipamentos ou por planejamento inadequado das condutas de obtenção de amostras. Em uma amostragem por canais em um veio de quartzo aurífero, um viés pode ser estabelecido por um consistente incremento na massa de material friável - por exemplo sulfetos, faixas hidrotermalizadas - em intervalos distintos de compartimentação.

O viés introduzido nos processos de amostragem deve ser minimizado, mesmo que não possa ser erradicado. Uma melhor compreensão sobre o viés das amostras deve vir de procedimentos detalhados e controlados, nas amostragens de minérios e materiais geológicos, na preparação dessas amostras, nas análises e nas estimativas decorrentes. Isso pode não só diminuir as discrepâncias de estimativas, como também aumentar significativamente a eficiência de futura seleção de blocos de lavra e alvos para detalhamento.

Muitos autores^{6, 7, 8} discutem os problemas de introdução de vieses em processos de amostragem mineral, tanto pelo uso de equipamentos impróprios, como pelas

definições pouco claras a respeito dos valores de referência empregados para estimativas de erros.

ESPECIFICIDADES NA AMOSTRAGEM DE DEPÓSITOS DE OURO.

As alternativas encontradas para agrupar os depósitos auríferos em categorias são muito diversas. As investigações sobre os mais frequentes modos de ocorrência do ouro levam a definições que progressivamente servem para uma modelagem tentativa do sítio aurífero, segundo as características identificadas durante as etapas de prospecção e pesquisa mineral. Alguns tipos mais conhecidos, como "greenstone belts", veios auríferos, ouro disseminado, faixas de cisalhamento, zonas hidrotermalizadas, massas sulfetadas, cascalhos ricos, entre outros, fazem parte dos modos de ocorrência mais estudados dos depósitos de ouro encontrados na natureza.

A extrapolação de condições e atitudes geológicas de locais bem expostos para áreas menos conhecidas, bem como interpolação de observações localizadas, segundo modelos de "favorabilidade geológica" (Peters⁹), podem não dar subsídios suficientes para avaliar corretamente os riscos de investimento financeiro, nem orientar processos tecnológicos e de utilização das ferramentas da pesquisa mineral, como é o caso da amostragem. Por outro lado, em casos raros, como por exemplo os depósitos auríferos do Rand sul africano, poucos trabalhos de pesquisa fundamentados em um modelo confiável são suficientes para bloquear reservas.

Na modelagem de depósitos auríferos, aproximações subjetivas devem seguir um raciocínio sistemático, adaptado a situações onde haja consenso entre os pesquisadores. Esses sistemas podem ser estruturados em torno de idéias surgidas de agrupamentos de especialistas, em determinados eventos técnicos e científicos, ou em pesquisas individuais e progressivas dos autores mais atuantes no assunto.

De acordo com a intenção de orientar métodos de amostragem, algumas classificações de depósitos auríferos podem ser consideradas relevantes sob o ponto de vista da pesquisa e engenharia mineral: De Launay (1913); Emmons (1937); Raguin (1961); Bateman (1961); Routhier (1963); Simons e Printz (1973); Henley (1975); Boyle (1979); Bache (1987); Paterson (1990); Novgorodova (1991); Biondi (1991); Foster (1991), entre outros.

De forma resumida, as principais características quanto à forma de ocorrência e tipos de controle, que se enquadram nas classificações dos autores citados e que são orientativos para os processos amostrais, são:

DEPÓSITOS DETRÍTICOS

Pláceres recentes (elúvios, colúvios e aluviões)

Concentrações mecânicas e residuais.

Pláceres antigos

Conglomerados auríferos e pláceres fósseis.

DEPÓSITOS PRIMÁRIOS

Veios

Podem ser enxames de veios finos; grandes veios; veios reticulados; filões ("lodes"); com preenchimento de fraturas; veios hidrotermais de ouro, sulfetos e quartzo; veios com predominância de cobre/ chumbo ou zinco/ ouro e prata; veios encaixados em rochas vulcânicas terciárias; "bonanzas".

Ouro disseminado

Como inclusões em rochas ígneas; depósitos de segregação; depósitos de contato; impregnações difusas por fontes profundas; relacionado a pegmatitos; pirometassomatismo; depósitos de substituição; depósitos magmáticos; disseminado em calcários (com associações polimetálicas com Au, Cu, Hg); mineralizações feríferas extensas, "stockworks".

Controle predominantemente estrutural

São os veios e filões; zonas de contato; zonas e brechas de falhas; cristas de dobras; fraturas; estruturas planares; chaminés mineralizadas; "shear zones".

Controle litológico

As rochas ígneas; metamórficas de composição granítica; vulcano-sedimentares; plutono-vulcânicas; sedimentares; vulcânicas máficas; vulcânicas félsicas.

Controle mineralógico

Materiais com pirita, arsenopirita, calcopirita; jasperóides (depósitos tipo Carlin); sulfetos; sulfossais; óxidos de ferro; minerais de urânio; silicatos; carbonatos; teluretos; com minerais de Ag, Pd, Rh, Ir, Bi, Cu, Sb, Se, Mo, Cr, Zn.

Quanto à profundidade e temperatura de formação

Podem ser hipotermiais; mesotermiais; epitermais.

Quanto ao aspecto refratário

Disseminações extremamente finas; ouro incluso; com cianicidas; com consumidores de oxigênio.

Obviamente, essas classificações, baseadas em observações muito detalhadas em depósitos sobejamente estudados, só podem ser adotadas de modo tentativo em novas ocorrências, necessitando de contínuas revisões conforme dados geológicos são angariados. Do mesmo modo, procedimentos de amostragem precisam ser continuamente reanalisados e adaptados, até se atingir procedimentos sistemáticos para cada área.

Os problemas na amostragem mineral começam pela compreensão dos mecanismos de distribuição por tamanho das partículas formadoras das mineralizações (Jullien; Meakin¹⁰). Os problemas são maiores quando lidamos com depósitos de metais

preciosos, onde teores baixos podem ser economicamente atraentes. Para enfatizar essa questão, pode ser citado exemplo hipotético, discutido por Bacon et al¹¹ e outros, de um resultado analítico de uma amostra de ouro com 0,4g/t de teor, que pode ser resultado da presença de uma única partícula de 425 micrômetros (35 mesh) em uma amostra de 5kg.

A classificação dos depósitos para fins de amostragem deve identificar parâmetros que orientem a obtenção de amostras de maneira precisa, possibilitando resultados analíticos exatos, no tempo requerido e com custos compatíveis. Para tanto, a investigação de um depósito aurífero em veios, por exemplo, deverá levar em conta a característica falta de regularidade da distribuição das partículas valiosas dentro da massa mineralizada e a natureza física e química das porções ricas e estéreis.

A amostragem dos depósitos de ouro, pela perene importância da produção do metal, pela grande quantidade de dados gerados em suas pesquisas e por suas características físicas peculiares é a que mais motiva investigações técnicas e científicas. Não obstante a amostragem ser efetuada dentro de rígidos critérios e com controles efetivos, o valor da amostra nunca será o exato valor de sua fonte.

O método de amostragem em prospecção e pesquisa mineral pode ser dividido em três sucessivas etapas, cada qual com seus erros e com controle e planejamento independentes: aquisição, preparo e análise da amostra. Na situação das amostragens de materiais geológicos com ouro, a subdivisão de massas originais coletadas pode ser a base de populações estatísticas de difícil correspondência, no que concerne a representatividade das informações.

David¹² dá um exemplo de procedimento comum de preparação de amostras, partindo de um testemunho. Após sua divisão longitudinal em duas partes iguais, uma das metades é moída em 1/4 de polegada, com homogeneização e posterior retirada de uma primeira subamostra com 0,5 a 1kg de massa. Esses fragmentos devem ser levados a uma granulometria abaixo de 150 micrômetros (100 mesh), novamente homogeneizado e alguns gramas retirados para fins de análise química. Na figura 1, cada ponto representa uma certa quantidade de material moído a uma determinada granulometria. A preparação de amostras é uma sucessão de reduções de massas e granulometrias e em cada uma das linhas verticais dos degraus está incluído um erro envolvido.

Quando se extrai uma unidade amostral ou um conjunto de unidades amostrais, eles devem ser o resultado de um processo planejado com base nos conhecimentos gerais adquiridos em todas as etapas anteriores da prospecção e pesquisa do depósito.

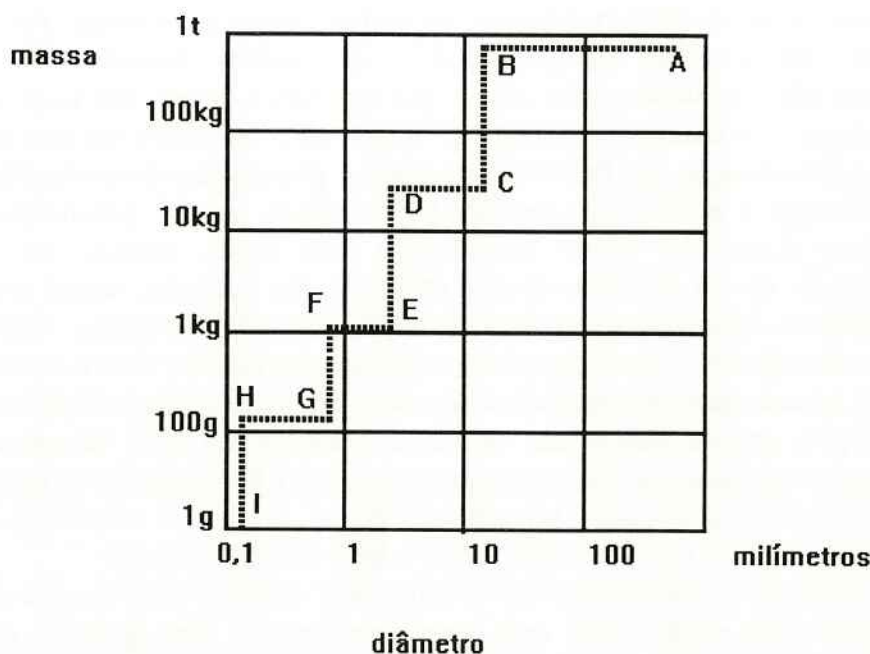


Figura 1. Relação massa/diâmetro considerada adequada para subdivisão de amostras, segundo David (1977).

A distribuição de pontos de amostragem deve estar intimamente associada e orientada pelo modelo básico proposto para a mineralização. No detalhamento, o responsável pela locação dos pontos de amostragem terá que estabelecer distribuições, finalidades e quantidades de amostra, o que será feito de acordo com a variabilidade da massa mineralizada (estimada a partir de amostras coletadas nas fases anteriores) e da disponibilidade e condição de emprego dos processos físicos necessários para a coleta (perfurações, escavações).

Com as parcelas retiradas de algum sítio mineralizado constituindo a amostra inicial, as etapas de acondicionamento, preparação (piloagem, moagem, homogeneização) e subdivisão ("splitting") de amostras no campo devem ser definidas de acordo com o tipo de mineralização e, conseqüentemente, das características físicas do ouro presente e dos minerais associados.

Tendo-se os resultados das análises químicas dos espécimes obtidos, uma base matemática pode ser cientificamente desenvolvida para aplicação nos problemas que dizem respeito a avaliações minerais, nos diferentes estágios da pesquisa de depósitos de ouro. Amostragem é o processo de reconhecimento, avaliação e interpretação de um todo a partir de uma fração. Estimativas qualitativas e quantitativas são baseadas na amostragem, sendo as análises químicas e físicas das amostras minerais obtidas após uma série contínua de manejos para a redução de suas massas. Apesar dos estudos sobre os erros analíticos serem bem desenvolvidos, o estudo dos erros de amostragem também necessita ser avaliado sob um prisma bastante rigoroso, para se poder determinar os valores reais e a representatividade e confiabilidade dos resultados.

Caracterização das partículas de ouro

Para a engenharia mineral, a caracterização do mineral útil, no caso, essencialmente ouro nativo, é de suma importância, apesar de existirem muitos outros minerais desse elemento (Tabela 1). Basta lembrar que a densidade extrema do ouro só pode ser considerada quando ele está puro e que nos minerais de ouro, o elemento com densidade que mais se aproxima do ouro é o mercúrio, cuja densidade é próxima de 70% daquela do ouro puro. Essa densidade nas partículas de ouro pode variar de 14 a 19,2g/cm³ dependendo de seu índice de pureza e da porcentagem e densidade de substâncias contaminadoras. A densidade aparente também é rebaixada pela inclusão de substâncias paramagnéticas, o que pode ter influência nos métodos de separação gravítica.

MINERAL	FÓRMULA	DUREZA	DENSIDADE
ouro nativo	Au	2,5 - 3	19,31
eléctro	Au, Ag	-----	-----
aurostibita	AuSb ₂	3	9,91
auricupreto	Cu ₂ Au	3,5	11,5
tetraauricupreto	CuAu	3,5 - 4	14,67
amalgama	Au,Hg ₁	-----	-----
maldonita	Au,Bi	1,5 - 2	15,7
rozhdovita	(Cu,Pd) ₂ Au ₂	-----	-----
weishanita	(Au,Ag) ₂ Hg ₂	-----	-----
zvyagintsevit	(Pd,Pt,Au) ₂ (Pb,Sn)	4,5	13,41
TELURETOS E TELURATOS			
calaverita	AuTe ₂	2,5 - 3	9,31
krennerita	(Au,Ag)Te ₂	2 - 3	8,86
petzita	Ag ₂ AuTe ₂	2,5 - 3	8,74
sylvanita	AgAuTe ₂	1,5 - 2	8,17
montbrayita	(Au,Sb) ₂ Te ₂	2,5	9,94
kostovita	CuAuTe ₂	2 - 2,5	7,94 ⁿ
bogdonovita	Au ₂ (Cu,Fe) ₂ (Te,Pb) ₂	4,5	14,2
bezmertnovita	Au ₂ Cu ₂ nTeO ₂	5	16,3
bilibinskita	Au ₂ Cu ₂ PbnTeO ₂	5	-----
SULFETOS E SELENETOS			
liujinyita	Ag ₂ AuS ₂	3 - 7,95	-----
untombogardita	Ag ₂ AuS ₂	2	8,45
nagyagita	Pb ₂ Au(Te,Sb) ₂ S _{4,8}	1 - 1,5	7,55
criddleita	TlAg ₂ Au ₂ Sb ₁₀ S ₁₀	3 - 3,5	6,57
penzhinita	Ag ₂ Au(S,Se) ₄	-----	8,35
petrovskaita	AuAg(S,Se)	2 - 2,5	9,5
fischesserita	Ag ₂ AuS ₂	2	9,05
NOVOS MINERAIS			
-----	Au _{0,75} Hg _{0,25}	2	18,49
-----	AuPb ₂	3,5	13,18
-----	AuPb ₂ BiTe ₂ S ₂	2,5	8,37
ESPÉCIES DUVIDOSAS			
muthmannita	(Au,Ag)Te	-----	-----
ESPÉCIES SEM NOMEAÇÃO			
(Au,Ag)Fe ₂ (Te,Pb) ₂	Au(Fe,Cu)(Te,Pb)	Ag _{12,1} AuAs _{1,1} Se _{1,1} S _{1,4}	Ag _{7,4} Au _{1,6} Hg
AuBi ₂ S ₄	Au ₂ Cu ₂ (Te,Pb)	Ag _{0,4} Au _{0,4} As _{1,4} SeS ₆	Au ₂ Ag ₁₀ Hg
Au ₃ CuAg	Au ₂ Cu(Te,Pb) ₂	Ag _{8,4} Au _{1,1} AsSe _{1,1} S _{6,1}	AuPb ₂ ou AuPb ₁
Au ₂ (Fe,Cu)(Te,Pb) ₂			

Tabela 1. Minerais e compostos de ouro (Harris, 1990)¹⁴.

Já os efeitos da textura das partículas, nos processos de amostragem e tratamento, são difíceis de serem quantificados. Macdonald¹³ cita exemplo extremo de um produto de concentração de jigsawes circulares na faixa de 125 a 40 micrômetros, esponjoso, com muita porosidade, de densidade 9g/cm³ e, surpreendentemente, com índice de pureza 980.

Além das feições químicas das partículas contendo ouro, sua natureza física deve ser também investigada, pois é importante para avaliar a variabilidade de teores, a seleção e eficiência dos métodos de amostragem, os procedimentos de abertura e dosagem de amostras, além de participar de uma correta análise das perspectivas de economicidade das concentrações auríferas. Dimensão e forma das partículas são as principais propriedades físicas que contribuem para a individualização dos minérios de ouro (além da densidade). Conhecer a granulação de liberação dessas partículas também é fundamental para a adequação das etapas de tratamento de minérios e mesmo as de amostragem, principalmente nos casos de subdivisão de amostras.

Segundo Harris¹⁴, parece existir uma relação direta entre teor do minério e tamanho dos grãos, com baixos teores normalmente associados a tamanhos micrométricos. Nesses minérios, a cianetação pode surgir como técnica mais adequada para extração do metal.

Os tamanho da partícula é normalmente referido em termos de diâmetros, expressos em fração de milímetros. De acordo com esse tamanho, três tipos de fluxo fluido podem ter maior influência em seu transporte: em fluxo laminar, respeitando a Lei de Stokes, em fluxo turbulento ou em fluxo intermediário a esses dois. Quanto mais a forma das partículas se diferencia de uma esfera, com menos facilidade ela se deposita; para o ouro a tendência geral é de diminuição de esfericidade com o decréscimo na granulometria, ocorrendo maior frequência do ouro em placas ou escamas. Este fator é de importância no estudo da distribuição do metal em concentrações detríticas e mesmo para as etapas de preparação e subdivisão de amostras.

Análise de partículas individualizadas de ouro, liberadas por processo físico. Descrição de experimento.

Pela importância reconhecida da morfologia das partículas, um estudo sobre forma de grãos de ouro foi efetuado em amostras de minério aurífero de origem e classificação conhecidas, com altos teores comprovados previamente através de análises pelo método "fire assay". Estas amostras foram obtidas durante pesquisa de depósito de ouro no município de Campo Largo, estado do Paraná.

Trata-se de material de depósito constituído por veios de quartzo, encaixados em rochas filitosas, com ouro incluso em sulfetos oxidados e zonas hidrotermalizadas. A ordem de grandeza de teores das amostras estudadas do veio situa-se em torno de 60ppm. A amostra inicial de 514,2g, com coloração branca leitosa mesclada com porções marrons e avermelhadas era constituída de quartzo, produtos de alteração de sulfetos e óxidos de ferro respectivamente.

O objetivo da visualização das partículas discretas de ouro, liberadas tentativamente por método físico aparentemente pouco modificador de suas características iniciais, era obter um conjunto representativo de partículas, controlado e confiável, originado de uma amostra de minério, para fins analíticos e interpretativos. Além disso, procurou-se verificar a eficiência do método na identificação da forma original de partículas de ouro e compará-las com resultados de avaliação prévia na amostra íntegra, por meios óticos. A importância do fator forma já foi frisado anteriormente, como meio de obter informações a respeito da possível gênese dos grãos e do depósito, bem como dados úteis para fins de amostragem e beneficiamento.

Optou-se por aplicação de choque térmico e crepitação ("quenching") na amostra, visando a desagregação do quartzo pelo rompimento de sua estrutura cristalina. Muitos dos sulfetos remanescentes encontravam-se em contato com a sílica. O aquecimento da amostra a uma temperatura alta o suficiente para desestabilizar a rede cristalina do quartzo e não tão alta a ponto de afetar as bordas das partículas de ouro, por processo de fusão incipiente, possibilitaria a captação de partículas de ouro não deformadas ou alteradas, apresentando portanto suas dimensões originais.

O experimento constou de duas etapas de choque térmico subsequentes, onde o choque inicial constou de aquecimento da amostra total a uma temperatura de 900°C, por um período de 15 minutos, seguido de imersão brusca da amostra aquecida em água a temperatura ambiente, para sua crepitação. Subsequentemente a porção muito fraturada foi desagregada manualmente e passada em peneira com 6,35mm de abertura (1/4 de polegada). Um novo ataque térmico foi realizado sobre o material fragmentado por cerca de 50 minutos a 900°C, com novo resfriamento abrupto. A amostra desagregada foi, então, peneirada a 0,85mm (20 mesh), sendo as frações retida e passante estudadas em lupa binocular. O material assim obtido foi ainda submetido a separação magneto-hidrostática (Magstream), para concentrar os grãos de ouro livre.

Comparando-se as observações efetuadas na amostra antes do ensaio com os dados obtidos no material fragmentado, não foram constatadas evidências na modificação na forma e dimensões das partículas de Au já expostos à superfície da amostra original. Além disso, não houve indicação de fusão incipiente por arredondamento das bordas em lamelas de ouro mais finas. Além de numerosos grãos livres de ouro, verificou-se que alguns grãos de quartzo ainda apresentavam ouro agregado, permitindo concluir que outras etapas de ensaio deveriam ser realizadas para a liberação total do ouro presente.

Verificou-se que aproximadamente 20% do ouro ocorre em grãos lamelares muito finos e que muitos grãos apresentam superfície irregular e porosa, com cavidades e entalhes, como indício de possível acreção superficial. Extremidades angulosas são muito raras.

A contagem e o controle estatístico das granulometrias e formas predominantes dos grãos de ouro liberados de um minério servem para estabelecer relações entre o processo de amostragem, o viés porventura introduzido em alguma de suas etapas e o erro de avaliação dos teores obtidos por essa amostragem. Por exemplo, um desvio percentual entre a densidade ou a massa, medidas e consideradas como reais para grãos muito porosos, sendo constante e ponderado como correto nos cálculos de avaliação, pode tirar toda exatidão de uma amostragem, por mais precisa que seja.

A associação entre metodologias de separação mineral a nível de laboratório, e de contagem e classificação automatizada de partículas, por meio de imagens computadorizadas, tem se mostrado muito promissora em diversas áreas de pesquisa mineral, como mostrado por Barth et al¹⁵.

Cabe ressaltar que todos esses estudos se aplicam a diversos materiais, cuja obtenção envolve considerações específicas sobre técnicas de amostragem e sua representatividade, para poderem ser estendidos para todo depósito ou alguma porção particular dele. Além disso, após a análise dos problemas de amostragem em pesquisa de mineralizações auríferas, este tipo de ensaio pode ser considerado relevante para direcionar procedimentos de coleta de amostras representativas, principalmente em etapas de pesquisa detalhada e de desenvolvimento, em novos jazimentos de ouro.

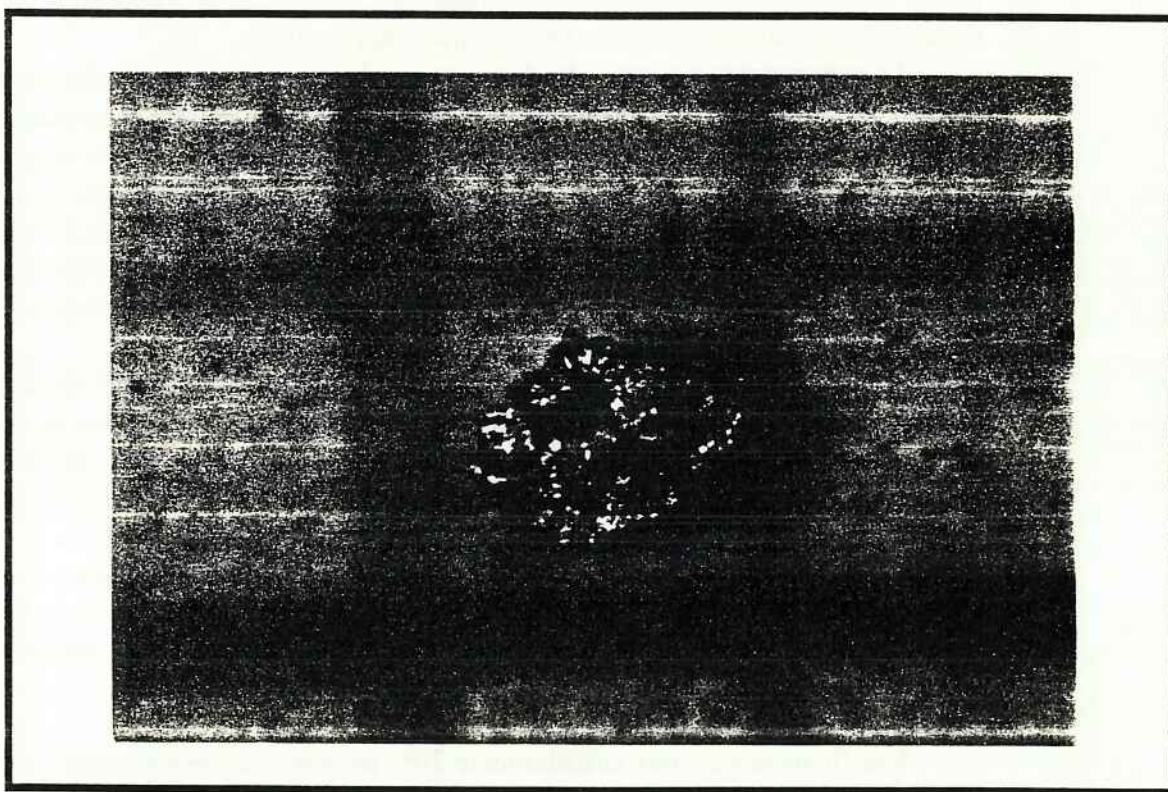


Figura 2. Fotografia de partícula de ouro liberada de amostra de veio de quartzo, por processo físico ("quenching"). Quadrícula com 1mm².

PROSPECÇÃO E PESQUISA MINERAL DO OURO

A filosofia da prospecção e da pesquisa é a busca, a procura, e os objetivos são as delimitações espaciais, o conhecimento das propriedades físicas e químicas dos corpos minerais e a quantificação de teores e outros valores de interesse.

Prospecção e pesquisa subdividem aquilo que em inglês costuma se denominar "mineral exploration" no sentido amplo. A prospecção antecederia a pesquisa, mas não se encerraria com o início desta. A prospecção de ouro procura encontrar e delimitar preliminarmente um depósito, enquanto à pesquisa mineral cabem as suas medições e quantificações em detalhe crescente, além de buscar sua caracterização mineralógica e tecnológica detalhada.

As distinções exigidas para estratégias, procedimentos e manejo de práticas de amostragem de materiais auríferos, nas fases de prospecção e pesquisa mineral, devem-se fundamentalmente a três aspectos: o ouro é extremamente denso, quando comparado com a maioria dos minerais que o acompanham, além de maleável a ponto de amolgar-se em equipamentos de escavação e perfuração, mesmo em pequenas granulometrias; sua distribuição no corpo mineral pode ser extremamente errática e em baixas concentrações; os depósitos que contêm o metal apresentam muitos aspectos duvidosos, seja do ponto de vista da gênese, de sua estruturação física e arranjo químico e, principalmente, de sua variabilidade interna.

A elucidação das características da concentração aurífera pode surgir pela correta escolha das técnicas disponíveis para aquisição de amostras representativas da propriedade que se queira mensurar, pois deve ser lembrado que não são apenas os teores das amostras que se objetiva determinar e sim outras qualidades físicas ou químicas dos espécimes, para correta avaliação do depósito como um todo.

As etapas de prospecção de depósitos auríferos incluem:

a) sensoriamento remoto e fotoanálise, procurando a identificação de alvos para detalhamento (estruturas geológicas, geomorfologia favorável, halos de alteração hidrotermal, etc.);

b) mapeamento geológico e amostragem inicial, já orientados por análises de tipologias e classificações dos depósitos auríferos;

c) análise estrutural, através da qual devem ser reconhecidos principalmente os jazimentos associados a zonas de cisalhamento ("shear zones") com veios mineralizados;

d) prospecção geoquímica, mesmo já sendo uma técnica muito bem sucedida no descobrimento de mineralizações auríferas, apresenta vasto campo de desenvolvimento, surgindo continuamente novos estudos e resultados promissores de investigação, em função do rápido avanço das metodologias analíticas para elementos em baixas concentrações;

e) prospecção geofísica, não identificadora de ouro diretamente, mas de minerais hospedeiros e estruturas propícias a mineralizações, progressivamente de maneira mais sensível, de acordo com o avançado aparato tecnológico hoje disponível.

Quase todas essas etapas já envolvem considerações importantes sobre amostragem, se bem que ainda preliminar, mas são os conhecimentos então auferidos que fornecem os elementos fundamentais para o planejamento de procedimentos na fase de pesquisa, propriamente dita.

A pesquisa mineral, que se utiliza das escavações rasas e da investigação em profundidade, deve ser programada conforme as finalidades das etapas específicas, envolvendo: delimitação do depósito, pesquisa detalhada e pesquisa de desenvolvimento.

Os critérios de coleta de amostras, observando cada tipo distinto de depósito, devem procurar obter amostras que representem ao máximo a natureza original das propriedades investigadas. As amostragens podem ser, fundamentalmente, subdivididas em pontuais, lineares e volumétricas, existindo em alguns tipos de trabalhos de pesquisa a liberdade de opção por um ou mais processos. No caso de sondagens, de caráter eminentemente linear, apenas após a conclusão da amostragem de cada intervalo se poderá estimar qualidade, recuperação e, portanto, representatividade do material obtido.

Cada um dos processos de escavação e tomada de amostras - trincheiras, poços, furos de trado, sondas percussivas, rotativas, rotopercussivas e suas adaptações, galerias e escavações de maior porte - pode ser usado em situações específicas definidas pelo grau de conhecimento a respeito do depósito, das profundidades dos sítios mineralizados, das litologias encaixantes, do nível de heterogeneidade de ocorrência e de distribuição das partículas auríferas, entre outros fatores.

Em mineralizações superficiais e inconsolidadas, trincheiras e poços continuam sendo trabalhos extremamente úteis, cuja seleção e procedimentos de coleta de amostras, propriamente ditas, variam de um local para outro em função das condições geológicas. De particular importância é o nível freático que pode inviabilizar seu uso sistemático, tendo-se então que recorrer a métodos indiretos, como sonda Banka, Empire e outras similares para a coleta de amostras em níveis saturados de água.

Com relação à utilização de sonda Banka, muitos autores consideram a sonda de quatro polegadas de diâmetro válida para investigações preliminares, sendo mais eficaz a utilização de sondas de seis polegadas para fins de avaliação de pláceres auríferos, se bem que muitas vezes fazendo-se necessária a utilização de fatores locais de correção. A utilização de sondagens percussivas, imposta pela natureza pouco coesa dos sedimentos, deve levar em consideração aspectos como elutrição e o fácil amolgamento das partículas auríferas.

Já com respeito a mineralizações primárias em rochas, não há consenso geral sobre os diferentes tipos de sondagem. Considerações gerais amplas, sobre as diversas técnicas de sondagens, são feitas por Peters⁹, que agrupa e analisa as sondagens sob diferentes aspectos de interesse técnico e mesmo econômico, se bem que no caso do ouro, em particular, publicações e estudos específicos sejam mais elucidativos.

Estudos comparativos efetuados por Wright et al¹⁶ em minas de ouro americanas, para definição do método mais representativo para obtenção de amostras em

profundidade, se através de sondas com circulação reversa ou por meio de sondagens rotativas diamantadas, indicaram vantagens em aspectos específicos das duas metodologias:

a) sob o ponto de vista de rendimento e velocidade de perfuração, a sondagem com amostragem de fragmentos é superior, até profundidades de poucas dezenas de metros;

b) a recuperação de testemunhos coloca a sondagem rotativa diamantada como mais representativa, normalmente em níveis em torno de 95% de integridade em cada avanço;

c) na facilidade de transporte, instalação e manuseio, os dois equipamentos praticamente se equivalem, diferindo, no entanto, na logística exigida para coleta e condicionamento das amostras recuperadas, além da característica menor variância dos resultados amostrais das sondagens rotativas diamantadas. Os resultados levaram os autores a sugerir etapas conjugadas de diferentes tipos de sondagem, com a perfuração inicial sendo feita por circulação reversa, até as imediações da mineralização, com posterior sondagem rotativa diamantada com testemunhos.

Comparações entre todos os métodos de obtenção de amostras, sejam pontuais, lineares ou volumétricos, devem ser feitas continuamente, com o pesquisador envolvido tendo que considerar suas vantagens e desvantagens em função dos objetivos e etapas específicas da pesquisa.

FÓRMULAS DE AMOSTRAGEM E ESTIMATIVAS DE ERROS

Estimativas qualitativas e quantitativas são baseadas na amostragem, sendo as análises químicas e físicas das amostras minerais obtidas após uma série contínua de manejos para a redução de suas massas. Apesar dos estudos sobre os erros analíticos serem bem desenvolvidos, o estudo dos erros de amostragem também necessita ser avaliado sob um prisma bastante rigoroso, para se poder avaliar a representatividade e confiabilidade dos resultados.

Existem duas componentes na amostragem, uma de natureza teórica e outra estritamente prática, que são pesquisadas por geólogos, engenheiros e matemáticos de vários países, procurando estabelecer fatores de correção que aproximem valores reais e teóricos.

A mais corrente expressão matemática discutida por muitos autores^{2,7,9}, desenvolvida por Pierre Gy para análise da amostragem de materiais particulados é:

$$S^2 = Cd^3 / M$$

onde S^2 é a variância relativa de estimação, ou o erro em que se incorre quando se usa uma amostra de massa M para estimar uma amostra cujos maiores fragmentos têm d centímetros de diâmetro. O erro é maior à medida que diminui a quantidade de fragmentos valiosos em relação à ganga e também à medida que diminui a liberação das partículas de ouro. Essa fórmula também indica que o erro é proporcional ao volume dos maiores fragmentos e inversamente proporcional ao peso da amostra.

A constante **C** compreende quatro fatores:

C = cflg onde,

c = fator de composição mineralógica;

f = fator de forma;

l = fator de liberação;

g = fator de variação de tamanho.

Verifica-se que muitos dos fatores envolvidos apenas podem ser estimados de maneira preliminar nas etapas iniciais da pesquisa, mas que sua determinação mais exata ocorre nas fases da pesquisa detalhada e de desenvolvimento, sendo ainda de grande utilidade na etapa eventual e subsequente de lavra, para fins de otimização e controle de operações.

U

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. HAZEN, S. W. **Some statistical techniques for analyzing mine and mineral-deposit sample and assay data**. Washington, U. S. Department of the Interior, Bureau of Mines, 1967. (Bulletin 621).
2. PITARD, F. F. **Pierre Gy's sampling theory and sampling practice: heterogeneity and sampling**. Boca Raton, CRC Press, 1989.
3. GY, P. **Théorie et pratique de l'échantillonnage de matières morcelées**. Cannes, P. G., 1975.
4. YAMAMOTO, J. K. **Geoestatística aplicada**. São Paulo, IG/USP, 1992./
Apresentado na disciplina Geoestatística Aplicada. Xerocopiado/
5. BURN, R. G. Data reliability in ore reserve assessments. **Mining Magazine**, v.145, n.4, p.289-99, Oct. 1981.
6. MAGRI, E. J. et al. A geostatistical study of diamond-saw sampling versus chip sampling. **Journal of South African Institute of Mining and Metallurgy**, v.86, n.8, p.335-47, 1986.
7. ANNELS, A. E. **Mineral deposits evaluation: a practical approach**. London, Chapman & Hall, 1991.

8. LYMAN, G. J. Technical note. Determination of bias in sampling systems. **Minerals Engineering**, v.6, n.1, p.99-105, 1993.
9. PETERS, W. C. **Exploration and mining geology**. 2.ed. New York, John Wiley, 1987.
10. JULLIEN, R.; MEAKIN, P. A mechanism of particle size segregation in three dimensions. **Nature**, v.344, p.425-7, 1990.
11. BACON, W. G.; HAWTHORN, G. W. ; POLING, G. W. Gold analyses: myths, frauds and truths. **Canadian Institute of Mining Bulletin**, v.82, n.931, p.29-39, 1989.
12. DAVID, M. **Geostatistical ore reserve estimation**. Amsterdam, Elsevier Scientific Publishing Company, 1977. (Developments in Geomathematics 2).
13. MACDONALD, E. H. Fine gold recovery - a modern approach. **AusIMM Bulletin**, n.2, p.38-41, Apr. 1992.
14. HARRIS, D. C. The mineralogy of gold and its relevance to gold recoveries. **Mineralium Deposita**, v.25, p.53-7, 1990. Supplement.
15. BARTH, H. G.; SUN, S. -T. ; NICKOL, R. M. Particle size analysis. **Analytical Chemistry**, v.59, p.142R-62R, 1987.
16. WRIGHT, A.; FEYERABEND, W.C.; KASTELIC, R.L. Integrity of samples acquired by deep reverse-circulation drilling below the water table at the Chimney Creek project, Nevada. **Mining Engineering**, v.44, n.4, p.343-51, 1992.

BOLETINS TÉCNICOS - TEXTOS PUBLICADOS

- BT/PMI/001 - Características Geométricas da Escavação Mecânica em Mineração: Exemplo de Escavadora de Caçamba de Arraste - ANTONIO STELLIN JUNIOR
- BT/PMI/002 - Prospecção Geoquímica Experimental na Ocorrência de Ouro Tapera Grande - PAULO BELJAVSKIS, HELMUT BORN
- BT/PMI/003 - Estudo de Processo de Dupla Flotação visando o Beneficiamento do Minério Carbonático de Fosfato de Jacupiranga - JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/004 - Desenvolvimento de um Equipamento Não-Convencional em Beneficiamento Mineral: A Célula Serrana de Flotação Pneumática - RICARDO NEVES DE OLIVEIRA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/005 - Aluste de Modelos Empíricos de Operação de Ciclones - HOMERO DELBONI JUNIOR, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/006 - Contribuição ao Estudo dos Explosivos Permissíveis - AMILTON DOS SANTOS ALMEIDA, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/007 - Contribuição ao Dimensionamento de Pilares em Minas Subterrâneas de Manganês - LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA, ANTONIO STELLIN JUNIOR
- BT/PMI/008 - Exploração Mineral: Conceitos e Papel do Estado - LUIZ AUGUSTO MILANI MARTINS, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/009 - Otimização do Projeto de Pátios de Homogeneização através do Método da Simulação Condicional - FLAVIO MOREIRA FERREIRA, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/010 - Considerações Gerais sobre Desmonte de Rocha: Análise de Custo - Índice de Produtividade e Otimização da Malha de Perfuração - MARCO ANTONIO REZENDE SILVA, FERNANDO AMOS SIRIANI
- BT/PMI/011 - Aglomeração de Rejeitos de Fabricação de Brita para sua Reciclagem - ARTHUR PINTO CHAVES, BRADDLEY PAUL
- BT/PMI/012 - Método de Dimensionamento de Peneiras para a Classificação Granulométrica de Rochas ou Minérios - FERNANDO AMOS SIRIANI
- BT/PMI/013 - Processo de Beneficiamento para Obtenção de uma Carga Mineral Nobre a partir do Fosfogesso - WALTER VALERY JUNIOR, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/014 - Estudo da Carboxi-Metil-Celulose como Aglomerante para Pelotização - JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/015 - A Influência do Amido de Milho na Eficiência de Separação Apatita/Minerais de Ganga Via Processo Serrana - LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/016 - Beneficiamento de Criolita Natural - Estado da Arte - HENRIQUE KAHN, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/017 - Estudo da Variação do Índice Energético Específico - W_i , segundo a Granulometria do Ensaio, Obtida através de um Moinho de Bolas Padrão, em Circuito Fechado - MARIO SHIRO YAMAMOTO, FERNANDO AMOS SIRIANI
- BT/PMI/018 - Fluorita - FERNANDO FUJIMURA, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/019 - O Aproveitamento de Recursos Minerais: Uma Proposta de Abordagem a Nível Nacional - CELSO PINTO FERRAZ, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/020 - Comparação de duas Metodologias - A de Bieniawski e a de Panek, para Dimensionamento de Tirantes em Galerias Subterrâneas de Seção Retangular em Camadas Estratificadas - NESTOR KENJI YOSHIKAWA, LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA
- BT/PMI/021 - Caracterização de Maços Rochosos através de Envolvimentos de Resistência por Tratamento Estatístico utilizando Dados de Laboratório do IPT Simulando Condições Geotécnicas do Maço - NESTOR KENJI YOSHIKAWA, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/022 - Avaliação de Impactos Ambientais na Mineração de Combustíveis Fósseis Sólidos - GILDA CARNEIRO FERREIRA, ANTONIO STELLIN JUNIOR

BT/PMI/023 - O Lado Nocivo do Elemento Quartzo no Desgaste Abrasivo de Mandíbula de Britadores - FERNANDO FUJIMURA

BT/PMI/024 - Conceitos Básicos de Iluminação de Minas Subterrâneas - SÉRGIO MEDICI DE ESTON, WILDOR THEODORO HENNIES

BT/PMI/025 - Sistema Computadorizado para Ajuste de Balanço de Massas e Metalúrgico - ANTONIO CARLOS NUNES, ARTHUR PINTO CHAVES

BT/PMI/026 - Caracterização Mineralógica/Tecnológica das Apatitas de alguns Depósitos Brasileiros de Fosfato - SARA LAIS RAHAL LENHARO, HELMUT BORN

BT/PMI/027 - Classificação de Maciços quanto à Escarificabilidade - GUILHERME DE REZENDE TAMMERIK, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO, LINDOLFO SOARES

**DEDALUS**

Banco de Dados Bibliográficos da USP

Identificação
Buscas

Resultados

Preferências
Buscas AnterioresCatálogos
Meus Docs.Fale Conosco
HistóricoEncerrar Sessão
Vocabulário

Ajuda

Adicionar Reg. Meus Docs.

Localizar

Salvar / E-mail

Registro Completo

Escolher formato:

Padrão |Ficha |Formato Reduzido |Nomes MARC |Campos MARC |

Registro 1 de 2

[← Registro Ant.](#)[Próx. Registro →](#)

No. Registro

000872357

Tipo de material

PARTE DE MONOGRAFIA/LIVRO - NACIONAL

→ *Boletim Técnico*

Entrada Principal

● Salvador, Fabio Augusto da Silva (*)

Título

● Análise comparativa de métodos de amostragem de depósitos auríferos.

Imprensa

São Paulo : EPUSP, 1994.

Descrição

21 p.

Série

(Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Minas, BT/PMI/028)

Idioma

Português

Assunto

● PESQUISA MINERAL● AMOSTRAGEM DE DEPÓSITOS MINERAIS

Autor Secundário

● Born, Helmut 1940-2001

Unidade USP

EP -- ESCOLA POLITÉCNICA

Escolher formato:

Padrão |Ficha |Formato Reduzido |Nomes MARC |Campos MARC[← Registro Ant.](#)[Próx. Registro →](#)[Encerrar Sessão](#) - [Preferências](#) - [Fale Conosco](#) - [Ajuda](#) - [Ex Libris](#)
[Buscas](#) - [Resultados](#) - [Buscas Anteriores](#) - [Catálogos](#)

Software Aleph 500 - Versão 23 - Ex Libris © 2025 - USP

