

THAMMIRIS MOHAMAD EL HAJJ

**REPRESENTATIVIDADE DA AMOSTRAGEM MANUAL PARA O
PLANEJAMENTO DE CURTO PRAZO**

São Paulo
2011

THAMMIRIS MOHAMAD EL HAJJ

**REPRESENTATIVIDADE DA AMOSTRAGEM MANUAL PARA O
PLANEJAMENTO DE CURTO PRAZO**

Trabalho de Formatura em Engenharia de Minas
do curso de graduação do Departamento de
Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo.

Orientadora: Prof^a Dr^a Ana Carolina Chieregati

São Paulo
2011

TF-20M
EL1r
2270442

M 2011c

DEDALUS - Acervo - EPMI



31700009047

FICHA CATALOGRÁFICA

Hajj, Thammiris Mohamad El

Representatividade da amostragem manual para o planejamento de curto prazo / T.M. El Hajj. -- São Paulo, 2011.

45 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo.

1. Mineração a céu aberto 2. Ouro 3. Amostragem I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo II. t.

Aos meus pais e minhas irmãs.

AGRADECIMENTOS

À equipe de geologia da Mineração Maracá, pelo apoio nas atividades práticas desenvolvidas e, em especial, ao Engenheiro Luiz Eduardo Campos Pignatari, gerente corporativo de operações da Yamana Gold Inc., pela oportunidade de desenvolver este trabalho.

Agradeço também a todos os professores que participaram do meu aprendizado durante todos esses anos, em especial, à minha professora e orientadora, Dra. Ana Carolina Chierigati, por todo carinho e pelos ensinamentos.

Além disso, não posso deixar de agradecer a toda equipe do LACASEMIN – Laboratório de Controle Ambiental, Higiene e Segurança na Mineração, principalmente, à Dra. Renata Stellin pela paciência e compreensão nos momentos difíceis e por todo o carinho.

Aos meus amigos e minhas irmãs pelo companheirismo e o apoio, sem vocês, não teria conseguido.

O agradecimento mais importante ficou para o final, aos meus pais, Mohamad e Nouhad, por todo amor e educação que me sempre me proporcionaram, sempre guiando meus passos.

“Todo o trabalho é vazio a não ser que haja amor.”

Khalil Gibran

RESUMO

Quando uma amostra é extraída de uma massa maior de minério, ou lote, ocorrem os erros de amostragem. Um ato correto de amostragem requer que todas as partículas pertencentes a um determinado lote tenham a mesma chance de extração. Este tipo de amostragem denomina-se amostragem não-enviesada. As perdas indiretas da indústria mineira mundial por conta de estimativas e decisões baseadas em amostras incorretas são economicamente relevantes. 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 tipo de depósito e etapa do empreendimento. 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 quantificar os erros da amostragem manual na mina de cobre e outro de Maracá, visando analisar a confiabilidade das amostras geradas para o planejamento de curto prazo e recomendar práticas para aumentar a representatividade das amostras.

Palavras-chave: Amostragem manual. Representatividade. Planejamento de curto prazo.

ABSTRACT

The sampling errors occur when a sample is extracted from a larger mass or lot of ore. A correct sampling procedure requires that all fragments from a lot have the same probability of extraction. This kind of sampling is named unbiased sampling. The indirect losses of the mining industry due to estimates and decisions based on incorrect samples are economically relevant. To obtain correct samples and data which generate unbiased estimates, there is a powerful tool, the Theory of Sampling of Pierre Gy, which presents the correct sampling methods for each individual deposit and operation stage. These methods indicate the procedures for carrying out a correct and representative sampling, i.e., for obtaining precise and accurate samples and minimizing sampling errors. This work aims to quantify the errors from manual sampling at the gold and copper mine of Maracá, analyzing the reliability of the samples used for short-term planning and recommending practices to increase sample representativeness.

Keywords: Manual sampling. Representativeness. Short-term planning.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	8
2 OBJETIVO	8
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
3.1 Conceito de Amostragem	8
3.2 Conceito de Heterogeneidade.....	9
3.3 Acurácia, Precisão e Representatividade da Amostra	9
3.4 Erros de Amostragem	11
3.6 Amostragem de Metais Preciosos.....	14
3.6.1 Amostragem de Ouro.....	14
3.6.2 Efeito Pepita	15
4 MINERAÇÃO MARACÁ	15
4.1 Empresa	16
4.2 História	17
4.3 Geologia.....	17
4.3.1 Modelo Geológico	17
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	19
5.1 Malhas de amostragem	19
5.2 Perfuratrizes utilizadas	22
5.3 Procedimentos de coleta de amostras	23
5.4 Preparação das amostras e análise laboratorial.....	25
6 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	26
6.1 GNS	26
6.2 BTO	29
6.3 QSRT/GNS.....	31
6.4 ANX.....	33
6.5 Análises granuloquímicas.....	35
7 CONCLUSÕES	36
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
APÊNDICES	40

1 INTRODUÇÃO

Os problemas teóricos e, principalmente, práticos da amostragem de materiais contendo metais preciosos foram objetos de estudo. Estes metais, geralmente estimados em partes por milhão, contêm um valor agregado muito grande, assim, a acurácia e a precisão na amostragem são de fundamental importância.

A garantia de acurácia e precisão exigida para um bom aproveitamento desta classe de bens minerais é obtida através de um bom controle nas seguintes etapas: coleta ou seleção da amostra, preparação da amostra e análise da amostra (Grigorieff, 2002).

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.

Na coleta manual de amostras por meio de pá, além da variabilidade existente entre as partículas, os erros de amostragem são influenciados pela disposição das partículas no interior da pilha. Em consequência, a precisão da amostragem manual não pode ser estimada, tornando-a pouco confiável.

2 OBJETIVO

O principal objetivo deste trabalho é quantificar os erros gerados pela coleta manual das amostras de curto prazo, através da análise e comparação dos dados gerados por dois diferentes métodos de amostragem por coleta manual e duas perfuratrizes. O objetivo secundário é recomendar práticas de amostragem representativa, de modo a minimizar os erros de estimativa de teores e aumentar a confiabilidade do modelo de curto prazo.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Conceito de Amostragem

O processo de amostragem pode ser definido como um conjunto de operações que visam recolher, de um universo, uma parcela significativa que o represente da melhor maneira possível não inserindo mudanças significativas em suas propriedades (Chaves, 2011). Segundo Gy (1998), "o único objetivo da amostragem é reduzir a massa de um lote **L** sem inserir mudanças significativas em suas outras propriedades".

As amostras geralmente são constituídas por uma série de frações, ou incrementos, coletados do universo, ou lote **L**.

A Teoria da Amostragem, desenvolvida por Pierre Gy, é construída com base no conceito de que, se um número suficiente de unidades representativas de uma população é selecionado sem enviesamento, o valor médio das unidades irá se aproximar daquele da população total (Yamamoto, 1992).

Um plano de amostragem adequado é aquele que concilia os custos de amostragem com a precisão requerida para os resultados, visto serem elementos diretamente proporcionais (Ferreira, 1989). Outro ponto importante diz respeito ao estudo dos erros de amostragem, que deve ser bastante rigoroso para poder avaliar a representatividade das amostras e a confiabilidade dos resultados.

3.2 Conceito de Heterogeneidade

Homogeneidade é um conceito relativo, ou um conceito matemático abstrato que não existe na vida real (Pitard, 1993). Quando observamos os fragmentos de um determinado lote L separadamente, percebemos que há uma grande heterogeneidade entre eles: diferentes tamanhos, cores, composições, formas, densidades, durezas etc. Portanto, no caso da amostragem, temos que aceitar a hipótese de que estamos lidando somente com materiais heterogêneos. A diferença entre homogeneidade e heterogeneidade é quantitativa: homogeneidade é a condição inatingível de heterogeneidade zero, ou seja, é um caso limite da heterogeneidade.

Na tentativa de medir a heterogeneidade de um lote de material, devemos diferenciar duas categorias: a heterogeneidade constitucional (caso a unidade seja formada por um único elemento constituinte) e a heterogeneidade distribucional (caso a unidade seja formada por um grupo de elementos constituintes vizinhos).

A heterogeneidade constitucional refere-se às propriedades fundamentais dos fragmentos de um lote, observados um a um, por exemplo a forma, o tamanho, a densidade etc. Portanto, a heterogeneidade constitucional é uma propriedade intrínseca do lote e não pode variar. Misturas ou homogeneizações não têm influência na heterogeneidade constitucional.

Considerando um lote como uma série de grupos, cada um deles constituído por um certo número de fragmentos vizinhos, dizemos que um lote possui uma distribuição homogênea quando todos os grupos ou sub-séries de fragmentos têm a mesma composição média. Caso isto não ocorra, então o lote possui uma distribuição heterogênea. Para cada constituinte do lote, a respectiva heterogeneidade distribucional depende de três fatores: (1) a heterogeneidade constitucional, (2) a distribuição espacial dos constituintes e (3) a forma do lote.

3.3 Acurácia, Precisão e Representatividade da Amostra

Uma amostra raramente possui características idênticas ao lote de onde ela foi coletada. Este fato é devido aos vários erros do processo de amostragem e decorrem da existência de heterogeneidade dos materiais geológicos. A Teoria da Amostragem tem por objetivo controlar e minimizar esses erros, através da análise e do estudo das propriedades do lote a ser amostrado e do processo de coleta de amostras propriamente dito, indicando os procedimentos adequados para se obter uma amostra representativa daquele lote.

Uma amostra é correta quando obedece a dois critérios essenciais:

- Todos os elementos do lote possuem a mesma probabilidade de seleção ou extração;

- Os incrementos e a amostra não são, de alguma forma, alterados.

Um processo de amostragem correto deve fornecer uma amostra tanto acurada (não enviesada) quanto precisa (reproduzível). Nestas condições, se uma amostra é correta e suficientemente reproduzível, isto automaticamente a qualifica como representativa. O conceito de representatividade pode ser expresso, então, pela união de precisão e acurácia, porém estes conceitos não devem ser confundidos.

Precisão refere-se a medir a variabilidade das amostras ao redor da média do lote do qual elas foram retiradas. Esta medida é geralmente expressa como a variância do erro de amostragem. A amostragem é dita precisa quando o erro de amostragem é pouco disperso ao redor de sua média, independentemente da média do lote da qual ela foi retirada.

A acurácia é independente da precisão. Acurácia indica o quão próximo a média das amostras está da média real do lote. A amostragem é dita acurada quando o erro de amostragem possui sua média próxima de zero e esta média representa o enviesamento da amostragem.

Os conceitos de precisão e acurácia são ilustrados na figura a seguir:

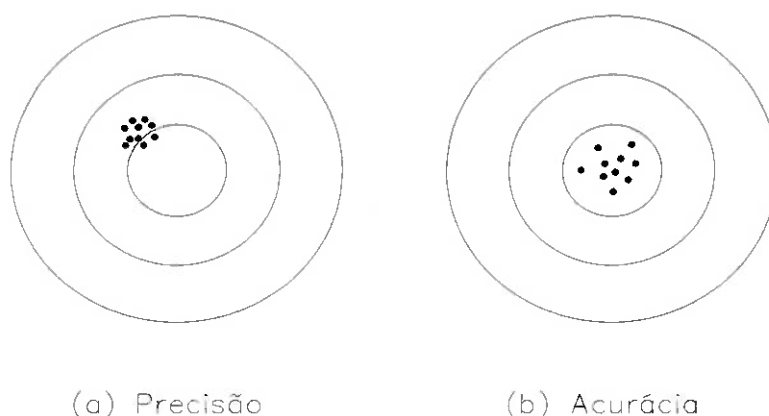


Figura 3.1 – Conceitos de precisão e acurácia (Chierigati, 2007).

Provavelmente não existe outro material para o qual a precisão e a acurácia da amostragem sejam tão críticas quanto para os metais preciosos. E é por isto que eles merecem uma atenção especial no que diz respeito à correção ou acurácia da amostragem.

Uma boa estratégia de amostragem deve considerar a seguinte cronologia:

- Estudo da heterogeneidade do material de um dado lote;
- Otimização dos protocolos de amostragem de modo a minimizar os erros que não podem ser eliminados, tais como o erro fundamental (descrito no próximo item);
- Controle da correção ou acurácia da amostragem de modo a eliminar os erros que podem ser eliminados, tais como o erro de delimitação, o erro de extração e o erro de preparação.

3.4 Erros de Amostragem

A diferença entre o teor da amostra, obtida a partir de um lote de material **L**, e o teor verdadeiro (e desconhecido) deste lote de material é definido como erro de amostragem. Toda amostra possui erros associados. Cada erro individual contribui para um erro total de amostragem que pode ser minimizado, porém nunca eliminado por completo. Segundo Gy (1998), “a heterogeneidade é vista como a única fonte de todos os erros de amostragem”.

Os erros de amostragem podem ser divididos em duas categorias. Uma delas diz respeito aos erros associados à heterogeneidade do material amostrado e compreendem o erro fundamental (FE), o erro de integração (IE) e o erro de segregação e agrupamento (GE).

Na outra categoria, estão os erros sistemáticos, que fazem com que o valor médio de uma série de resultados seja persistentemente maior ou menor do que os resultados obtidos através de um método de referência. Nestes erros incluem-se o erro de delimitação da amostra (DE), o erro de extração da amostra (EE) e o erro de preparação da amostra (PE).

O erro analítico (AE) associado às análises químicas, não faz parte do erro total de amostragem, contudo, ele faz parte do erro global de estimativa, pois tanto a amostragem quanto as etapas de análise são processos geradores de erro.

O erro fundamental (FE) é gerado em cada etapa de amostragem e é devido à existência de heterogeneidade entre as partículas do material amostrado. O erro fundamental é o menor erro existente para uma amostra coletada em condições ideais e geralmente apresenta uma média insignificante, sendo caracterizado por sua variância.

O erro de integração (IE) é consequência da necessidade do transporte de material, onde a variabilidade entre as partículas e entre grupos de partículas transportadas pelos fluxos de material gera um erro de grande escala de observação chamado erro de integração ou erro de seleção contínua.

O erro de segregação e agrupamento (GE) deve-se ao fato de que, não sendo possível coletar fragmento por fragmento do lote para formar a amostra, coletamos um incremento composto por vários fragmentos vizinhos e, desta forma, introduzimos um erro chamado erro de segregação e agrupamento.

O erro de preparação (PE) é resultado das operações posteriores à coleta da amostra e que antecedem a análise química. Todas essas operações são potencialmente geradoras de erros e podem adulterar o teor do lote que está sendo amostrado. Geralmente esses erros resultam de negligência, falta de informação, de cuidado, fraudes e erros não intencionais.

O erro de materialização (ME) é a soma do erro de delimitação da amostra (DE) e do erro de extração da amostra (EE), os quais influenciam a média (acurácia) e a variância do erro de amostragem (precisão). O uso de amostradores incorretos no processo de amostragem na maior parte das vezes é o responsável por estes tipos de erro e, portanto, a única estratégia eficiente para a solução deste problema é a eliminação prévia destes erros através do dimensionamento, fabricação, manutenção e utilização de amostradores que garantam a correta delimitação e extração de amostras.

Definidos os erros de um processo de amostragem, podemos agora falar no erro de amostragem (SE) que é gerado. Este erro inclui o processo de seleção de material e o processo de materialização, ou seja, a soma dos erros fundamental, de integração, de segregação e agrupamento e de materialização, gerados por um único estágio de amostragem.

Num processo de amostragem, as operações de preparação incluem transferência, cominuição, peneiramento, mistura, secagem, filtragem, pesagem etc. e geralmente acontecem entre os estágios da amostragem. A soma do erro de preparação com o erro de amostragem nos dá o erro total de amostragem (TE).

Para completar o estudo dos erros no processo de amostragem, podemos expressar o erro global de estimativa (OE) como a soma do erro total de amostragem e o erro analítico. A Figura 3.2 ilustra todos os componentes do erro global de estimativa.

Os erros sistemáticos e de análise química podem ser eliminados utilizando-se equipamentos e protocolos adequados de amostragem. O erro fundamental é o único erro que não pode ser eliminado, pois está relacionado unicamente à heterogeneidade constitucional do material.

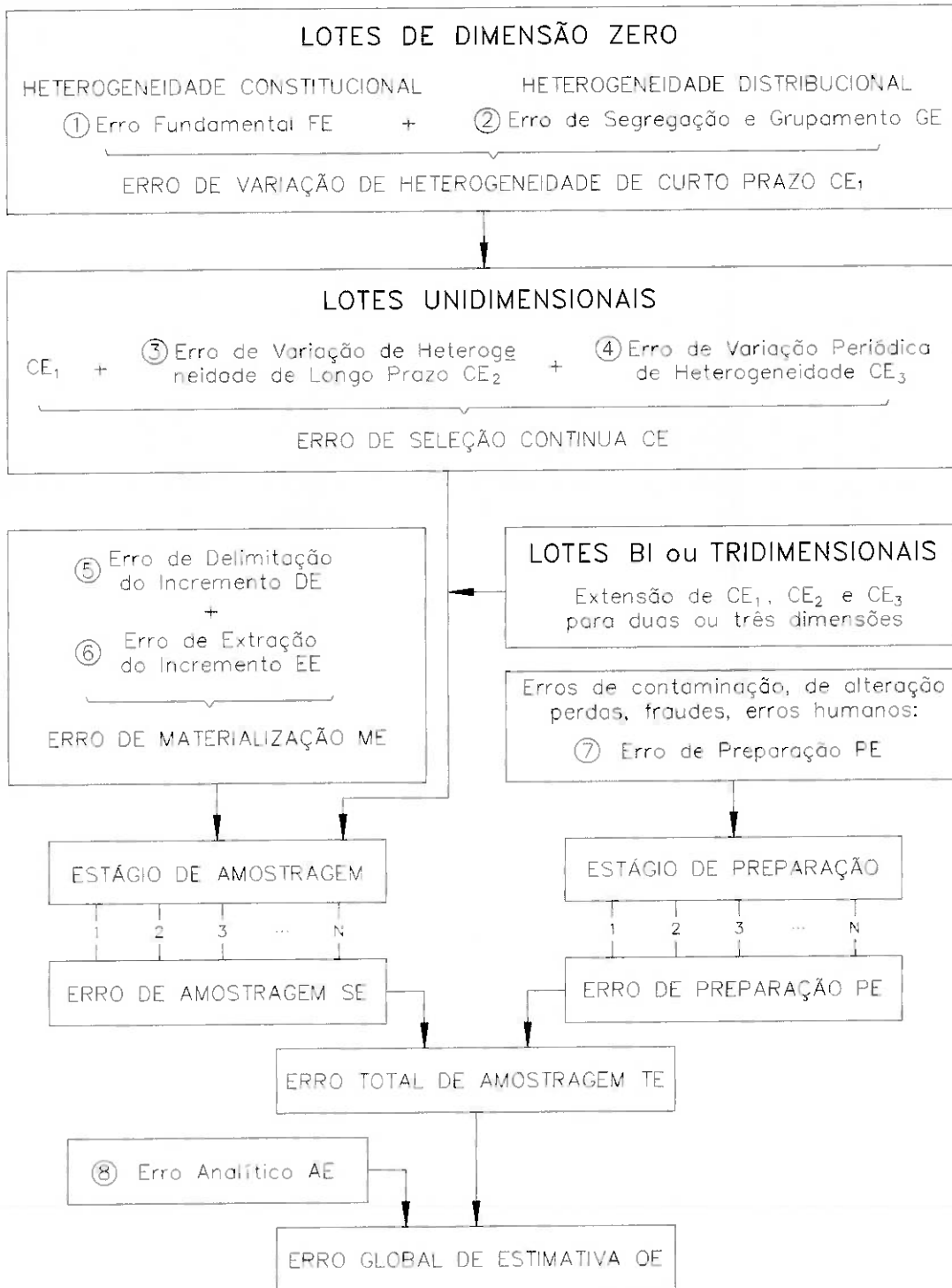


Figura 3.2 - Representação de todos os componentes do erro global de estimativa (Pitard, 1993 apud Chierigati, 2007).

3.6 Amostragem de Metais Preciosos

Uma das principais diferenças entre os metais preciosos e os outros metais é o fato de que os metais preciosos são econômicos a teores muito baixos, ou seja, quantidades relativamente pequenas de material podem envolver grandes quantidades de dinheiro, logo os problemas de precisão e acurácia são ainda mais relevantes e se tornam a preocupação principal dos empreendimentos que exploram estes metais.

3.6.1 Amostragem de Ouro

Os metais preciosos, e especialmente o ouro, que é o objeto de estudo deste trabalho, ocorrem na natureza de diferentes maneiras e apresentam dificuldades de amostragem que devem ser resolvidas de um modo particular para cada caso. Assim, os diferentes depósitos de ouro podem ser classificados em três categorias:

- Depósitos aluvionares, ou de outro material no qual o ouro está completamente liberado;
- Depósitos primários, onde o ouro ocorre em pequenos veios, ou de outro material no qual o ouro não está liberado. Nesta categoria encontramos a maioria dos depósitos não-aluvionares de ouro, tais como os depósitos em veios associados a rochas ígneas, os depósitos de sulfetos maciços (caso estudado), entre outros;
- Associações de ouro com outros minerais.

Das diversas dificuldades que a amostragem do ouro possui, citamos as principais:

- O conteúdo de ouro de uma sub-amostra analítica pode ser completamente diferente do conteúdo de ouro da amostra inicial;
- A densidade do ouro é elevadíssima ($19,3 \text{ g/cm}^3$), promovendo uma forte segregação assim que as partículas de ouro são liberadas;
- As partículas de ouro não cominuem bem, podendo criar um fino filme metálico que cobre a superfície dos amostradores.

Todos esses problemas são ampliados quanto menor o teor de ouro, quanto mais marginal o depósito, e quanto mais irregular a distribuição do ouro na rocha.

3.6.2 Efeito Pepita

O efeito pepita descreve quão bem os resultados de uma amostragem são reproduzidos repetindo-se a amostragem no mesmo ponto, e assim, quanto maior a reprodutibilidade amostral, menor o efeito pepita. Este efeito inclui tanto a variabilidade natural inerente ao material (heterogeneidade constitucional) quanto a variabilidade devida ao tamanho, preparação e análise das amostras.

Em ambientes onde existe um efeito pepita elevado, como é o caso dos depósitos de metais preciosos e das mineralizações heterogêneas, a dificuldade de se definirem os limites entre minério e estéril é ainda maior, devido à baixa reprodutibilidade das amostras (Elliott et al., 2001 e Snowden et al., 1994). Portanto, devido ao fato de estes tipos de mineralização serem muito sensíveis aos métodos de amostragem, é de extrema importância o reconhecimento do efeito pepita, de modo a evitar que valores incorretos de efeito pepita sejam considerados nos modelos de reservas e de controle de teor.

4 MINERAÇÃO MARACÁ

A Mineração Maracá Indústria e Comércio S.A. (MMIC) foi constituída em 11 de março de 1994 e tem como atividade comercial a extração e beneficiamento de minério de cobre e ouro. Sua sede e operação estão localizadas na Fazenda Genipapo, no município de Alto Horizonte, estado de Goiás. A localização é mostrada na Figura 4.1.

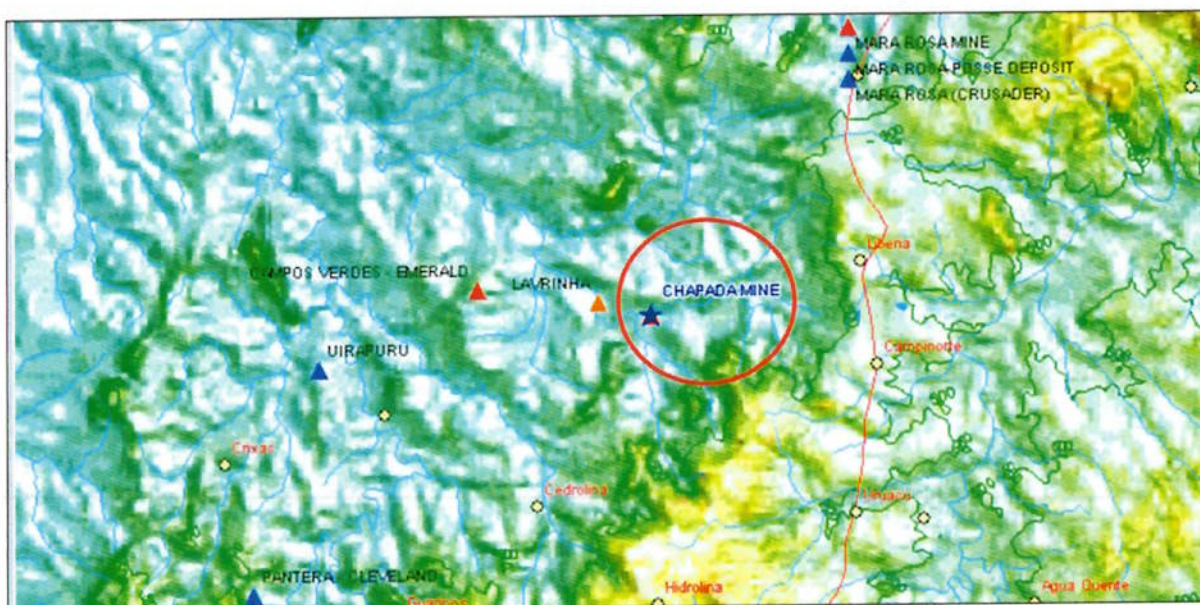


Figura 4.1 – Localização da Mineração Maracá.

Fonte: Yamana Gold Inc., Mineração Maracá Indústria e Comércio S.A., 2010 Strategic Life of Mine.

4.1 Empresa

Em 2003, a MMIC foi adquirida pela Yamana Gold Inc., empresa júnior canadense que possui diversos projetos de mineração na América do Sul, principalmente no Brasil. Atualmente a Yamana possui 100% do capital acionário da MMIC.

As operações na mina de Chapada tiveram início em 2005, e a produção em escala comercial em 2007, com a produção de concentrado de cobre e ouro, visando principalmente à comercialização no mercado externo. Os principais países consumidores são: Índia, Espanha, Alemanha e, em menor proporção, o Brasil.

A lavra da mina é a céu aberto. A capacidade de produção está em torno de 22 Mt/ano, calculada com base em uma reserva de 368 Mt, com teores médios de 0,280% de cobre e 0,190 g/t de ouro. O período de operação previsto é de 17 anos.



Figura 4.2 – Vista superior do empreendimento.

4.2 História

O depósito de Chapada foi descoberto em 1973 durante uma campanha de exploração da INCO. Essa empresa descobriu o depósito através de estudos geoquímicos, geofísicos, trincheiras e sondagens exploratórias. No programa de sondagem a empresa utilizou uma malha de 2.000 m × 500 m na área e, então, a Parsons-Eluma Projectos de Consultoria S/C adquiriu 50 % das ações do projeto.

Em 1979, o DNPM publicou a Portaria de Lavra nº 2.394/79, para uma área de 3.000 ha, em nome da Mineração Alonte S.A., incorporada pela MMIC. Dois anos depois, a Parsons-Eluma completou o estudo de viabilidade econômica.

Em 1994/95, a partir da campanha de sondagem rotativa de 4.500 m, foi avaliado o depósito em subsuperfície, após o que a Mineração Santa Elina Indústria e Comércio S.A. adquiriu o Projeto Chapada através de sua subsidiária, a MMIC. No final de 1995 foi aprovada a *joint venture* entre a MMIC e a Echo Bay. Após alguns estudos de viabilidade, realizados pela Independent Mining Consultants, SNCLavalin Group e Hatch, o projeto foi adquirido, em 2003, pela Yamana Gold Inc.

4.3 Geologia

O depósito de Chapada está inserido na Província Tocantins, que teve desenvolvimento entre dois blocos continentais, os crátons Amazônico (oeste) e São Francisco (leste). A porção leste desta província é ocupada pela Faixa Brasília, sendo esta correspondente a espessos pacotes metassedimentares e, em alguns locais, ocorrendo como exposições de rochas juvenis de idade neoproterozóica (Arco Magmático de Goiás).

O Arco Magmático de Goiás se estende por mais de 1.000 km a oeste e norte de Goiás até o Tocantins, onde é sobreposto pela cobertura fanerozóica da Bacia do Parnaíba.

4.3.1 Modelo Geológico

Na Mina de Chapada não há uma correlação direta do minério com uma litologia específica, mas a um grupo de rochas. As interpretações feitas nas seções verticais (100 m de espaçamento entre elas), a partir dos furos de sondagem, resultaram em uma série de polígonos representando corpos litológicos subparalelos arqueados, compondo um anticlinal, cujos flancos mergulham para NW e SE (Figura 4.3).

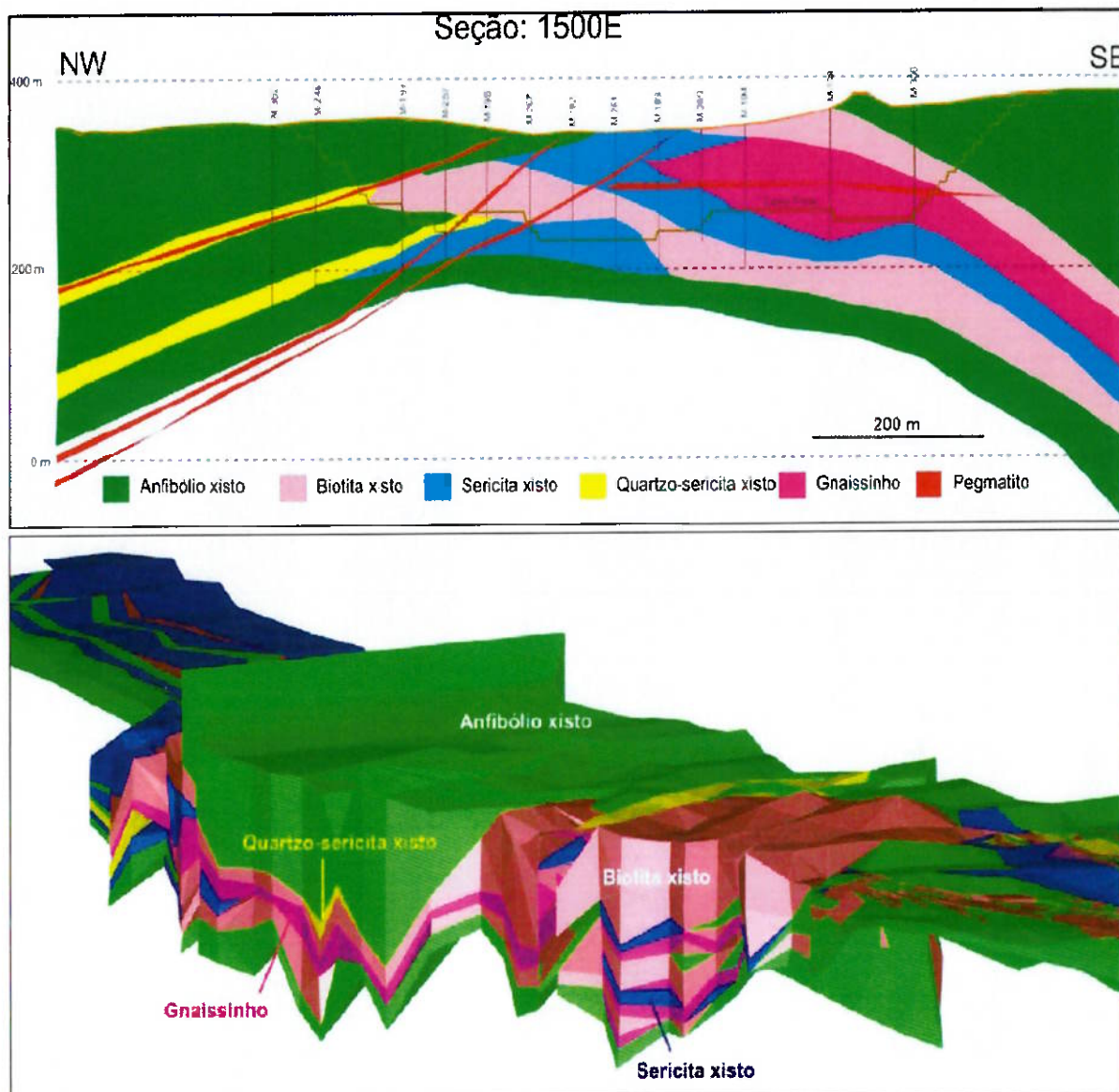


Figura 4.3 – Modelo Geológico e seu corte da mina da Mineração Maracá.

Em cada seção vertical construíram-se linhas ligando as interseções dos intervalos (ao longo dos furos) de minério oxidado e minério misto; o mesmo se fez para as interseções entre os intervalos de minério misto e minério sulfetado. Assim, acima da primeira linha encontra-se a zona de minério oxidado, entre as linhas está a zona de minério misto e abaixo da segunda linha está a zona de minério sulfetado.

Após a interpretação das seções verticais foram criados os sólidos correspondentes às diversas litologias identificadas na área da mina, os quais correspondem às seguintes rochas: anfibólio xisto, biotita xisto, sericita xisto, quartzo-sericita xisto, gnaissinho e pegmatito.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Malhas de amostragem

As campanhas de amostragem analisadas incluíram quatro domínios geológicos:

1. GNS (Gnaissinho): rocha cinza, friável, de granulação média, xistosa, composta essencialmente por biotita e feldspato caulinizado. Malha de amostragem mostrada na Figura 5.1.

2. BTO (Biotita Xisto): rocha cinza escuro, média a grossa, com xistosidade pronunciada, composta por biotita, feldspato caulinizado e quartzo. Malha de amostragem mostrada na Figura 5.2.

3. QSRT/GNS (Quartzo Sericita Xisto/Gnaissinho): rocha de cor branca acinzentada, média a grossa, xistosa, com quartzo, sericita, biotita e feldspato caulinizado. Malha de amostragem mostrada na Figura 5.3.

4. ANX (Anfibólio Xisto): rocha de granulação média, com xistosidade pouco desenvolvida, composta por cristais de anfibólio (60%) de cor verde, orientados em matriz formada por quartzo e feldspato. Malha de amostragem mostrada na Figura 5.4.

A malha de amostragem principal foi de 10×10 m e o afastamento entre furos da cruz central foi de 5 m, para todos os domínios geológicos. Idealmente todos os furos da malha de amostragem seriam realizados com 5 m de profundidade, e o furo central com 10 m de profundidade. Além disso, foi sugerida a realização de um furo de sonda o mais próximo possível do furo central, com testemunhagem a cada 2,5 m, visando à comparação entre as duas perfuratrizes estudadas e ao cálculo da variação do erro de amostragem com a profundidade do furo.

As perfuratrizes estudadas foram a Furukawa, especialmente usada para amostragem de curto-prazo na Mineração Maracá, e a ROC L8 Visto que nos domínios GNS, BTO e QSRT não foi possível realizar a sondagem diamantada, utilizou-se a ROC L8 com amostragem a cada 2 m para a mesma finalidade. A amostra referente ao furo central perfurado pela Furukawa também foi coletada a cada 2 m de profundidade para esses três domínios. Apenas para o domínio ANX realizou-se o furo de sonda sugerido.

Durante a campanha de amostragem no domínio geológico GNS, devido à ameaça de chuva, todos os furos foram amostrados com a perfuratriz da marca Furukawa, Figura 5.5, inclusive a cruz central e um furo central, o qual gerou duas amostras representando 5 m cada. A campanha de amostragem no domínio geológico BTO seguiu o esquema recomendado.

A campanha de amostragem no domínio geológico QRST/GNS, no que diz respeito à profundidade do furo central perfurado pela Furukawa, devido à presença de água, este furo foi realizado com apenas 4 m de profundidade e gerou duas amostras representando 2 m cada. Houve também a perda de duas amostras deste domínio (números 8 e 26) durante o manuseio em campo.

Por fim, durante a campanha de amostragem no domínio geológico ANX, foram realizados três furos centrais próximos – utilizando a Furukawa, a ROC L8 (Figura 5.6) e uma sonda rotativa –, gerando amostras a cada 2,5 m.

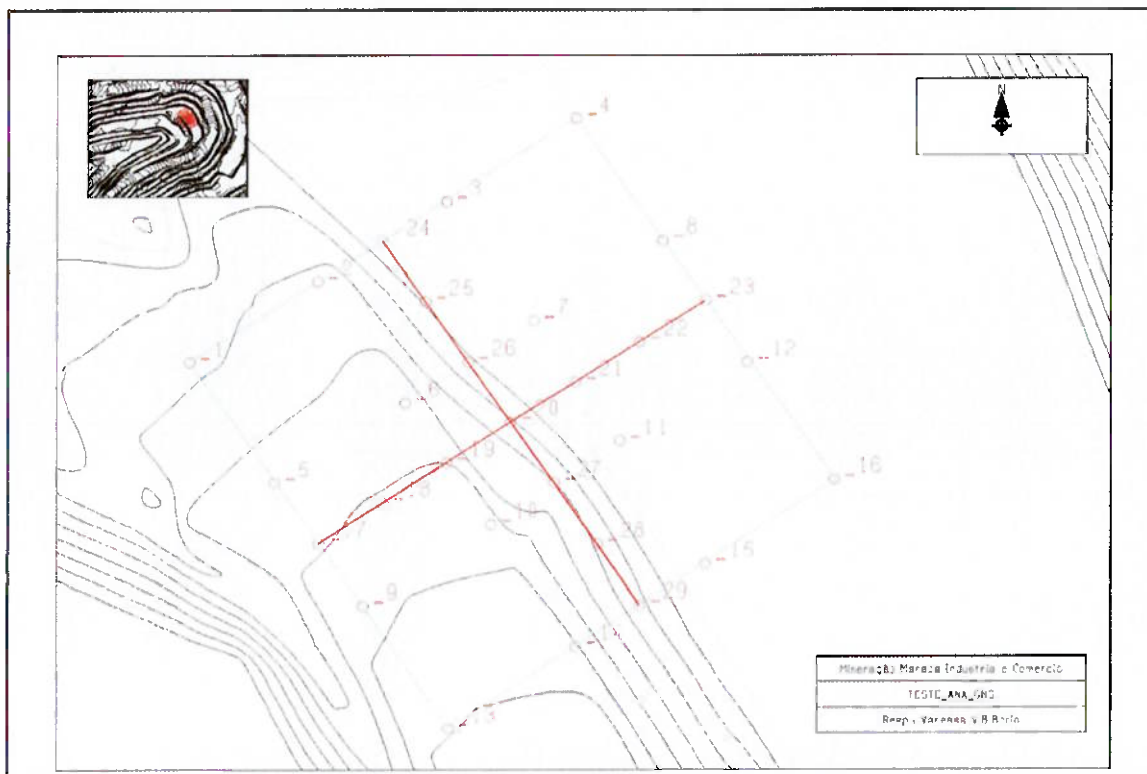


Figura 5.1 - Malha de amostragem para o domínio GNS.

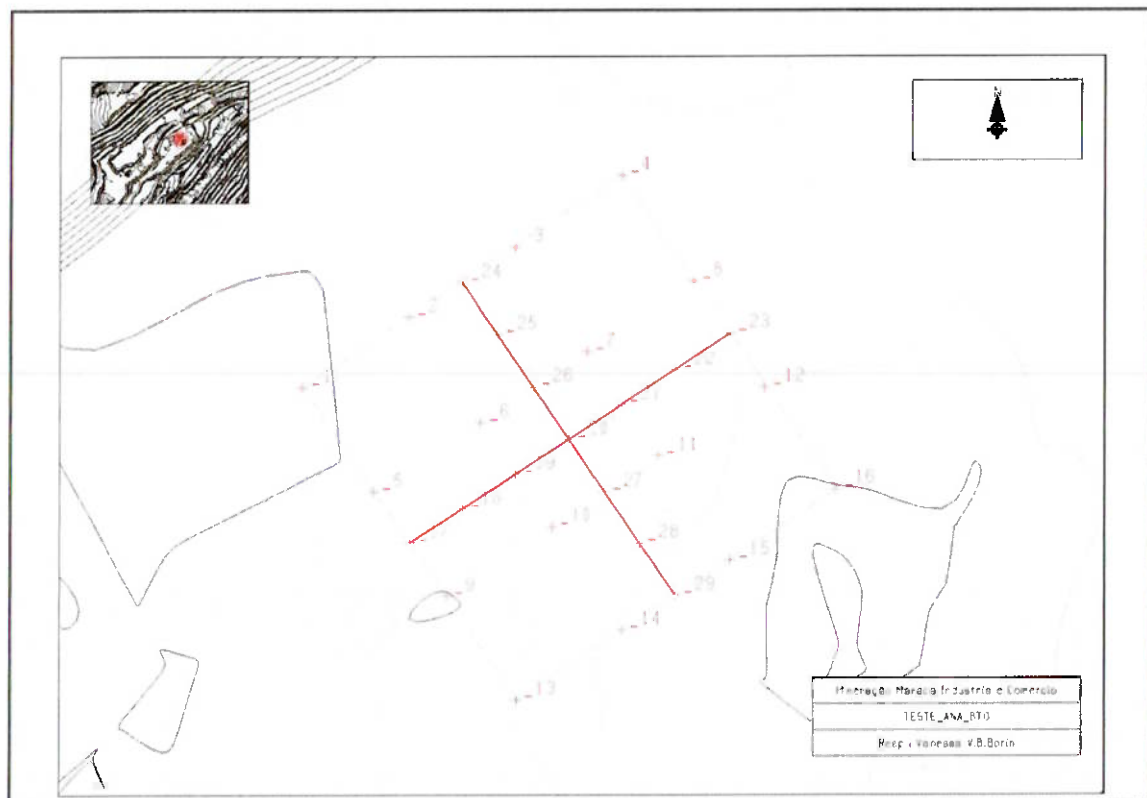


Figura 5.2 - Malha de amostragem para o domínio BTO.

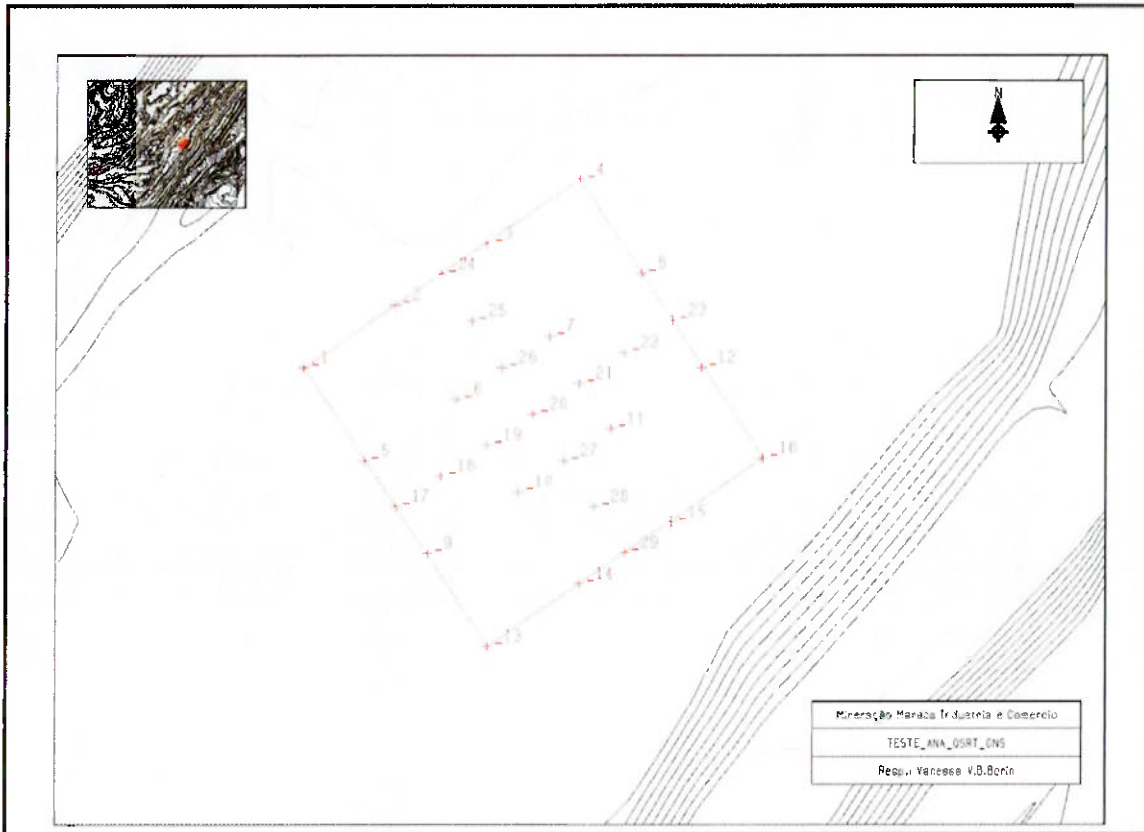


Figura 5.3 - Malha de amostragem para o domínio QSRT.

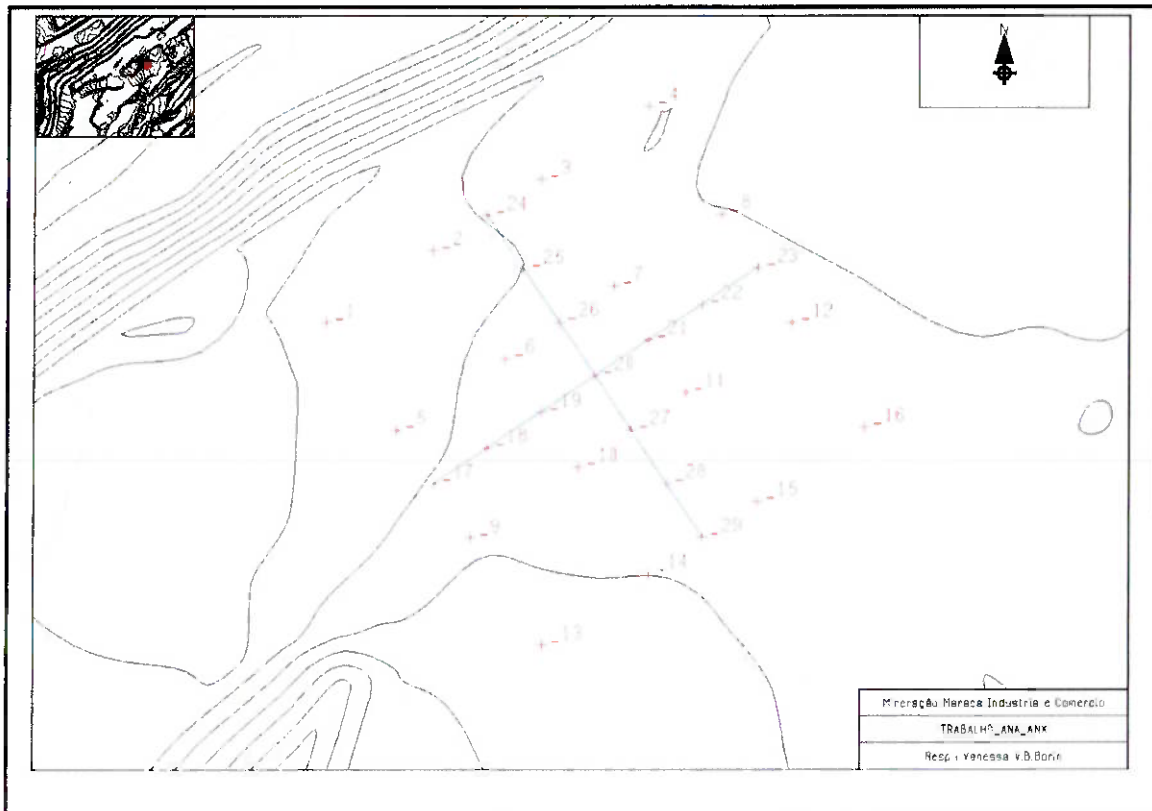


Figura 5.4 - Malha de amostragem para o domínio ANX.

5.2 Perfuratrizes utilizadas

A perfuratriz da marca Atlas Copco, modelo ROC L8 (Figura 5.6), foi utilizada para perfurar a cruz central das malhas dos domínios geológicos apresentados no item 5.1, exceto para o GNS (devido à ameaça de chuva no dia da campanha), os demais furos foram realizados com a perfuratriz da marca Furukawa, modelo HCR 1500.

A campanha de amostragem foi realizada com duas diferentes perfuratrizes para avaliar a adequabilidade do método de amostragem manual para cada perfuratriz, com diâmetros de perfuração diferentes. Tendo a ROC L8 um diâmetro maior e, conseqüentemente, gerando uma massa maior de amostra, espera-se que esta perfuratriz seja mais adequada à geração de amostras representativas.



Figura 5.5 – Perfuratriz Furukawa modelo HCR1500.



Figura 5.6 – Perfuratriz Atlas Copco ROC L8.

5.3 Procedimentos de coleta de amostras

A amostragem de curto prazo realizada em Maracá é manual e utiliza o material fragmentado proveniente de perfuratriz Furukawa modelo HCR1500, que gera dois produtos, um de material fino e outro de médios e grossos.

Da pilha frontal (Figura 5.7), de médios e grossos, são retirados 12 incrementos radialmente ao cone formado, e da pilha de finos é retirado um único incremento, o que gera uma amostra composta por 13 incrementos. A Figura 5.9 mostra a pá utilizada para a amostragem das pilhas.

Exceto nos casos de maciços excessivamente fraturados ou perfuração em níveis inferiores ao do lençol freático, este tipo de amostragem minimiza a perda de material, pois o material é coletado por um ciclone localizado na parte dianteira da perfuratriz. Entretanto, é improvável que o material fino descarregado na parte traseira da perfuratriz seja proveniente do mesmo furo, pois parte do material do furo anterior fica retida no filtro da perfuratriz. Quando a lavra se restringe ao centro do depósito ou a materiais pouco heterogêneos, o problema não inviabiliza este tipo de amostragem. Porém, quando a lavra avança para as margens do depósito ou para áreas onde os limites entre diferentes tipos de minério ou entre minério e estéril são evidentes, este método de amostragem torna-se inadequado.

Dependendo da heterogeneidade do depósito e de suas características mineralógicas, a amostragem de pilhas geradas por perfuratrizes pode causar sérios viesamentos. A inconformidade da amostragem manual com a teoria da amostragem reside no fato de a mesma não ser probabilística, pois pressupõe que as partículas dispostas nas porções inalcançáveis pelo amostrador (pá) apresentam as mesmas características de qualidade das partículas dispostas nas porções mais acessíveis. Assim, nesse tipo de amostragem, além da variabilidade existente entre as partículas, os erros de amostragem são influenciados pela disposição das partículas no interior da pilha. Em consequência, a precisão da amostragem manual não pode ser estimada, tornando-a pouco confiável.

Deve-se atentar, também, para a composição da amostra final. As massas de material fino e grosso na amostra composta devem ser proporcionais às massas de suas respectivas pilhas, caso contrário, a amostra estará viesada. No caso em estudo, uma menor quantidade de material fino era coletada.

Cada furo gerou duas amostras (A e B), conforme a Figura 5.8. A primeira amostra (Amostra A) foi coletada usando o procedimento padrão de amostragem manual com pá (apresentado anteriormente). Após coletada a Amostra A (de aproximadamente 10 kg), todo o restante do material (aproximadamente 190 kg) – grossos e finos – foi recolhido, para gerar posteriormente uma Amostra B.



Figura 5.7 – Pilha frontal de médios e grossos.

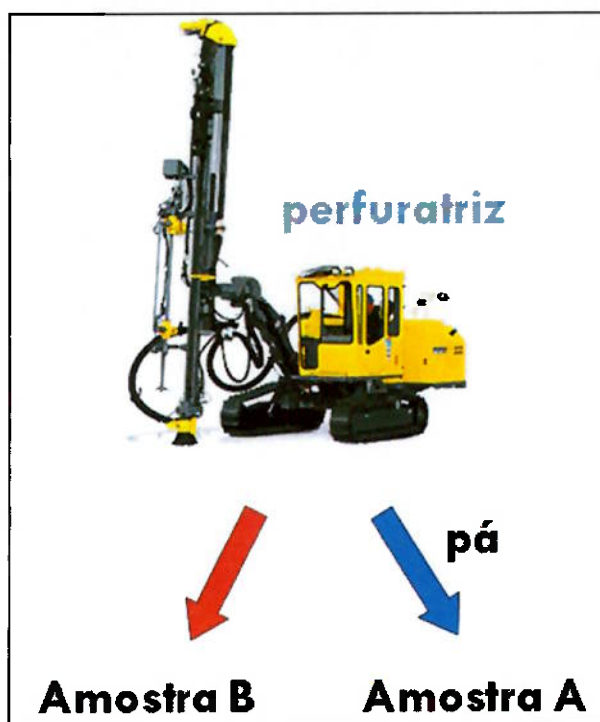


Figura 5.8 – Esquema de coleta de amostras.



Figura 5.9 – Pá utilizada para amostragem das pilhas.

5.4 Preparação das amostras e análise laboratorial

Aproximadamente 190 kg de material de grossos e finos, de cada furo, que restaram após a coleta da Amostra A foram recolhidos, homogeneizados e quarteados (Figura 5.11), de modo a gerar uma nova Amostra B de 20 a 25 kg.

Ambas as amostras A e B passaram pelo mesmo processo no laboratório físico, com posterior análise química para ouro, cobre, enxofre e ferro. A Figura 5.10 ilustra o fluxograma do processo.

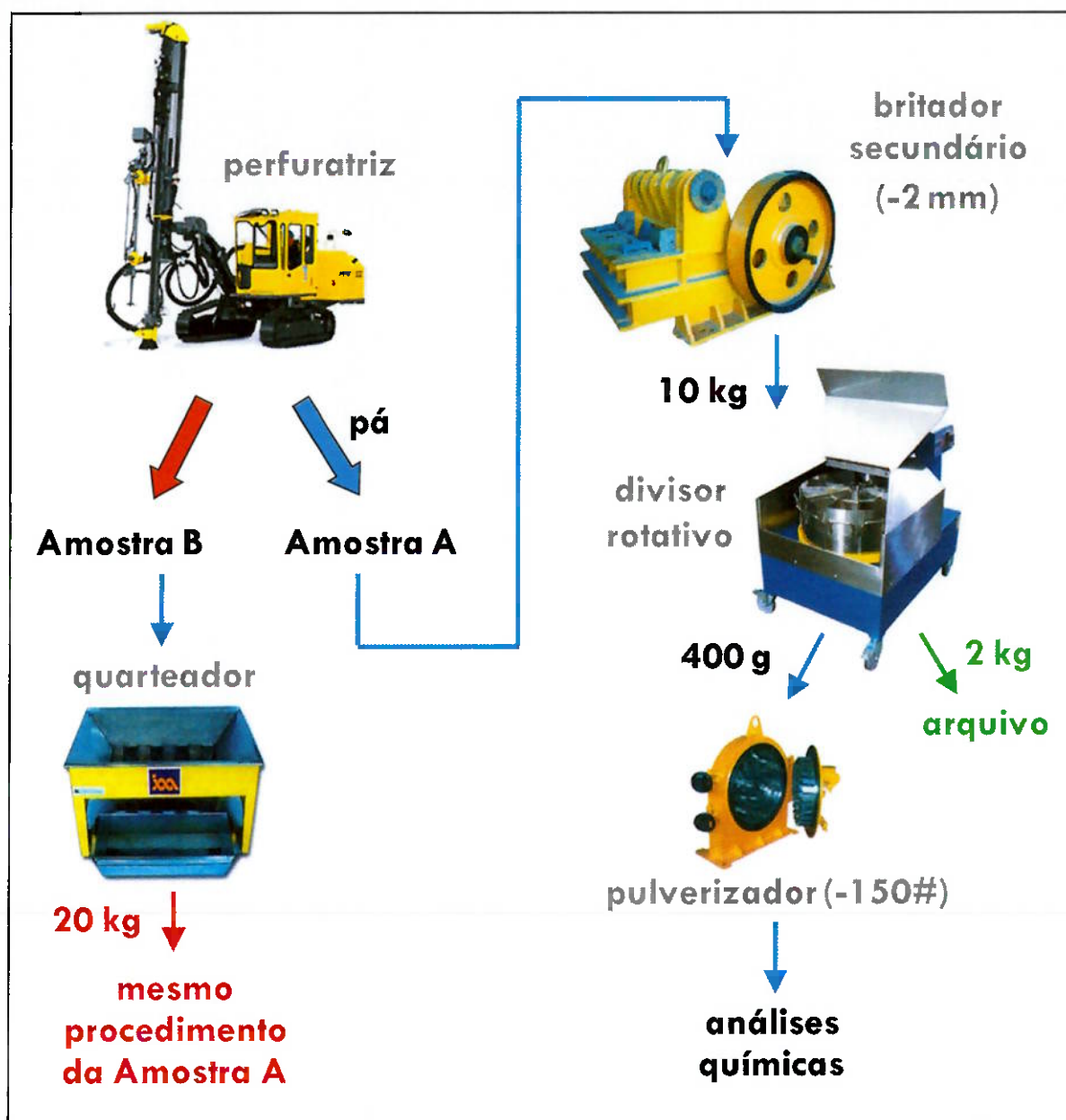


Figura 5.10 – Fluxograma de processamento das amostras no laboratório físico.



Figura 5.11 – Amostras antes de passar pelo quarteamento no Quarteador Jones.

6 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Como citado anteriormente, na coleta manual de amostras por meio de pá, além da variabilidade existente entre as partículas, os erros de amostragem são influenciados pela disposição das partículas no interior da pilha. Em consequência, a precisão da amostragem manual não pode ser estimada, tornando-a pouco confiável. Além disto, é importante atentar para a composição mássica da amostra final, cujos incrementos de material fino e grosso devem ser proporcionais à massa total de finos e grossos.

A amostra de curto prazo de Maracá é composta por 12 incrementos da pilha de grossos (massa total de aproximadamente 145 kg) e 1 incremento da pilha de finos (massa total de aproximadamente 45 kg). Visto que os finos representam cerca de 25% da massa total de amostra, o correto seria retirar 4 incrementos da pilha de finos para os 12 incrementos de médios e grossos.

A seguir são apresentados os resultados deste estudo para cada domínio geológico.

6.1 GNS

O Apêndice A mostra os resultados para ouro e cobre das Amostras A (coleta manual por pá) e B (coleta total da amostra remanescente) para os 30 furos realizados pela Furukawa no bloco GNS. As amostras 20-1 e 20-2 representam as duas amostras de 5 m referentes ao furo central.

A Figura 6.1 mostra a correlação entre as Amostras A e B para ouro e cobre. Nota-se na Figura 6.1 uma baixa correlação para o ouro ($R^2=0,49$), o que é de se esperar no caso de metais preciosos, onde o efeito pepita é elevado. As Figuras 6.2 e 6.3 mostram os gráficos de diferenças relativas entre Amostra A e Amostra B, organizados por ordem crescente de teor de ouro e de cobre respectivamente. O gráfico de diferenças relativas é construído com base na antepenúltima (*pair index*) e última coluna (*relative error*) das tabelas dos Apêndices e mostra possíveis enviesamentos da amostragem, ou seja, erros sistemáticos, no

caso de médias muito elevadas, lembrando que a acurácia da amostragem é representada pela média do erro de amostragem (linha verde do gráfico).

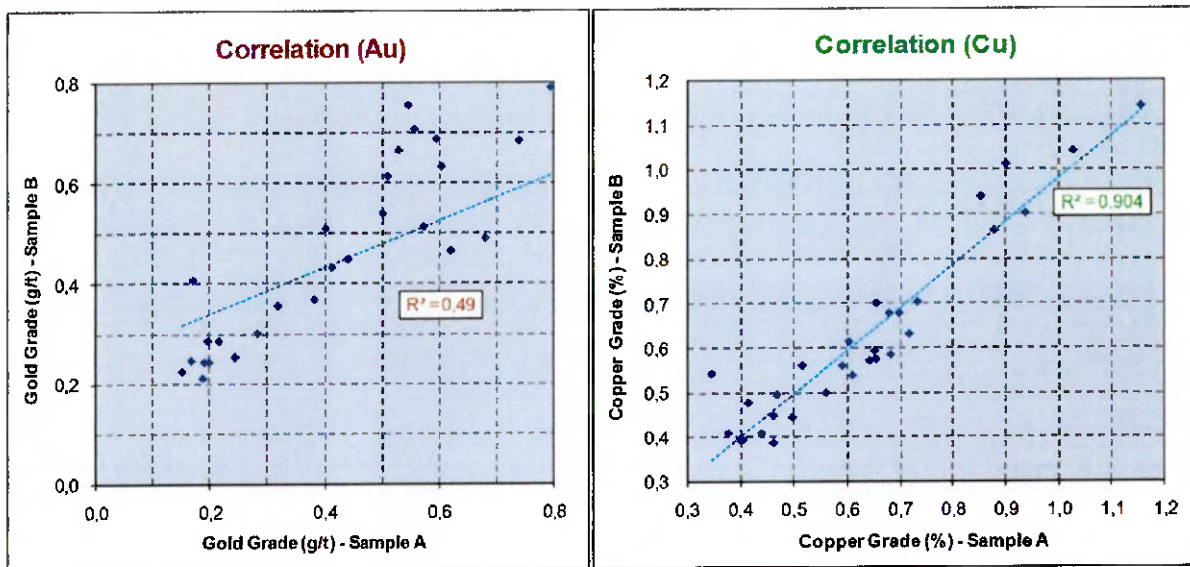


Figura 6.1 – Gráficos de correlação dos teores de ouro e cobre entre as Amostras A e B – GNS.

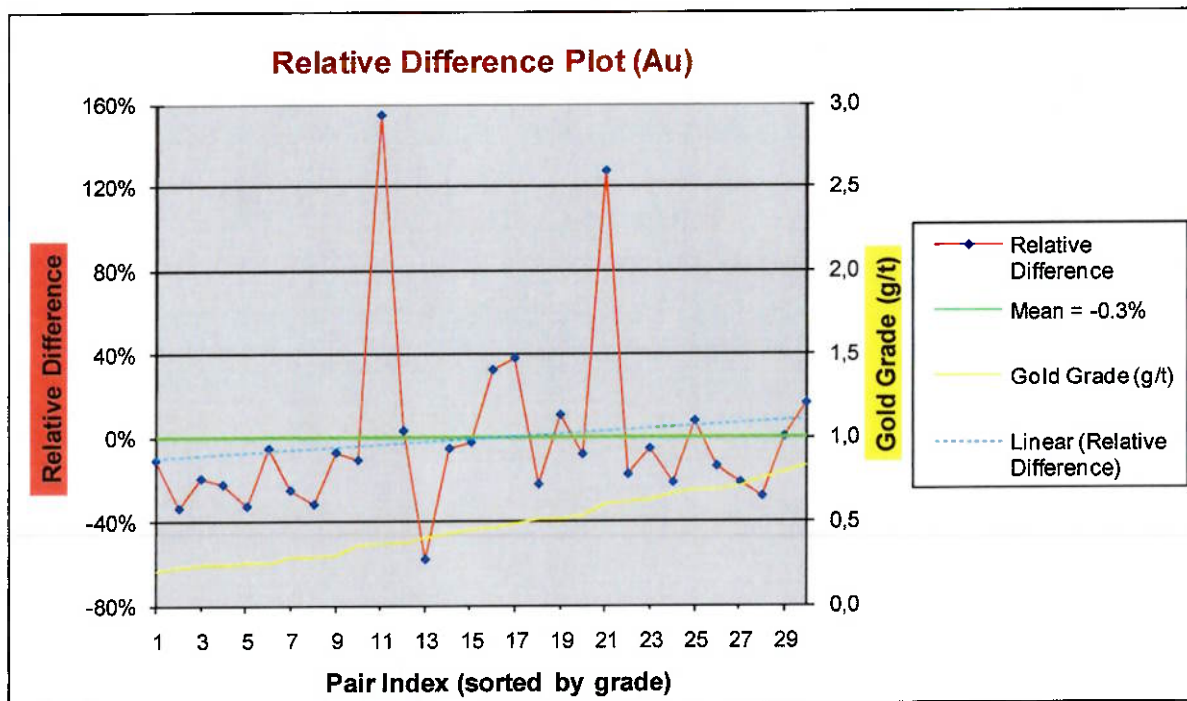


Figura 6.2 - Gráfico de diferenças relativas entre Amostra A e Amostra B, ordenadas por teor de ouro – GNS.

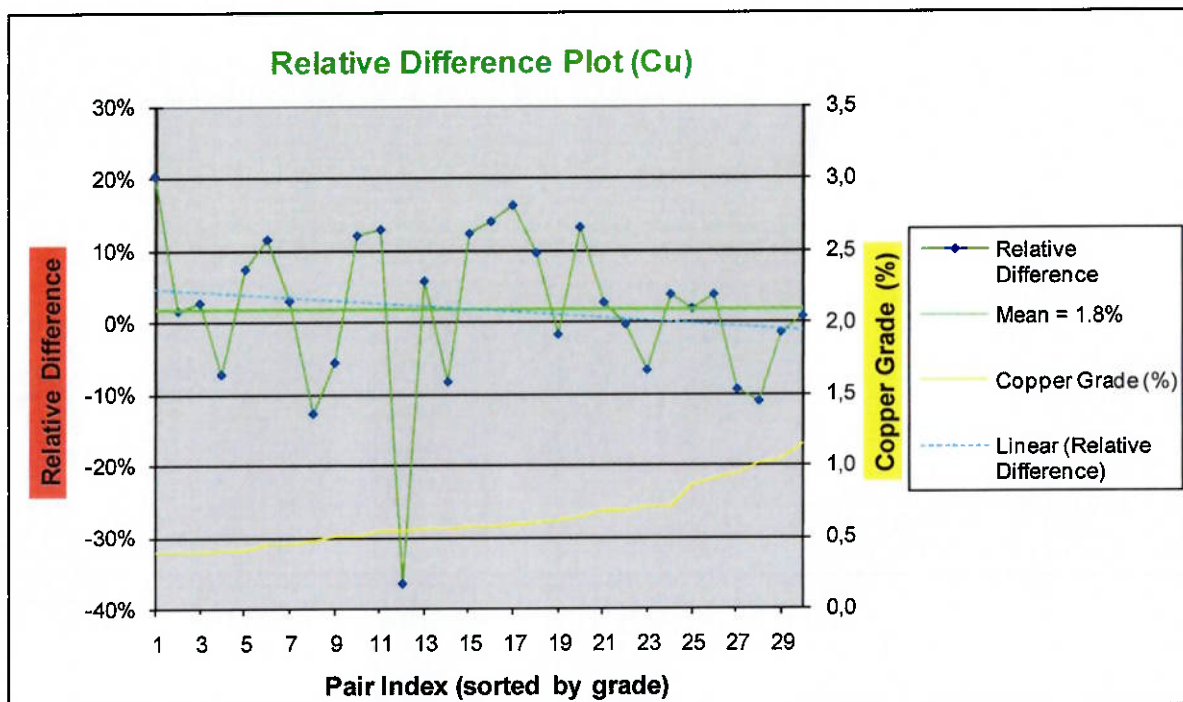


Figura 6.3 - Gráfico de diferenças relativas entre Amostra A e Amostra B, ordenadas por teor de cobre – GNS.

Com base nos resultados apresentados, podem ser feitas as seguintes observações:

- Não há erro sistemático significativo entre Amostra A e Amostra B proveniente de mesma perfuratriz, visto que a média do erro foi de -0,3% para o ouro e de 1,8% para o cobre, o que significa que as amostras manuais para o domínio GNS são acuradas comparativamente à Amostra B.

- A precisão da amostragem é baixa para o ouro ($\pm 46,36\%$ relativa) e mediana para o cobre ($\pm 11,25\%$ relativa), o que indica uma baixa reprodutibilidade das amostras (baixa precisão), fenômeno comum de ambientes com efeito pepita elevado. O gráfico de correlação da Figura 6.1 confirma esta baixa reprodutibilidade no caso do ouro.

- Os gráficos de diferenças relativas indicam que não há enviesamento da amostra e que o erro não é função do teor. No caso do cobre, a amostragem pode ser considerada suficientemente representativa. No caso do ouro, havendo uma boa acurácia mas uma baixa precisão, não é possível qualificar a amostragem manual de 13 incrementos como representativa de todo o furo.

Valem aqui duas considerações:

1. A prática usual para o cálculo da precisão da amostragem é a coleta de duas amostras do mesmo furo utilizando o mesmo método de amostragem. Neste trabalho, a precisão da amostragem foi calculada a partir do erro entre a coleta manual de 13 incrementos (Amostra A) e a coleta de todo o material proveniente do furo (Amostra B), ou seja, utilizando dois métodos diferentes de amostragem. Portanto, neste caso, a precisão da amostragem indica a capacidade da Amostra A de reproduzir o resultado da Amostra B,

neste caso considerada mais representativa devido à sua maior massa e pelo fato de não ser manual. Entretanto, isto não significa que a Amostra B seja representativa de todo o furo, pois a perfuratriz pode ser inadequada para amostragem. Esta adequabilidade da perfuratriz só pode ser avaliada comparando os resultados de teores provenientes do pó de perfuratriz com os resultados provenientes de testemunhos de sondagem.

2. O efeito pepita descreve quão bem os resultados de uma campanha de amostragem são reproduzidos repetindo-se a amostragem no mesmo ponto, e assim, quanto maior a reprodutibilidade amostral, menor o efeito pepita. Sabe-se que, para os metais preciosos e para os depósitos com elevada heterogeneidade, a reprodutibilidade amostral é baixa. Portanto, é de essencial importância conhecer em que ambiente de efeito pepita se está trabalhando e tomar as devidas providências para eliminar ou, pelo menos, minimizar os demais erros de amostragem. É importante deixar claro que ambientes com efeito pepita elevado não inviabilizam a amostragem, entretanto, este assunto deve ser tratado com atenção e precaução durante toda a vida útil do empreendimento.

6.2 BTO

O Apêndice B mostra os resultados para ouro e cobre das Amostras A (coleta manual por pá) e B (coleta total da amostra remanescente) para os 33 furos realizados no bloco BTO. Vale salientar que os furos 1 a 16 representam a malha de amostragem 10×10 m perfurada pela Furukawa, os furos 17 a 29 representam a cruz central perfurada pela ROC L8 e as amostras 20-F1 a 20-F5 representam o furo central realizado pela Furukawa com amostragem a cada 2 m (total de 10 m).

A Figura 6.4 mostra a correlação entre as Amostras A e B para ouro e cobre. Nota-se na Figura 6.4 uma baixa correlação para ouro ($R^2=0,755$).

As Figuras 6.5 e 6.6 mostram os gráficos de diferenças relativas entre Amostra A e Amostra B, organizados por ordem crescente de teor de ouro e de cobre respectivamente.

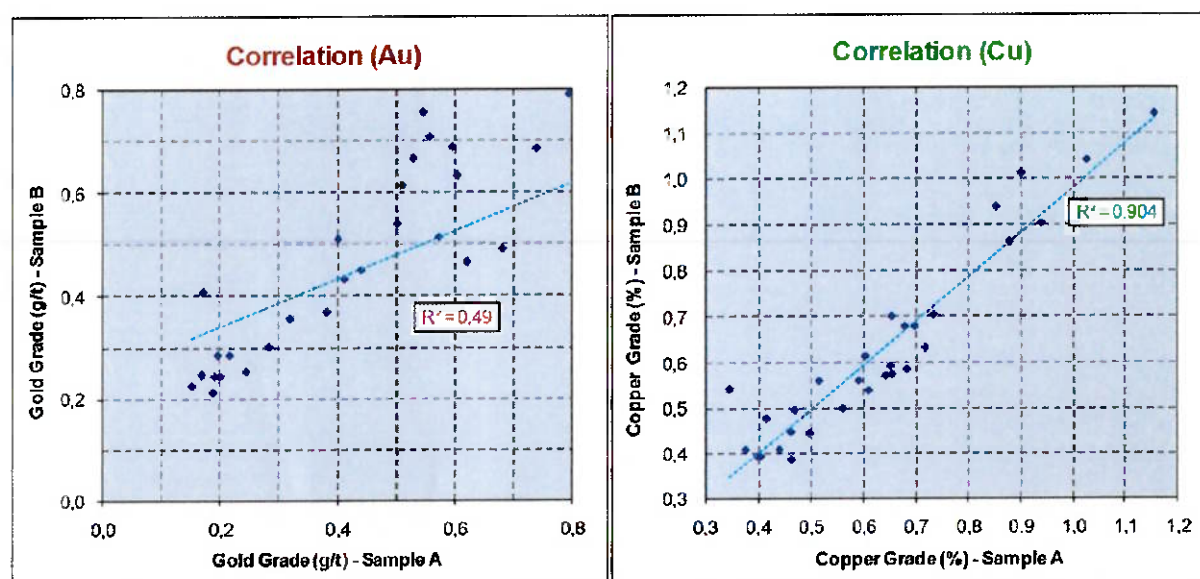


Figura 6.4 – Gráfico de correlação dos teores de ouro e cobre entre Amostra A e Amostra B – BTO.

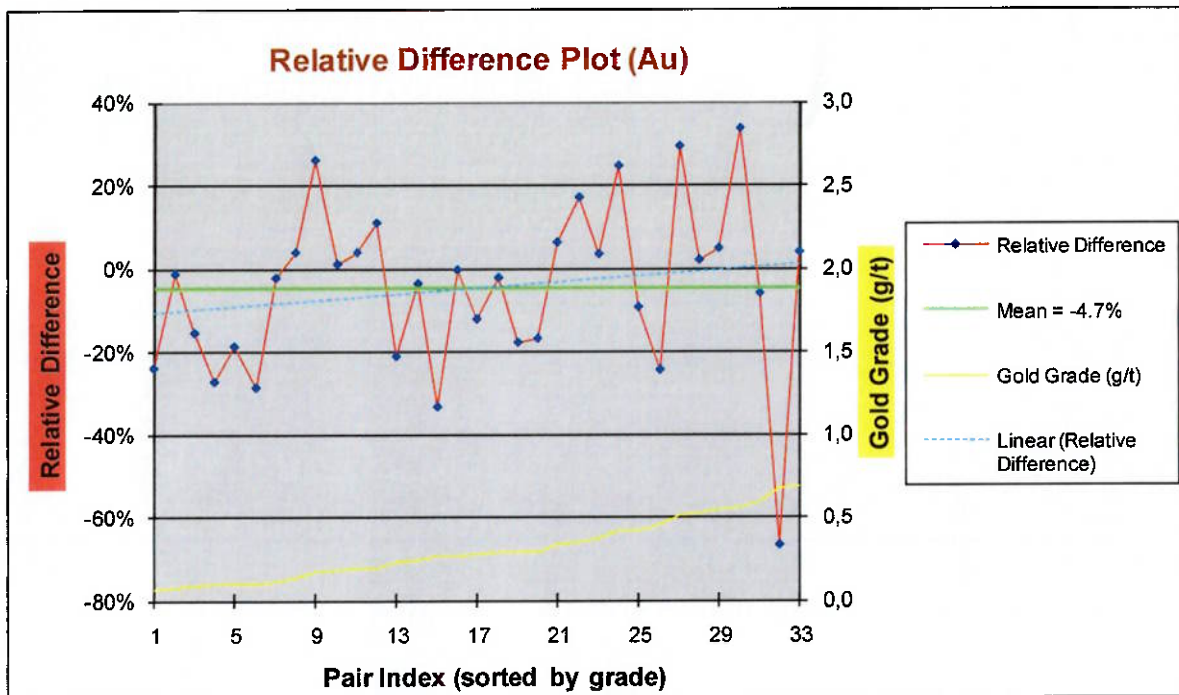


Figura 6.5 - Gráfico de diferenças relativas entre Amostra A e Amostra B, ordenadas por teor de ouro - BTO.

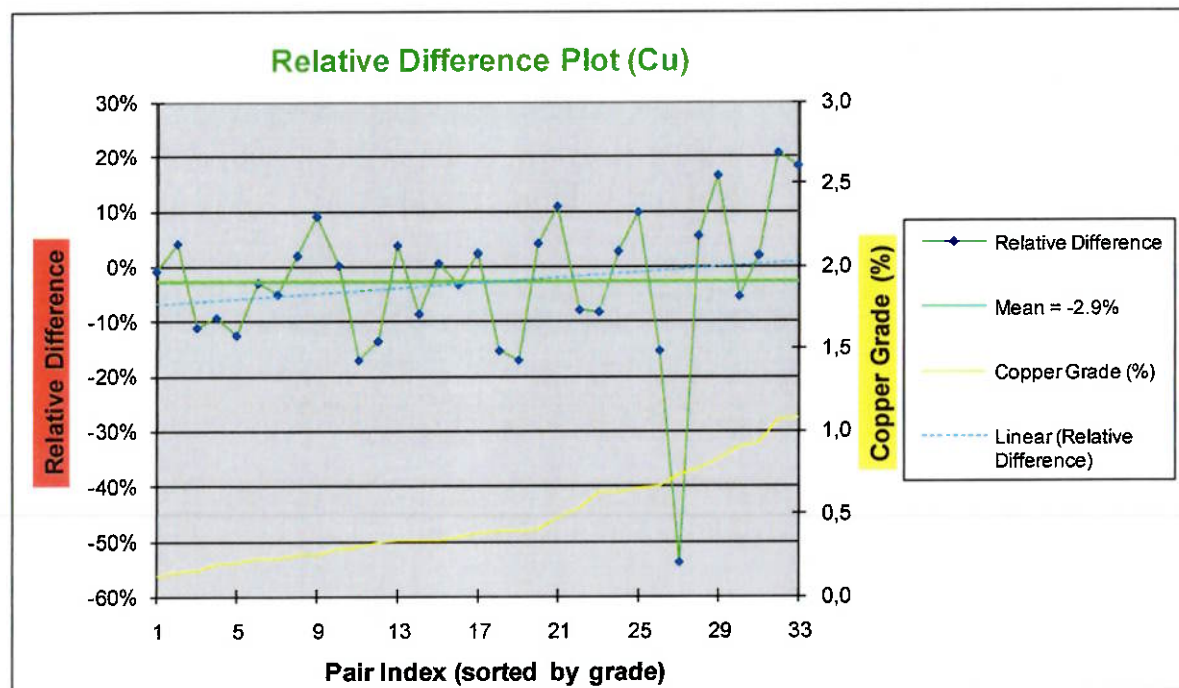


Figura 6.6 - Gráfico de diferenças relativas entre Amostra A e Amostra B, ordenadas por teor de cobre - BTO.

Com base nos resultados apresentados, podem ser feitas as seguintes observações:

- Não há erro sistemático significativo entre Amostra A e Amostra B proveniente de mesma perfuratriz, visto que a média do erro foi de -4,7% para o ouro e de -2,9% para o

cobre, o que significa que as amostras manuais para o domínio BTO são acuradas comparativamente às Amostras B. Entretanto, nota-se que a média do erro é negativa em ambos os casos, o que significa que a amostra coletada por pá manual tende a subestimar tanto o teor de ouro quanto o teor de cobre do bloco.

- A precisão da amostragem é baixa para o ouro ($\pm 20,33\%$ relativa) e mediana para o cobre ($\pm 13,62\%$ relativa), o que indica uma baixa reprodutibilidade das amostras (baixa precisão). O gráfico de correlação da Figura 6.4 confirma esta baixa reprodutibilidade no caso do ouro.

- Os gráficos de diferenças relativas indicam que não há enviesamento da amostra e que o erro não é função do teor. No caso do cobre, a amostragem pode ser considerada suficientemente representativa. No caso do ouro, havendo uma boa acurácia mas uma baixa precisão, não é possível qualificar a amostragem manual de 13 incrementos como representativa de todo o furo.

6.3 QSRT/GNS

O Apêndice C mostra os resultados para ouro e cobre das Amostras A (coleta manual por pá) e B (coleta total da amostra remanescente) para os 28 furos realizados no bloco QSRT/GNS. Vale salientar que os furos 1 a 16 representam a malha de amostragem 10×10 m perfurada pela Furukawa, os furos 17 a 29 representam a cruz central perfurada pela ROC L8 e as amostras 20-F1 e 20-F2 representam o furo central realizado pela Furukawa com amostragem a cada 2 m (total de 4 m). Lembre-se que duas amostras foram perdidas e que a Furukawa não pôde realizar o furo completo de 10 m devido à presença de água.

A Figuras 6.7 mostra a correlação entre as Amostras A e B para ouro e cobre. Nota-se nas figuras uma baixa correlação tanto para o ouro ($R^2=0,734$) quanto para o cobre ($R^2=0,735$). As Figuras 6.8 e 6.9 mostram os gráficos de diferenças relativas entre Amostra A e Amostra B, organizados por ordem crescente de teor de ouro e de cobre respectivamente.

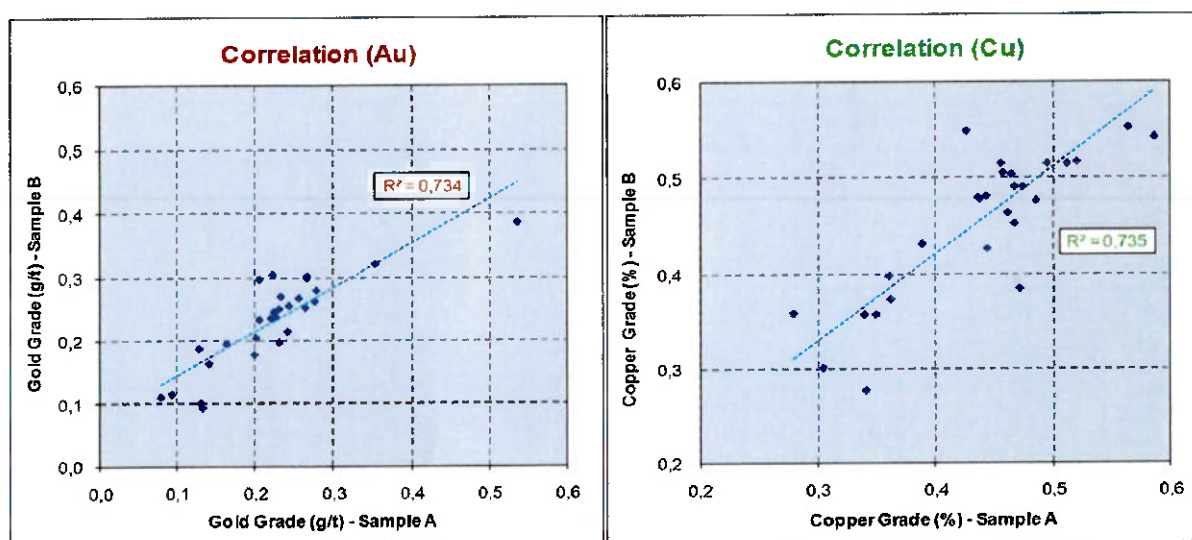


Figura 6.7 – Gráfico de correlação dos teores de ouro e cobre entre Amostra A e Amostra B – QSRT/GNS.

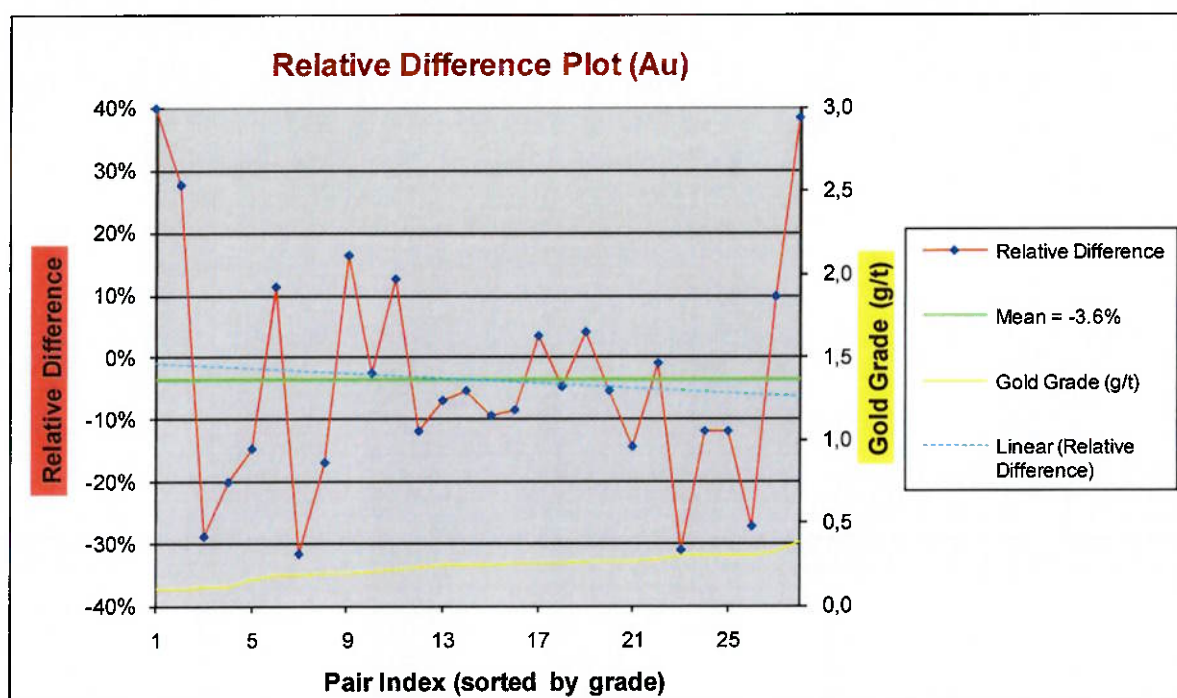


Figura 6.8 - Gráfico de diferenças relativas entre Amostra A e Amostra B, ordenadas por teor de ouro - QSRT/GNS.

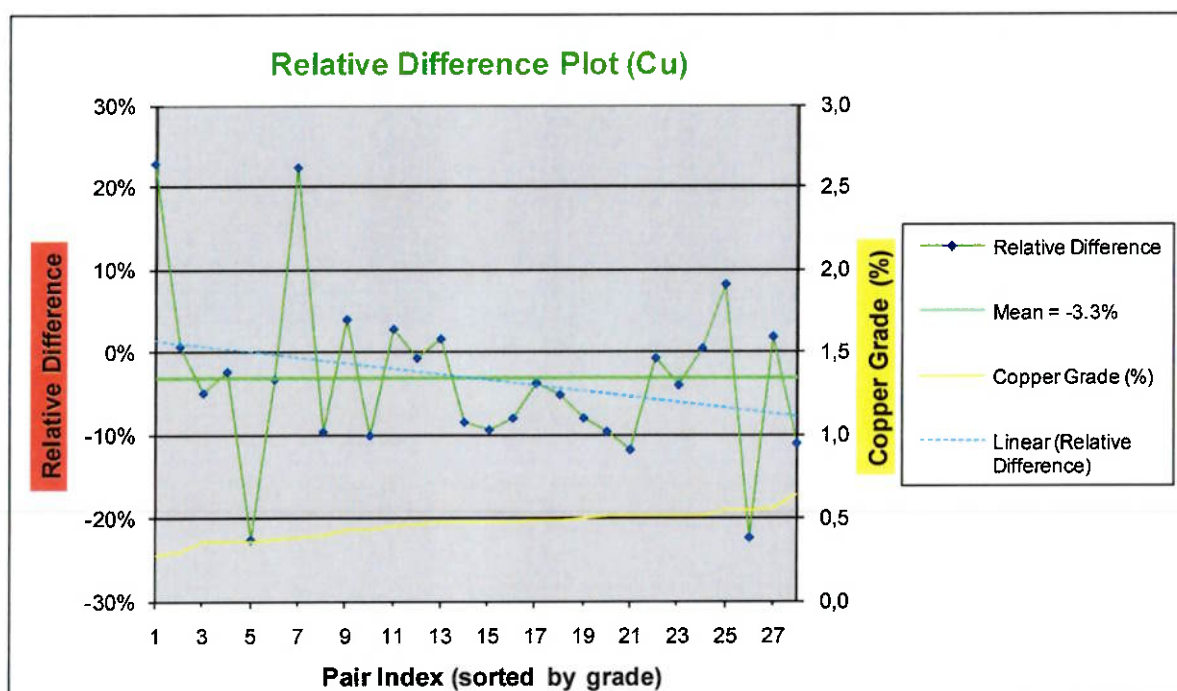


Figura 6.9 - Gráfico de diferenças relativas entre Amostra A e Amostra B, ordenadas por teor de cobre - QSRT/GNS.

Com base nos resultados apresentados, podem ser feitas as seguintes observações:

- Não há erro sistemático significativo entre Amostra A e Amostra B proveniente de mesma perfuratriz, visto que a média do erro foi de -3,6% para o ouro e de -3,3% para o

cobre, o que significa que as amostras manuais para o domínio QSRT/GNS são acuradas comparativamente à Amostra B. Entretanto, nota-se que a média do erro é negativa em ambos os casos, o que significa que a amostra coletada por pá manual tende a subestimar tanto o teor de ouro quanto o teor de cobre do bloco.

- A precisão da amostragem é baixa para o ouro ($\pm 18,76\%$ relativa) e mediana para o cobre ($\pm 10,11\%$ relativa), o que indica uma baixa reprodutibilidade das amostras (baixa precisão). Os gráficos de correlação da Figura 6.7 confirmam esta baixa reprodutibilidade.

- Os gráficos de diferenças relativas indicam que não há enviesamento da amostra e que o erro não é função do teor. No caso do cobre, a amostragem pode ser considerada suficientemente representativa. No caso do ouro, havendo uma boa acurácia mas uma baixa precisão, não é possível qualificar a amostragem manual de 13 incrementos como representativa de todo o furo.

6.4 ANX

O Apêndice D mostra os resultados para ouro e cobre das Amostras A (coleta manual por pá) e B (coleta total da amostra remanescente) para os 28 furos realizados no bloco ANX. Vale salientar que os furos 1 a 16 representam a malha de amostragem 10×10 m perfurada pela Furukawa e os furos 17 a 29 representam a cruz central, com espaçamento de 5 m entre os furos, perfurada pela ROC L8.

A Figura 6.10 mostra a correlação entre as Amostras A e B para ouro e cobre. Nota-se uma boa correlação tanto para ouro quanto para cobre ($R^2=0,964$ e $0,970$ respectivamente). As Figuras 6.11 e 6.12 mostram os gráficos de diferenças relativas entre Amostra A e Amostra B, organizados por ordem crescente de teor de ouro e de cobre respectivamente.

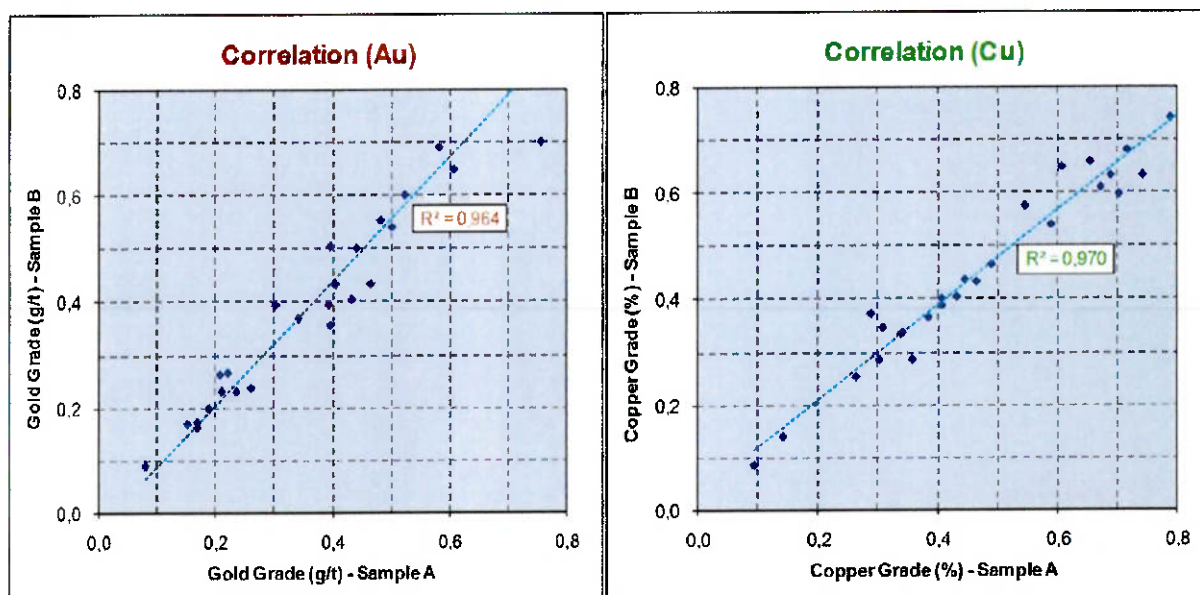


Figura 6.10 – Gráfico de correlação dos teores de ouro e cobre entre Amostra A e Amostra B – ANX.

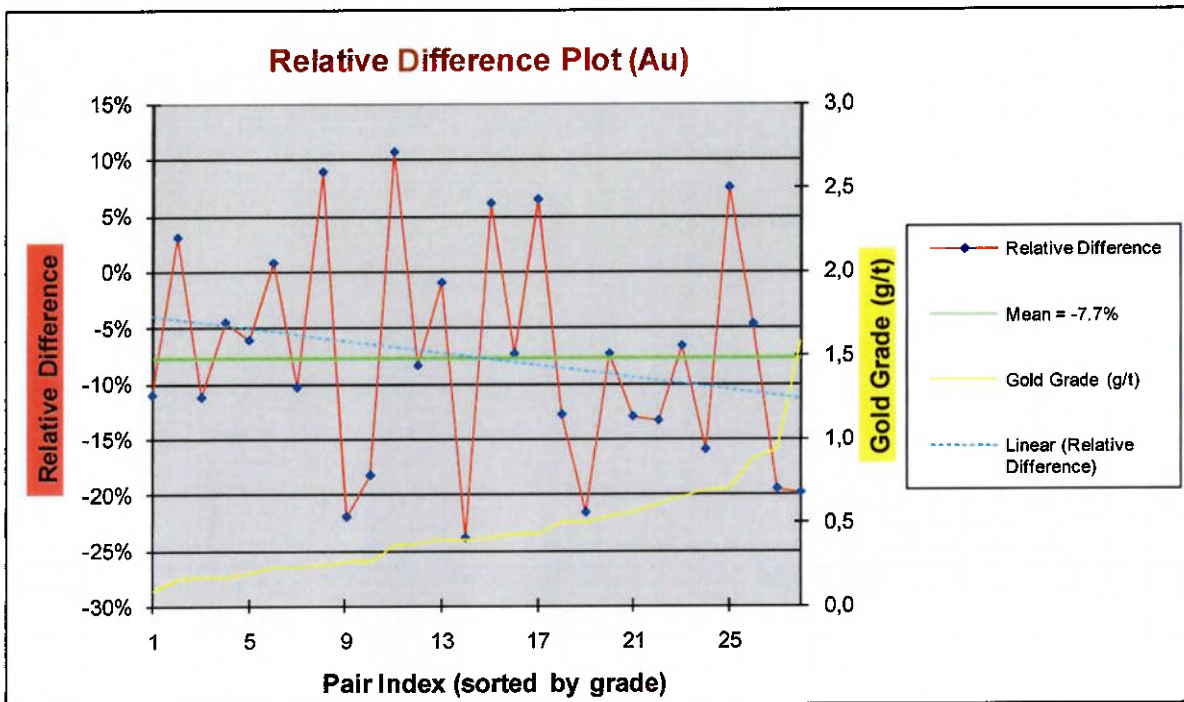


Figura 6.11 - Gráfico de diferenças relativas entre Amostra A e Amostra B, ordenadas por teor de ouro - ANX.

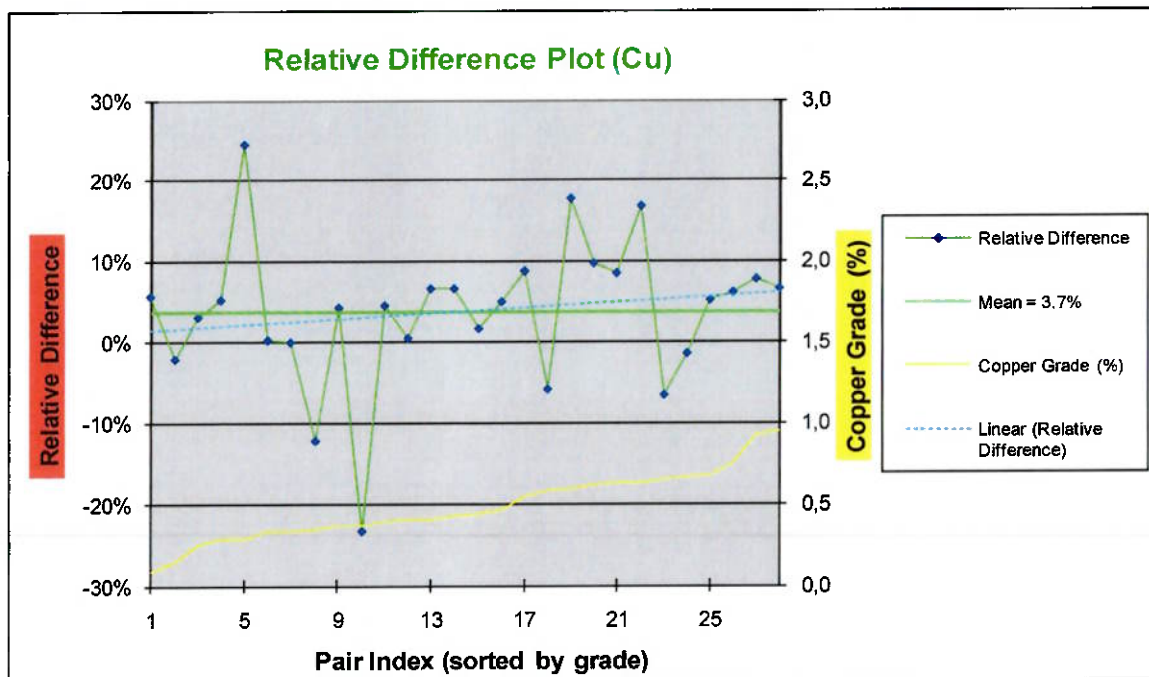


Figura 6.12 - Gráfico de diferenças relativas entre Amostra A e Amostra B, ordenadas por teor de cobre - ANX.

Com base nos resultados apresentados, podem ser feitas as seguintes observações:

- No caso do ouro, há um erro sistemático significativo entre Amostra A e Amostra B proveniente de mesma perfuratriz, visto que a média do erro foi de -7,7%. Este valor significa que, para o domínio ANX, as amostras manuais de 13 incrementos apresentam

valores 7,7% menores que os valores da amostra total. Portanto, as amostras manuais não são acuradas para o teor de ouro e tendem a subestimar o teor de ouro do bloco em se comparando com a amostra total do furo. No caso do cobre a amostra manual não apresentou erro sistemático significativo, com a média do erro igual a 3,7%.

- A precisão da amostragem é adequada tanto para o ouro ($\pm 10,07\%$ relativa) quanto para o cobre ($\pm 9,06\%$ relativa), o que indica uma boa reprodutibilidade das amostras manuais em relação à amostra total. Os gráficos de correlação da Figura 6.10 confirmam esta alta reprodutibilidade.

- No caso do ouro, o gráfico de diferenças relativas indica que existe um enviesamento da amostra e que este enviesamento é função do teor, i.e., quando maior o teor de ouro, maior a subestimativa da amostra manual (ver linha tracejada azul da Figura 6.11). No caso do cobre, o gráfico de diferenças relativas indica que não há enviesamento da amostra e que o erro não é função do teor.

- No caso do cobre, a amostragem pode ser considerada suficientemente representativa. No caso do ouro, havendo uma boa precisão mas uma baixa acurácia, não é possível qualificar a amostragem manual de 13 incrementos como representativa de todo o furo.

6.5 Análises granuloquímicas

Os resultados apresentados nos itens anteriores devem ser validados por meio de análises granuloquímicas, que permitem avaliar a influência da composição da amostra com massas não proporcionais de fragmentos médios, grossos e finos no teor resultante.

A campanha de amostragem deste trabalho incluiu a realização de três furos de 5 m de profundidade no bloco ANX. Os furos foram realizados com a Furukawa na região central do bloco. As Tabelas 6.1 e 6.2 apresentam os resultados obtidos, onde:

1. A Amostra 20-1 representa o todo o material do furo (grossos, médios e finos) coletado por meio de sacos plásticos dispostos nas descargas da perfuratriz. As Amostras 20-1-A e 20-1-B foram obtidas por quarteamento da amostra total e apresentaram massas de 2.982 g e 2.583 g respectivamente.

2. A Amostra 20-2 representa o todo o material do furo (grossos, médios e finos) coletado por meio de lonas dispostas sob as descargas da perfuratriz. As Amostras 20-2-A e 20-2-B foram obtidas por quarteamento da amostra total e apresentaram massas de 2.959 g e 2.972 g respectivamente.

3. A Amostra 20-3 representa a amostra atualmente padrão da empresa com 13 incrementos, apresentando uma massa de 5.642 g.

Tabela 6.1 - Teores de ouro e cobre resultantes das análises granulométricas para o domínio ANX.

malha		20-1-A		20-1-B		20-2-A		20-2-B		20-3	
#	mm	Au g/t	Cu %	Au g/t	Cu %	Au g/t	Cu %	Au g/t	Cu %	Au g/t	Cu %
10 #	2,000	1,002	0,897	1,056	0,889	0,954	0,918	0,881	0,884	0,119	0,147
18 #	1,000	1,017	0,825	1,080	0,806	0,795	0,755	0,760	0,767	0,148	0,169
35 #	0,500	0,596	0,542	0,645	0,488	0,686	0,554	0,724	0,561	0,142	0,148
50 #	0,297	0,600	0,448	0,518	0,392	0,586	0,490	0,917	0,977	0,135	0,128
100 #	0,149	0,494	0,593	0,953	0,592	0,447	0,608	0,896	1,087	0,142	0,185
150 #	0,100	0,684	1,086	0,641	0,963	0,526	0,857	0,599	0,731	0,144	0,251
< 150 #	0,000	2,214	1,652	1,905	1,727	1,403	1,572	1,550	1,544	0,355	0,429
teor médio		1,219	1,021	1,158	0,998	0,978	1,077	1,041	1,077	0,203	0,245

Tabela 6.2 - Distribuições granulométricas resultantes das análises granulométricas no domínio ANX.

malha		% retida simples				
#	mm	20-1-A	20-1-B	20-2-A	20-2-B	20-3-
10 #	2,000	6,7	7,5	4,3	3,8	13,1
18 #	1,000	18,0	16,5	9,7	8,2	15,7
35 #	0,500	11,5	13,5	10,1	9,4	11,8
50 #	0,297	11,1	10,0	8,2	34,8	8,3
100 #	0,149	11,1	12,4	14,2	14,6	15,0
150 #	0,100	9,3	9,5	8,2	2,7	6,1
< 150 #	0,000	32,3	30,6	45,3	26,6	29,9
total		100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Nota-se que a fração fina apresentou teores maiores tanto de ouro quanto de cobre para o domínio ANX. Esta distribuição não deve variar consideravelmente para os outros domínios geológicos e, portanto, com a coleta de uma massa de finos relativamente menor, a amostragem padrão com 13 incrementos tende a subestimar os teores de cobre e ouro dos furos.

7 CONCLUSÕES

O objetivo do presente trabalho de quantificar os erros gerados pela coleta manual das amostras de curto prazo, para fins de reconciliação, foi alcançado.

A partir dos dados apresentados, podemos concluir:

1. Especialmente para o domínio ANX, principal domínio geológico de Maracá, e no caso do ouro, há um erro sistemático significativo entre Amostra A e Amostra B proveniente de mesma perfuratriz, visto que a média do erro foi de -7,7%. Este valor significa que as amostras manuais de 13 incrementos apresentam valores 7,7% menores que os valores da amostra total. Portanto, as amostras manuais não são acuradas para o teor de ouro e tendem a subestimar o teor de ouro do bloco em se comparando com a amostra total do furo.

3. Ainda para o domínio ANX, o gráfico de diferenças relativas para o ouro indica que existe um enviesamento da amostra e que este enviesamento é função do teor, i.e., quando maior o teor de ouro, maior a subestimativa da amostra.

2. Uma análise geral mostra que a precisão da amostragem tende a ser baixa, especialmente para o ouro, o que indica uma baixa reprodutibilidade das amostras. Este é um fenómeno comum de ambientes com efeito pepita elevado e indica a necessidade de coleta de um maior número de amostras para aumentar a confiabilidade na estimativa dos blocos..

4. Em geral, a amostragem manual pode ser considerada suficientemente representativa para o cobre. No caso do ouro, havendo uma boa precisão, mas uma baixa acurácia, não é possível qualificar a amostragem manual de 13 incrementos como representativa de todo o furo.

Os resultados nos permitem concluir que a Amostra A, composta por 13 incrementos, tende a subestimar o teor do furo, especialmente no caso do ouro. Vale ressaltar que as Amostras B foram coletadas após a coleta das Amostras A de 13 incrementos, as quais foram compostas por uma massa de finos relativamente menor. Isto significa que a Amostra B apresenta uma massa de finos relativamente maior e, portanto, um teor ligeiramente maior que o real (representando todo o furo). Este procedimento pode ter aumentado a tendência de subestimativa da Amostra A em relação à Amostra B e, portanto, os resultados dos erros de subestimativa apresentados nas tabelas anteriores tenderiam a ser maiores do que os reais. Visto que a massa da Amostra A representou apenas 5% da massa da Amostra B, pode-se considerar este problema minimizado e os resultados consistentes.

Com base no exposto, não se recomenda usar a amostragem manual para o planeamento de curso prazo na Mineração Maracá, visto que estas amostras tendem a subestimar o teor do furo. Visando minimizar os erros de coleta de amostras, sugere-se coletar todo o material proveniente do furo (finos, médios e grossos), compondo uma única amostra final a ser quarteada no laboratório físico.

Entretanto, antes da mudança de procedimento de amostragem, recomenda-se realizar um estudo comparativo entre os resultados obtidos pelas perfuratrizes utilizadas para o planeamento de curto prazo (Furukawa e ROC L8) e os resultados obtidos por sondagem diamantada, de modo a validar o tipo de perfuratriz utilizado para amostragem. Como visto anteriormente, a passagem do material proveniente do furo por filtros antes da descarga de finos pode enviesar a amostra e contaminá-la com material proveniente do furo anterior, tornando estes tipos de perfuratrizes inadequados à amostragem.

As análises granuloquímicas mostram uma concentração dos minerais úteis nas frações finas e, portanto, a tendência de subestimativa da amostra manual de 13 incrementos é explicada pela coleta de apenas um incremento do material fino, tornando a amostra composta não proporcional e, conseqüentemente, incorreta.

Os resultados do presente trabalho mostraram as dificuldades de se obter uma amostra representativa para o planeamento de curto-prazo. A amostragem manual, por meio de pás, é pouco confiável e deve ser evitada, principalmente quando se trata de minério contendo metais preciosos ou depósitos com heterogeneidade elevada.

Outro problema da amostragem manual é a baixa confiabilidade nos resultados de reconciliação quando a amostragem é pouco confiável. 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, sem antes termos realizado um diagnóstico de todos os processos geradores de dados para os cálculos de reconciliação, não devemos considerá-la um teste final de qualidade, pois diversos fatores podem influenciar seus resultados, como as práticas inadequadas de amostragem e de seleção de minério na lavra.

A primeira e mais importante fonte de erros é a amostragem e segundo Gy (*apud* Pitard, 1993): “a amostragem é uma das operações básicas da mente humana, mas infelizmente ela não recebe a atenção que merece”. Em certos casos, amostragens de furos de desmonte podem consistentemente subestimar ou superestimar o teor real de um corpo de minério. O enviesamento da amostragem é provavelmente o erro mais difícil de se medir e, certamente, merece uma consideração especial nos estágios iniciais de qualquer empreendimento mineiro.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHAVES, A.P. **Fundamentos teóricos da amostragem**. In: Teoria e prática do tratamento de minérios: manuseio de sólidos granulados, vol. 5, págs. 299-338, Signus Editora, São Paulo, 2011.

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

CHIEREGATI, 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 set. 2011.

FERREIRA, F.M. **Amostragem**. Apostila de curso. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1989.

ELLIOTT, S.M.; Snowden, D.V.; Bywater, A.; Standig, C.A & Ryba, A. **Reconciliation of the McKinnons gold deposit, Cobar, New South Wales**. In: Mineral Resource and Ore Reserve Estimation: The AusIMM Guide to Good Practice, págs. 257-268, Ed. A.C. Edwards, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne, Australia, 2001.

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

SCHOFIELD, N.A. **The myth of mine reconciliation**. *Mineral Resource and Ore Reserve Estimation: the AusIMM Guide to Good Practice*. Melbourne, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 2001. p. 601-610.

YAMANA GOLD INC. - Mineração Maracá Indústria e Comércio S.A., **Strategic Life of Mine**, 2010.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Teores de cobre, erro absoluto e erro relativo das Amostras A e B para o bloco ANX.

blasthole	Sample A Cu grade (%)	Sample B Cu grade (%)	pair index	absolute error	relative error (%)
1	0,406	0,389	1	0,02	4,37%
2	0,337	0,336	2	0,00	0,30%
3	0,384	0,368	3	0,02	4,35%
4	0,301	0,286	4	0,02	5,24%
5	0,431	0,404	5	0,03	6,68%
6	0,261	0,253	6	0,01	3,16%
7	0,463	0,434	7	0,03	6,68%
8	1,010	0,947	8	0,06	6,65%
9	0,543	0,577	9	-0,03	-5,89%
10	0,589	0,542	10	0,05	8,67%
11	0,306	0,349	11	-0,04	-12,32%
12	0,339	0,339	12	0,00	0,00%
13	0,717	0,681	13	0,04	5,29%
14	0,606	0,649	14	-0,04	-6,63%
15	0,992	0,920	15	0,07	7,83%
16	0,702	0,597	16	0,11	17,59%
17	0,672	0,613	17	0,06	9,62%
18	0,789	0,744	18	0,05	6,05%
19	0,687	0,633	19	0,05	8,53%
21	0,740	0,634	20	0,11	16,72%
22	0,092	0,087	21	0,01	5,75%
23	0,140	0,143	22	0,00	-2,10%
24	0,405	0,403	23	0,00	0,50%
25	0,357	0,287	24	0,07	24,39%
26	0,287	0,374	25	-0,09	-23,26%
27	0,446	0,439	26	0,01	1,59%
28	0,490	0,467	27	0,02	4,93%
29	0,651	0,660	28	-0,01	-1,36%
m = mean	0,505	0,484		0,021	3,69%
s = std deviation	0,230	0,209		0,044	9,06%
m/3s					13,58%

APÊNDICE B

Teores de ouro, erro absoluto e erro relativo das Amostras A e B para o bloco BTO.

blasthole	Sample A Au grade (g/t)	Sample B Au grade (g/t)	pair index	absolute error	relative error (%)
1	0,27	0,27	1	0,00	0,00%
2	0,25	0,28	2	-0,03	-11,83%
3	0,19	0,24	3	-0,05	-20,85%
4	0,24	0,29	4	-0,05	-16,67%
5	0,39	0,37	5	0,01	3,75%
6	0,75	0,56	6	0,19	33,75%
7	0,72	0,69	7	0,03	3,90%
8	0,52	0,41	8	0,10	24,70%
9	0,36	0,33	9	0,02	6,59%
10	0,20	0,19	10	0,01	4,17%
11	0,24	0,29	11	-0,05	-17,77%
12	0,08	0,08	12	0,00	-1,32%
13	0,28	0,29	13	-0,01	-2,11%
14	0,07	0,10	14	-0,03	-27,08%
15	0,07	0,10	15	-0,03	-28,43%
16	0,05	0,07	16	-0,02	-23,88%
17	0,08	0,10	17	-0,02	-18,37%
18	0,14	0,13	18	0,01	3,79%
19	0,18	0,26	19	-0,09	-33,21%
21	0,54	0,52	20	0,01	2,10%
22	0,23	0,68	21	-0,45	-66,42%
23	0,23	0,24	22	-0,01	-3,70%
24	0,21	0,17	23	0,04	26,19%
25	0,38	0,42	24	-0,04	-9,38%
26	0,56	0,59	25	-0,03	-5,72%
27	0,22	0,20	26	0,02	11,28%
28	0,10	0,11	27	0,00	-1,89%
29	0,08	0,09	28	-0,01	-15,38%
20-F1	0,58	0,55	29	0,03	4,72%
20-F2	0,34	0,45	30	-0,11	-24,22%
20-F3	0,41	0,35	31	0,06	17,39%
20-F4	0,66	0,51	32	0,15	29,45%
20-F5	0,19	0,18	33	0,00	1,09%
m = mean	0,295	0,306		-0,010	-4,71%
s = std deviation	0,197	0,182		0,098	20,33%
m/3s					-7,72%

Teores de cobre, erro absoluto e erro relativo das Amostras A e B para o bloco BTO.

blasthole	Sample A Cu grade (%)	Sample B Cu grade (%)	pair index	absolute error	relative error (%)
1	0,34	0,34	1	0,00	0,59%
2	0,33	0,39	2	-0,06	-15,27%
3	0,25	0,30	3	-0,05	-16,95%
4	0,33	0,39	4	-0,07	-17,05%
5	0,82	0,77	5	0,04	5,56%
6	1,27	1,08	6	0,20	18,22%
7	1,29	1,07	7	0,22	20,75%
8	0,65	0,63	8	0,02	2,52%
9	0,71	0,65	9	0,06	9,71%
10	0,42	0,41	10	0,02	4,19%
11	0,31	0,34	11	-0,03	-8,61%
12	0,22	0,23	12	-0,01	-3,08%
13	0,28	0,33	13	-0,04	-13,50%
14	0,18	0,20	14	-0,02	-9,50%
15	0,18	0,21	15	-0,03	-12,38%
16	0,12	0,12	16	0,00	-0,83%
17	0,16	0,15	17	0,01	4,00%
18	0,22	0,23	18	-0,01	-5,29%
19	0,35	0,36	19	-0,01	-3,36%
21	0,96	0,83	20	0,14	16,59%
22	0,34	0,74	21	-0,40	-53,92%
23	0,39	0,38	22	0,01	2,34%
24	0,29	0,29	23	0,00	0,35%
25	0,53	0,47	24	0,05	10,76%
26	0,94	0,92	25	0,02	1,84%
27	0,35	0,34	26	0,01	3,57%
28	0,26	0,25	27	0,01	1,97%
29	0,14	0,15	28	-0,02	-11,04%
20-F1	0,86	0,90	29	-0,05	-5,42%
20-F2	0,56	0,67	30	-0,10	-15,34%
20-F3	0,50	0,54	31	-0,04	-7,99%
20-F4	0,58	0,63	32	-0,05	-8,43%
20-F5	0,28	0,26	33	0,02	8,91%
m = mean	0,466	0,471		-0,005	-2,91%
s = std deviation	0,312	0,273		0,098	13,62%
m/3s					-7,13%

APÊNDICE C

Teores de ouro, erro absoluto e erro relativo das Amostras A e B para o bloco QSRT/GNS.

blasthole	Sample A Au grade (g/t)	Sample B Au grade (g/t)	pair index	absolute error	relative error (%)
1	0,23	0,24	1	-0,01	-5,44%
2	0,22	0,25	2	-0,02	-9,31%
3	0,20	0,21	3	0,00	-2,43%
4	0,13	0,10	4	0,03	27,72%
5	0,25	0,27	5	-0,01	-5,22%
6	0,24	0,21	6	0,03	12,62%
7	0,28	0,26	7	0,01	4,17%
9	0,28	0,28	8	0,00	-1,07%
10	0,23	0,25	9	-0,02	-8,37%
11	0,20	0,18	10	0,02	11,17%
12	0,08	0,11	11	-0,03	-28,83%
13	0,14	0,16	12	-0,02	-14,63%
14	0,22	0,24	13	-0,02	-6,78%
15	0,09	0,12	14	-0,02	-20,00%
16	0,22	0,31	15	-0,08	-27,21%
17	0,26	0,25	16	0,01	3,56%
18	0,35	0,32	17	0,03	9,63%
19	0,53	0,39	18	0,15	38,34%
21	0,16	0,20	19	-0,03	-16,84%
22	0,20	0,30	20	-0,09	-31,08%
23	0,24	0,26	21	-0,01	-4,71%
24	0,21	0,23	22	-0,03	-12,02%
25	0,23	0,20	23	0,03	16,16%
27	0,13	0,19	24	-0,06	-31,55%
28	0,26	0,30	25	-0,04	-12,00%
29	0,23	0,27	26	-0,04	-14,44%
20-F1	0,27	0,30	27	-0,04	-11,92%
20-F2	0,13	0,10	28	0,04	40,00%
m = mean	0,222	0,231		-0,009	-3,59%
s = std deviation	0,087	0,071		0,045	18,76%
m/3s					-6,38%

APÊNDICE D

Teores de ouro, erro absoluto e erro relativo das Amostras A e B para o bloco ANX.

blasthole	Sample A Au grade (g/t)	Sample B Au grade (g/t)	pair index	absolute error	relative error (%)
1	0,40	0,36	1	0,04	10,64%
2	0,19	0,20	2	-0,01	-6,06%
3	0,26	0,24	3	0,02	8,86%
4	0,15	0,17	4	-0,02	-11,24%
5	0,46	0,44	5	0,03	6,44%
6	0,17	0,18	6	-0,01	-4,57%
7	0,40	0,50	7	-0,11	-21,63%
8	1,27	1,58	8	-0,31	-19,77%
9	0,52	0,60	9	-0,08	-13,29%
10	0,40	0,43	10	-0,03	-7,37%
11	0,22	0,27	11	-0,05	-18,28%
12	0,21	0,23	12	-0,02	-10,30%
13	0,48	0,55	13	-0,07	-13,00%
14	0,44	0,50	14	-0,06	-12,72%
15	0,58	0,69	15	-0,11	-15,92%
16	0,43	0,41	16	0,03	6,17%
17	0,83	0,87	17	-0,04	-4,70%
18	0,75	0,94	18	-0,18	-19,57%
19	0,61	0,65	19	-0,04	-6,63%
21	0,75	0,70	20	0,05	7,56%
22	0,08	0,09	21	-0,01	-11,11%
23	0,17	0,16	22	0,01	3,07%
24	0,39	0,40	23	0,00	-1,01%
25	0,23	0,23	24	0,00	0,86%
26	0,21	0,27	25	-0,06	-21,89%
27	0,30	0,40	26	-0,10	-23,99%
28	0,34	0,37	27	-0,03	-8,38%
29	0,50	0,54	28	-0,04	-7,41%
m = mean	0,419	0,463		-0,044	-7,69%
s = std deviation	0,256	0,307		0,074	10,07%
m/3s					-25,46%

Teores de cobre, erro absoluto e erro relativo das Amostras A e B para o bloco ANX.

blasthole	Sample A Cu grade (%)	Sample B Cu grade (%)	pair index	absolute error	relative error (%)
1	0,406	0,389	1	0,02	4,37%
2	0,337	0,336	2	0,00	0,30%
3	0,384	0,368	3	0,02	4,35%
4	0,301	0,286	4	0,02	5,24%
5	0,431	0,404	5	0,03	6,68%
6	0,261	0,253	6	0,01	3,16%
7	0,463	0,434	7	0,03	6,68%
8	1,010	0,947	8	0,06	6,65%
9	0,543	0,577	9	-0,03	-5,89%
10	0,589	0,542	10	0,05	8,67%
11	0,306	0,349	11	-0,04	-12,32%
12	0,339	0,339	12	0,00	0,00%
13	0,717	0,681	13	0,04	5,29%
14	0,606	0,649	14	-0,04	-6,63%
15	0,992	0,920	15	0,07	7,83%
16	0,702	0,597	16	0,11	17,59%
17	0,672	0,613	17	0,06	9,62%
18	0,789	0,744	18	0,05	6,05%
19	0,687	0,633	19	0,05	8,53%
21	0,740	0,634	20	0,11	16,72%
22	0,092	0,087	21	0,01	5,75%
23	0,140	0,143	22	0,00	-2,10%
24	0,405	0,403	23	0,00	0,50%
25	0,357	0,287	24	0,07	24,39%
26	0,287	0,374	25	-0,09	-23,26%
27	0,446	0,439	26	0,01	1,59%
28	0,490	0,467	27	0,02	4,93%
29	0,651	0,660	28	-0,01	-1,36%
m = mean	0,505	0,484		0,021	3,69%
s = std deviation	0,230	0,209		0,044	9,06%
m/3s					13,58%