



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO - UFOP
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS - DEMIN



Leonardo Alves Fenelon

Protocolos de *Ore Control*: Uma revisão

Ouro Preto – MG
Setembro de 2026

Leonardo Alves Fenelon

leonardo.fenelon@aluno.ufop.edu.br

Protocolos de Ore Control: Uma revisão

Monografia submetida à apreciação da banca examinadora de graduação em Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte dos requisitos necessários para a obtenção de grau de Bacharel em Engenharia de Minas.

Orientador: Prof. Dr. Ivo Eyer Cabral

Ouro Preto – MG

2026

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

F332p Fenelon, Leonardo Alves.
Protocolos de ore control [manuscrito]: uma revisão. / Leonardo Alves
Fenelon. - 2026.
42 f.: il.: color., tab..

Orientador: Prof. Dr. Ivo Eyer Cabral.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.
Escola de Minas. Graduação em Engenharia de Minas .

1. Indústria mineral. 2. Minas e recursos minerais - Controle de teor.
3. Amostragem (Estatística). I. Cabral, Ivo Eyer. II. Universidade Federal
de Ouro Preto. III. Título.

CDU 622.7.09

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526



FOLHA DE APROVAÇÃO

Leonardo Alves Fenelon

Protocolos de *Ore Control*: Uma revisão

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Minas

Aprovada em 23 de setembro de 2026

Membros da banca

Dr. Ivo Eyer Cabral Orientador - Universidade Federal de Ouro Preto
Dr. Elton Destro - Universidade Federal de Ouro Preto
Dr. Hernani Mota de Lima- Universidade Federal de Ouro Preto

Ivo Eyer Cabral, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 02/10/2026



Documento assinado eletronicamente por **Ivo Eyer Cabral, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 02/10/2026, às 15:59, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1206917** e o código CRC **4031C9B1**.

Agradecimentos

Agradeço aos meus pais, Renato e Pollyana, por todo amor, esforço e incentivo durante a minha graduação. Sempre me alçando a voos maiores. À minha irmã Gabriella, por todo amor e carinho, ao meu irmão Pedro por sempre me incentivar a buscar o meu melhor. À Lorenza, Victor e Clara, por encherem nossa família de amor. À minha tia Zí, pelo apoio e amor incondicional e por ser meu porto seguro. À vovó dininha por me ensinar que a vida sempre é questão de perspectiva.

À Maria Eduarda por ser minha melhor amiga, sempre me apoiar durante quase toda a graduação e me ensinar e me motivar tanto.

À gloriosa República Acrópole, por serem minha família, por estarem comigo em todos os momentos bons e ruins, por me todo aprendizado, para sempre minha casa.

À UFOP, pelo ensino público e de qualidade e por ser o lugar que por tantos anos chamei de casa.

Resumo

Este trabalho apresenta uma revisão da literatura sobre protocolos de controle de teores (ore control) e de reconciliação na indústria mineral, com o objetivo de identificar suas principais técnicas e avaliar sua aplicabilidade, eficiência, limitações e impactos no controle e na exploração de reservas minerais. A metodologia fundamentou-se em um levantamento e análise crítica de publicações técnicas e acadêmicas de autores de referência no setor. O estudo aborda as etapas essenciais para o desenvolvimento de um protocolo de ore control, englobando a aplicação da Teoria da Amostragem de Pierre Gy para o controle e mitigação de erros amostrais aleatórios e sistemáticos, o mapeamento geológico detalhado e o armazenamento estruturado de dados. Além disso, destaca-se a relevância da integridade de dados analíticos laboratoriais com base nos princípios ALCOA (*attributable, legibility, contemporaneous, original, accuracy* – atribuível, legível, contemporâneo, original, precisão) e no acompanhamento rigoroso por programas de QA/QC (*quality assurance/quality control* – garantia e controle de qualidade). A pesquisa evidencia a importância do ore control na integração com o planejamento de lavra de curto prazo e na transição da reconciliação reativa para a proativa, promovendo a lavra precisa, a identificação das causas raiz de desvios operacionais e a melhoria contínua dos processos. A otimização dos protocolos existentes, combinada a tecnologias de monitoramento e automação em tempo, permite reduzir a diluição não planejada. Conclui-se que, apesar dos desafios estratégicos — como o equilíbrio entre seletividade e produtividade — e dos custos envolvidos na implantação, a manutenção de um protocolo de ore control multidisciplinar proporciona retornos significativos ao maximizar a recuperação e a eficiência global da operação mineira.

Palavras-chave: Ore control; Controle de teores; Reconciliação de mina; Teoria da amostragem; QA/QC; Diluição operacional.

Abstract

This paper presents a literature review on ore control and reconciliation protocols in the mining industry, aiming to identify their main techniques and evaluate their applicability, efficiency, limitations, and impacts on the control and exploitation of mineral reserves. The methodology was based on a survey and critical analysis of technical and academic publications from leading authors in the sector. The study addresses the essential steps for developing an ore control protocol, encompassing the application of Pierre Gy's Sampling Theory for controlling and mitigating random and systematic sampling errors, detailed geological mapping, and structured data storage. Furthermore, it highlights the relevance of analytical laboratory data integrity based on ALCOA (attributable, legibility, contemporaneous, original, accuracy) principles and rigorous monitoring through Quality Assurance and Quality Control (QA/QC) programs. The research emphasizes the importance of ore control in integrating short-term mine planning and transitioning from reactive to proactive reconciliation, promoting accurate mining, root cause identification of operational deviations, and continuous process improvement. Optimizing existing protocols, combined with real-time monitoring and automation Technologies enables reducing unplanned dilution . It is concluded that, despite strategic challenges—such as balancing selectivity and productivity—and the implementation costs involved, maintaining a multidisciplinary ore control protocol yields significant returns by maximizing recovery and overall mining operation efficiency.

Keywords: Ore control; Grade control; mine reconciliation; Sampling theory; QA/QC; Operational dilution.

Lista de figuras

Figura 1: Componentes do Erro Global de Estimativa	16
Figura 2: Composição incorreta da amostra.....	18
Figura 3: Amostragem realizada em correia.....	19
Figura 4: Mapeamento geológico mina Vau Novo.....	21
Figura 5: Esquema exemplificando a estratégia ALCOA.....	24
Figura 6: Modelo de blocos otimizado.....	30
Figura 7: Comparação ente reconciliação reativa e proativa	32

Lista de tabelas

Tabela 1- Erros de amostragem	15
Tabela 2 - Fases de implementação do ore control.....	34

Sumário

1	Introdução	9
	<i>Justificativa</i>	10
2	Objetivos	11
2.1	Objetivo Geral	11
2.2	Objetivos específicos	11
3	Metodologia	12
4	Estado da arte	13
4.1	Introdução	13
4.2	Amostragem	14
4.2.1	Os erros de amostragem	14
4.3	Mapeamento geológico e registro de dados	21
4.3.1	Mapeamento geológico	21
4.3.2	Base de dados	22
4.4	Laboratório	23
4.4.1	Atribuível	24
4.4.2	Legível	24
4.4.3	Contemporâneo	25
4.4.4	Original	25
4.4.5	Preciso	26
4.5	Grantia e controle de qualidade (<i>Quality Assurance/Quality Control</i>)	26
4.6	Verificação e validação dos dados	27
4.6.1	Uso dos dados para controle da operação de lavra	28
4.7	Reconciliação e melhoria contínua	31
5	Resultados e discussões	34
6	Considerações finais	37
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

1 Introdução

A amostragem e a reconciliação são duas técnicas ou práticas essenciais para a indústria mineral e são praticadas na maioria das empresas de mineração do mundo. Uma técnica se baseia na ou depende da outra e, consequentemente, a eficiência de uma resulta na melhoria da outra. Fundamentalmente, a reconciliação pode ser definida como a comparação entre uma estimativa e uma medição, por exemplo, entre os teores de minério estimados pelos modelos (estimativa) e os teores alimentados ou produzidos na usina de beneficiamento (medição). (Chierigati, 2025).

A reconciliação na mineração é, essencialmente, o processo de identificar, analisar e gerenciar a variação entre os resultados planejados e os reais, de tal forma que destaque oportunidades para melhorar o desempenho de uma mina. Os autores consideram que, independentemente de a reconciliação ser negativa ou positiva, identificar e gerenciar a variação permite que a gestão da mina tome decisões prudentes, oportunas e informadas. (Hargreaves e Morley, 2014).

A aplicação correta do controle de teores permitirá confiança no cumprimento do plano de lavra, incluindo a retomada das pilhas de estoque (*stockpiles*) pertinentes para fornecer a qualidade exigida de alimentação de minério para a usina de beneficiamento ou para embarque. Em qualquer operação de mineração, minério e estéril devem ser definidos de forma eficaz para garantir uma alimentação de usina econômica. O controle de teores é, portanto, essencial para uma operação de mineração eficiente e econômica, com indicadores-chave de desempenho (KPIs) incluindo a definição de minério e estéril, diluição mínima e recuperação ideal (Dominy e Minnitt, 2014)

De acordo com Chierigati, 2025 a reconciliação deve ser um processo proativo ao invés de reativo, para que a equipe de engenharia aja antes de qualquer problema aparecer, tendo estabelecido esse processo do começo ao fim, uma das etapas mais importantes é o controle de teor ou *ore control*, é esse o foco deste trabalho.

Justificativa

De acordo com o relatório MINE 2025: *Concentrating on the future*, produzido pela PricewaterhouseCoopers (PwC), apesar da mineração ser uma atividade essencial e estar presente no dia a dia de todos, nas construções, agricultura, meios de locomoção, energia, entre outras, as companhias de mineração estão enfrentando desafios devido a um mundo fragmentado por tensões geopolíticas mudando toda a cadeia de valor e o risco do negócio.

Ainda de acordo com relatório da PwC, com exceção das empresas mineradoras de ouro, as 40 maiores mineradoras do mundo tiveram em 2024 uma redução de 3% no faturamento total e de até 10% no EBITDA (*earnings before interests, taxes, depreciation and amortization*), o que representa uma pressão sobre o caixa dessas empresas.

Sendo assim, a gestão e o planejamento eficientes da exploração do recurso mineral deixam de ser diferenciais no mercado de hoje, passando a ser ferramenta fundamental para a sobrevivência das empresas de mineração, sejam elas grandes ou pequenas. Segundo Chierigati (2025) o processo de reconciliação pode ser usado para aumentar valor em cada etapa do processo de exploração de um bem mineral, sendo um indicador chave para definir se o recurso está sendo bem aproveitado.

2 Objetivos

2.1 Objetivo Geral

Realizar um estudo de revisão da literatura para identificar as principais técnicas de *ore control* avaliando sua aplicabilidade, eficiência, deficiências e possíveis impactos no controle da exploração de uma reserva mineral.

2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

A – Revisar os fundamentos teóricos de reconciliação e *ore control*.

B – Analisar os principais benefícios de se ter um processo eficiente de *ore control* na operação cotidiana de uma mina.

C – Avaliar as principais vantagens e os principais desafios de se estabelecer um processo de *ore control*.

3 Metodologia

Para elaboração deste trabalho a abordagem escolhida foi a revisão bibliográfica, ou seja, com o objetivo de coletar, analisar e sintetizar o referencial teórico disponível sobre *ore control*. Por meio da consulta a literatura técnica e acadêmica, o estudo estruturou uma visão panorâmica e aprofundada a respeito dos processos vigentes de controle de teores.

A fim de assegurar um levantamento consistente, foram empregados diferentes termos de busca como “*ore control*”, “*state of art*”, “*reconciliation*”, “*QA/QC in ore control*”, “*theory of sampling applied to ore control*”. A partir disso, artigos foram lidos e analisados permitindo a classificação entre conhecimento generalizado e aplicado, permitindo avaliar as diferentes técnicas de controle de teor sendo utilizadas ou teorizadas em minas ao redor do mundo. Avaliando a aplicação a diferentes tipos de minérios e controles geológicos. Além disso, autores referências no assunto como Gy, Chierigati, Pitard, Dominy, Parker, Morley e suas referências também foram pesquisados.

A partir da leitura desses artigos, foi feita análise crítica sobre as etapas necessárias para desenvolver um protocolo adequado de *ore control*, os principais desafios ao implementar esse procedimento na cadeia produtiva de uma empresa, e por fim, os benefícios e vantagens. Entretanto, os principais resultados encontrados não foram da implementação de um protocolo de controle de teores, e sim da otimização de processos já existentes.

4 Estado da arte

4.1 Introdução

Um bom protocolo de *ore control* fornece ao engenheiro de minas uma base para se tomar decisões de curto prazo. A classificação de minério/estéril dentro de uma mina, e principalmente dentro de um planejamento de curto prazo, é essencial para sua operação, tanto no sentido financeiro como operacional.

Conforme salienta Morley (2014), o conjunto de dados gerado no ore control serve como fonte de atualização contínua para a operação, alimentando não apenas a delimitação de frentes de lavra, mas também a revisão dos modelos de blocos, do projeto de cava e do planejamento de lavra.

Autores como Harding *et al* (2022) e Dimitrakopoulos *et al* (2014) buscam, respectivamente, estabelecer o valor da informação da classificação precisa de minério e estéril e a classificação econômica de minério e estéril por meio de funções de perda e maximização dos lucros.

De acordo com Dominy (2010) um protocolo de controle de teor deve ter 7 fases, sendo elas:

1. coleta, transporte e segurança das amostras;
2. mapeamento geológico e registro de dados;
3. envio ao laboratório, preparação, ensaios e emissão de relatório;
4. QA/QC (garantia e controle de qualidade) baseado na mina;
5. tratamento, verificação, e validação dos dados;
6. uso dos dados em tempo hábil para o controle de operação de lavra;
7. *feedback* e melhoria contínua do processo.

4.2 Amostragem

De acordo com Pitard (2019) e Chierigati (2025), Pierre Gy define a amostragem como um processo de redução de massa do montante a ser representado, ou seja, é um conjunto de operações que visa manter as características principais do todo (população, corpo mineral ou um lote). As amostras S (sample) são retiradas do universo ou lote L em instantes ou em locais diferentes. O universo é o conjunto de todos os resultados possíveis de uma dada variável aleatória, e a amostra é um conjunto reduzido de observações tomadas desse universo.

Devido ao fato de a amostra constituir apenas uma parcela do universo amostrado, as etapas de coleta e preparação geram desvios inevitáveis. A Teoria da Amostragem de Pierre Gy busca controlar esses desvios mediante a análise das características do material e do processo de seleção, definindo equipamentos e procedimentos capazes de eliminar os erros sistemáticos e minimizar os erros aleatórios (Chierigati, 2025).

A fase de amostragem é a mais crítica para o protocolo de *ore control*. Nessa fase as frentes de lavra serão caracterizadas corretamente como estéril ou minério e posteriormente, lavradas e destinadas ao local correto, seja pilha de estéril, pilha de estoque ou planta de beneficiamento.

4.2.1 Os erros de amostragem

De acordo com Gy (1988) são 13 os erros de amostragem, definidos como erros sistemáticos (erros que podem ser eliminados) e erros aleatórios (erros que podem ser minimizados), destacados na tabela 1:

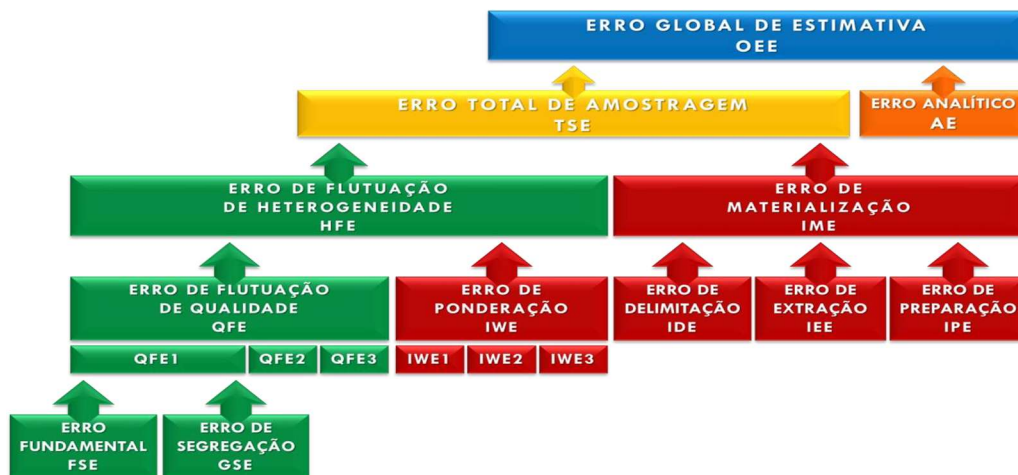
Tabela 1-Erros de amostragem

NOME DO ERRO	NOTAÇÃO (em inglês)
ERRO GLOBAL DE ESTIMATIVA <i>OVERALL ESTIMATION ERROR</i>	OEE
ERRO TOTAL DE AMOSTRAGEM <i>TOTAL SAMPLING ERROR</i>	TSE
ERRO FUNDAMENTAL DE AMOSTRAGEM <i>FUNDAMENTAL SAMPLING ERROR</i>	FSE
ERRO DE SEGREGAÇÃO E AGRUPAMENTO <i>GROUPING AND SEGREGATION ERROR</i>	GSE
ERRO DE FLUTUAÇÃO DE HETEROGENEIDADE <i>HETEROGENEITY FLUCTUATION ERROR</i>	HFE
ERRO DE FLUTUAÇÃO DE QUALIDADE <i>QUALITY FLUCTUATION ERROR</i>	QFE
ERRO DE PONDERAÇÃO DO INCREMENTO <i>INCREMENT WEIGHTING ERROR</i>	IWE
ERRO DE MATERIALIZAÇÃO DO INCREMENTO <i>INCREMENT MATERIALISATION ERROR</i>	IME
ERRO DE DELIMITAÇÃO DO INCREMENTO <i>INCREMENT DELIMITATION ERROR</i>	IDE
ERRO DE EXTRAÇÃO DO INCREMENTO <i>INCREMENT EXTRACTION ERROR</i>	IEE
ERRO DE PREPARAÇÃO DO INCREMENTO <i>INCREMENT PREPARATION ERROR</i>	IPE
ERRO ANALÍTICO <i>ANALYTICAL ERROR</i>	AE
EFEITO PEPITA <i>IN SITU</i> <i>IN SITU NUGGET EFFECT</i>	INE

Fonte: Modificada de Chierregati (2025).

Segundo Gy (1988) todas as variâncias dos erros mencionados na tabela 1 são somadas de modo a se obter a variância do erro global de estimativa, ou seja, os efeitos dos erros são cumulativos no resultado da amostragem.

Figura 1: Componentes do Erro Global de Estimativa



Fonte: Chierigati (2025)

Chierigati (2025) definiu os erros como sendo compósitos um do outro, sendo que no final chega-se ao erro total de amostragem e ao erro global de estimativa, como representado na figura 1. Ressaltando os erros da figura 1 QFE e IWE, os índices significam que esses erros podem ocorrer várias vezes dentro de uma mesma amostragem.

Segundo Chierigati (2025) destacados em verde estão os erros aleatórios (incertezas), os quais não podem ser eliminados, e em vermelho os erros sistemáticos que podem ser eliminados.

Erro fundamental de amostragem (Fundamental sampling error, FSE)

Erro fundamental, resultante da heterogeneidade de constituição do material. depende fundamentalmente da massa da amostra e, em menor instância, do material amostrado. É o erro que se comete quando a amostragem é realizada em condições ideais (Góes, Luz e Possa, 2010).

Geralmente esse erro tem uma média insignificante e é caracterizado por sua variância, calculada relativamente ao teor real do lote, utilizando-se uma fórmula muito conhecida, chamada de “fórmula de Gy”:

$$S_{FSE}^2 = \left(\frac{1}{M_S} - \frac{1}{M_L} \right) * c * g * f * \ell * d^3$$

onde S_{FSE}^2 é a variância relativa Erro Fundamental de Amostragem; M_S é a massa da amostra (dada em gramas), M_L é a massa do lote (dada em gramas); c (fator constituição mineralógica), g (fator granulometria), f (fator forma), ℓ (fator liberação) e d^3 (o d_{95} do material elevado ao cubo). (Chierigati, 2025).

Erro de segregação e grupamento (Grouping and segregation error, GSE)

Segundo Pitard (2019) pode-se definir o erro de segregação e grupamento como uma parte complementar do erro fundamental de amostragem (FSE) dentro do erro de flutuação da heterogeneidade (HFE). Pode-se dizer que o FSE é consequência da constituição da heterogeneidade e que o GSE é consequência da distribuição dessa heterogeneidade. A equação para calcularmos sua variância é:

$$S_{GSE}^2 = \gamma \xi S_{FSE}^2$$

Em que S_{GSE}^2 é a variância do erro de segregação e grupamento, γ é o fator de grupamento, adimensional, sempre positivo proporcional ao tamanho dos incrementos que compõe a amostra, ξ varia de 0 a 1 e representa a segregação da amostra e S_{FSE}^2 é a variância do erro fundamental de amostragem.

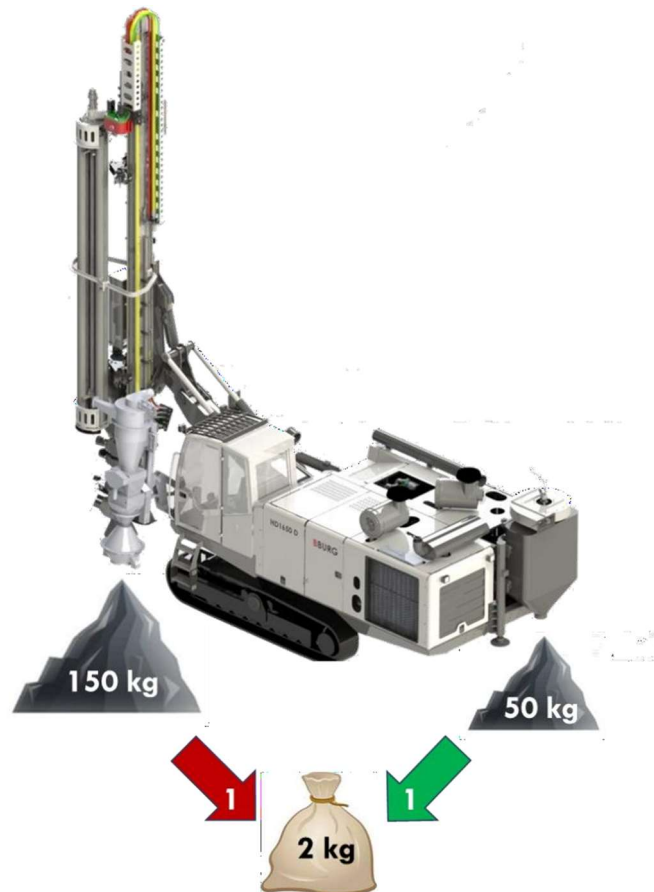
Erro de ponderação (Increment weighting error, IWE)

A seleção correta de qualquer amostra composta deve respeitar a proporcionalidade mássica dos incrementos que a compõem. Um exemplo típico é a composição de uma amostra de pó de perfuratriz a partir do material descarregado pelo *underflow* (fragmentos mais densos e mais grossos) e pelo *overflow* (fragmentos menos densos e mais finos) do ciclone acoplado à perfuratriz. A amostra composta deve respeitar a proporcionalidade mássica do lote inicial, agora dividido entre *underflow* e *overflow*. (Chierigati, 2025)

Sendo assim, segundo Chierigati (2025), temos os erros que compõe o erro de flutuação da heterogeneidade (HFE), sendo eles o FSE e GSE, que juntos fazem o erro de flutuação da qualidade (QFE) que combinado com o IWE forma

o HFE. Na figura 2 temos o IWE ilustrado.

Figura 2: Composição incorreta da amostra



Fonte: Chierigati (2025)

A figura 2 representa a composição da amostra sendo coletados 1kg de cada pilha, nesse caso, o correto para compor uma amostra de 2 kg, é coletar 1,5 kg da pilha do underflow (150 kg) e 0,5 kg da pilha do overflow (50 kg).

Erro de delimitação (IDE)

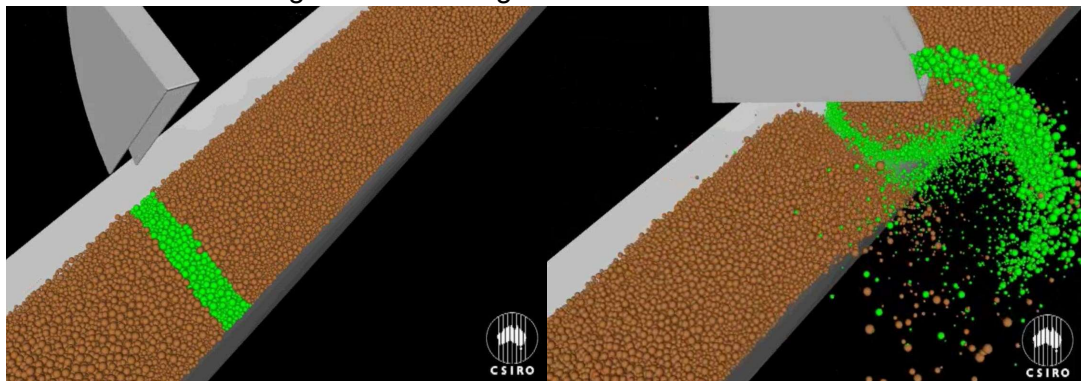
A delimitação do incremento pode ser entendida como uma demarcação que define os limites do incremento amostral. O Erro de Delimitação do Incremento (IDE) ocorre sempre que esta delimitação não for equiprobabilística, ou seja, quando a delimitação não proporciona chances iguais de amostragem a todos os fragmentos pertencentes ao lote. O Erro de Delimitação do

Incremento é um dos principais e mais comuns erros associados à geração de viés de amostragem, mas, afortunadamente, é também o mais fácil de ser identificado e corrigido. (Chierigati, 2025). Por exemplo a mostragem por trado em uma caçamba de caminhão, não existe uma amostragem ideal nessas condições pois, as partículas não tem a mesma probabilidade de serem coletadas.

Erro de extração (IEE)

Assim, após garantir a melhor delimitação é necessário definir o modo de extração, sendo que os erros neste processo são originados pela interação entre o material a ser amostrado e as ferramentas utilizadas no processo, gerando uma diferença entre o real e o realizado. Segundo Villanova (2018) "em amostras de canaletas, raramente é possível anular esse erro, devido ao uso de ferramenta inadequada, à perda ou à retirada excessiva de material". Como visto na figura 3, em que partículas do material não foram coletadas, uma parte ficou na correia e outra foi lançada para fora no movimento do amostrador.

Figura 3: Amostragem realizada em correia



Fonte: Chierigati, 2025

Erro de preparação (IPE)

Segundo Chierigati e Pitard (2018), as etapas de preparação de amostras incluem todas as operações que sucedem a extração da amostra primária e que antecedem a análise química. Essas etapas não são consideradas

operações de amostragem, pois a massa do incremento ou da amostra não muda (ou não deveria mudar), e é importante diferenciá-las das etapas de seleção ou de amostragem, quando a massa do incremento muda. As etapas de preparação podem ser classificadas em diversas categorias:

1. Transferência da amostra do ponto de amostragem para um sistema de transporte, podendo ou não ser uma operação contínua.
2. Transferência da amostra do sistema de transporte para a próxima etapa de amostragem ou de preparação.
3. Etapas de cominuição (britagem, moagem, pulverização), cuja função é diminuir o tamanho e aumentar o número de fragmentos.
4. Operações de peneiramento a úmido ou a seco.
5. Operações de secagem, necessárias para minimizar a obstrução do circuito de amostragem por material úmido e pegajoso.
6. Filtragem de polpas para separação sólido-líquido.
7. Operações de homogeneização.

Nota-se que nenhuma dessas operações é de seleção, entretanto, elas podem alterar seletivamente a composição da amostra e, assim, enviesar os resultados. Erros de preparação são inerentes ao projeto, construção, operação e manutenção de equipamentos de amostragem e geralmente são erros não intencionais que resultam de negligência, falta de informação e falta de cuidado; raramente resultam de fraudes e sabotagem. Os erros de preparação incluem:

1. Erros por contaminação.
2. Erros por perda de material.
3. Erros gerados pela mudança na composição química.
4. Erros gerados pela mudança na composição física.
5. Erros gerados por falta de treinamento.
6. Erros resultantes de fraude e sabotagem.

Fazendo a junção do IPE, IDE e IEE temos o erro de materialização (IME), que combinado com o HFE, temos o erro total amostragem (TSE).

Erro analítico (AE)

O erro analítico se refere a incerteza inerente a qualquer equipamento de análise. É um erro impossível de ser eliminado.

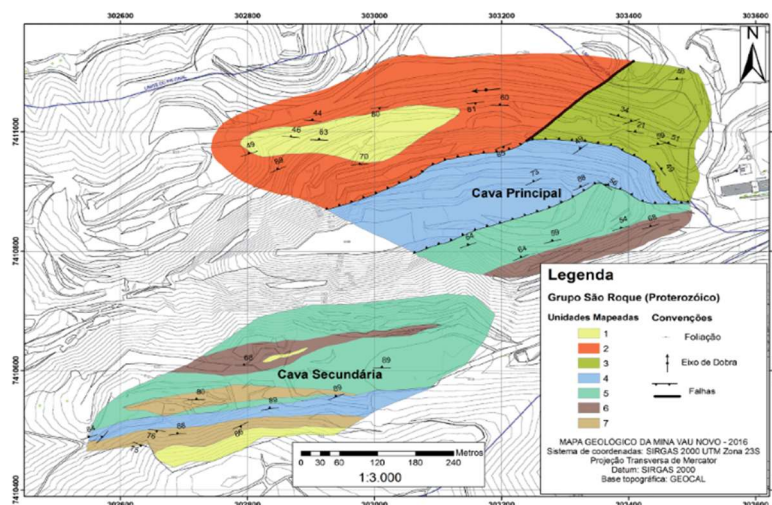
O AE combinado com o TSE forma o erro global de estimativa (OEE).

4.3 Mapeamento geológico e registro de dados

4.3.1 Mapeamento geológico

Quaisquer amostras coletadas precisam ser inseridas em um contexto geológico e espacial. Esta é a razão para existir um sistema de mapeamento e descrição (*logging*) que suporte a coleta, o armazenamento e a interpretação consistentes e regulares de dados geológicos. As informações geológicas precisam ser publicadas em formatos úteis para outros usuários, como engenheiros geotécnicos, engenheiros de minas e metalurgistas, como visto na figura 4 da mina Vau Novo em Santana do Parnaíba, SP.

Figura 4: Mapeamento geológico mina Vau Novo



Fonte: Pires, Viana e Campanha (2016)

Boas práticas

Rose e Fahey (2014) sugerem como boas práticas:

1. É importante utilizar uma legenda de mapeamento comum, a qual deve ser um extrato da legenda padronizada da empresa.
2. Determinar as feições geológicas que afetam a mineralização e focar no mapeamento e registro dessas feições, o que incluirá litologia, mineralização, alteração e estrutura.
3. Em minas subterrâneas, todo o desenvolvimento e galerias de lavra (*ore drives*) devem ser mapeados.
4. Em minas a céu aberto, todas as paredes da cava (*pit*) devem ser mapeadas, além de se manter uma sequência adequada do mapeamento de frentes e pisos.
5. O mapeamento deve ser plotado em mapas base geológicos.
6. Os mapas base geológicos devem apresentar tanto a geologia de fato (*fact geology*) quanto a geologia interpretada.
7. O mapeamento pode se tornar mais eficiente com o uso de técnicas fotogramétricas mais recentes.
8. O mapeamento deve ser feito em uma escala apropriada e com localização precisa.

4.3.2 Base de dados

De acordo com Rose e Fahey (2014) todos os dados a serem inseridos no banco de dados devem ser filtrados para garantir a validade. Deve haver verificações sobre o tipo de dados e limites nos dados que podem ser inseridos, bem como regras sobre quem tem privilégios de entrada e edição de dados. O banco de dados de ensaios é um ativo significativo, portanto deve haver um procedimento de backup robusto, incluindo a manutenção de uma cópia fora do local. Pode ser vantajoso ter o banco de dados independente do software de

planejamento da mina. Isso significa que pode ser mais fácil usar os dados em outros softwares e que os dados não estão em um formato proprietário. O banco de dados de controle de teor deve incluir um subconjunto dos dados de perfuração de exploração que cobre a área da mina.

Boas práticas

As boas práticas sugeridas por Rose e Fahey (2014), são:

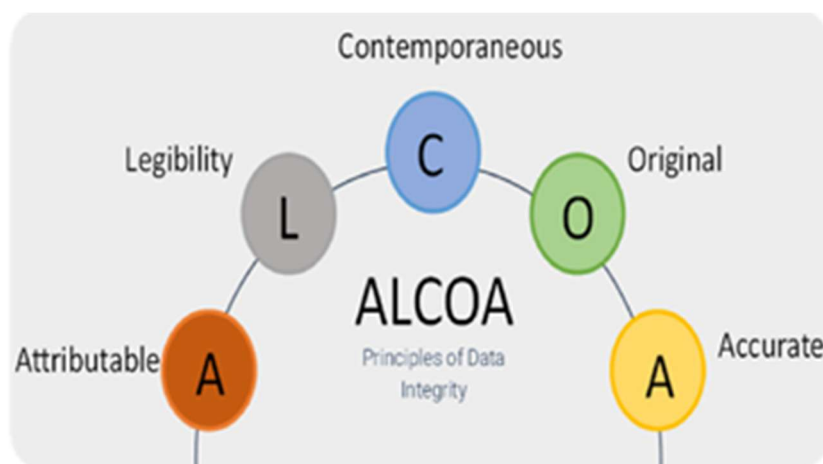
1. Baseie a estrutura do banco de dados de controle de teor na estrutura do banco de dados de exploração, mas use uma redução apropriada de todos os campos e legendas disponíveis.
2. Restrinja quem tem direitos de carregamento e edição no banco de dados.
3. Garanta que quaisquer erros sejam corrigidos no banco de dados mestre, em vez de apenas em uma exportação local.

4.4 Laboratório

Segundo Gokulakrishnan e Venkataraman (2024) a integridade dos dados refere-se à precisão, consistência e confiabilidade dos dados em um banco de dados ou em qualquer outro sistema de armazenamento de informações. Ela confirma que a informação não se altera, quer esteja sendo transmitida, armazenada ou recuperada. Empresas e organizações devem proteger a integridade dos dados e tomar decisões bem-informadas, fundamentadas em informações precisas. Também pode se referir a quão confiáveis, precisos, consistentes e abrangentes os dados são ao longo de sua existência.

Dentro de um laboratório a integridade dos dados segue o princípio ALCOA, que significa *attributable* (atribuível), *legible* (legível), *contemporaneous* (contemporâneo), *original* (original) e *accurate* (preciso), como mostrado na figura 5.

Figura 5: Esquema mostrando a estratégia ALCOA (Atribuível, Legível, Contemporâneo, Original e Preciso)



Fonte: Gokulakrishnan et al. (2024)

4.4.1 Atribuível

A identidade da pessoa que criou os dados deve ser conhecida a partir das informações geradas ou coletadas, o que, por sua vez, garante a responsabilidade. Isso fornece um registro de quem fez, o quê e quando.

Exemplo: A pessoa que realiza o teste deve assinar e datar os resultados do teste durante um ensaio de aprovação. Em um ambiente de laboratório, cada registro em um caderno de laboratório deve ser assinado ou identificado de outra forma com o nome do cientista que realizou o experimento. (Gokulakrishnan,Venkataraman, 2024).

4.4.2 Legível

Dados legíveis nem sempre são óbvios, mesmo na era digital. Garantir registros que sejam legíveis e persistentes é de fato crucial para otimizar a acessibilidade dos dados ao longo de sua existência. Isso também se aplica aos metadados que podem ser registrados para apoiar um registro eletrônico e que

sejam legíveis por humanos. É muito importante notar que os registros em papel também devem ser controlados para evitar a recriação não autorizada, e todos os registros devem ser claros e legíveis para aqueles que estão autorizados a revisá-los.

Exemplo: Anotações manuscritas devem ser organizadas e legíveis. Os registros eletrônicos também devem ser apresentados em um formato claro e legível. Se um erro for cometido em um registro escrito, ele deve ser riscado de forma limpa com uma única linha, e a correção deve conter rubrica e data. Jargões e termos coloquiais devem ser evitados, pois estão sujeitos a mudanças ao longo do tempo e de um lugar para outro, além de muitas vezes não serem compreensíveis em determinada região. (Gokulakrishnan,Venkataraman, 2024).

4.4.3 Contemporâneo

Os dados devem ser registrados apenas no momento da observação ou ação. A documentação atrasada pode introduzir erros ou imprecisões e também pode levar a comprometer a qualidade e a precisão dos dados. Exemplo: Em ensaios clínicos, os dados do paciente devem ser registrados em tempo real conforme as observações são feitas, em vez de serem documentados posteriormente. Os registros devem ser feitos em tempo real ou o mais próximo possível do evento. Registrar dados em tempo real reduz o risco de erros de memória e, ao mesmo tempo, garante a exatidão da informação. (Gokulakrishnan,Venkataraman, 2024).

4.4.4 Original

Refere-se a dados primários. Os dados precisam ser documentados em seu formato original, e quaisquer edições ou alterações devem ser reconhecidas e explicadas. Isso ajuda a resguardar a confiabilidade dos dados.

Exemplo: Durante o processo de fabricação, os registros de lote originais devem ser mantidos intactos e não alterados. Quaisquer correções ou emendas devem ser feitas por meio de procedimentos adequados e documentadas apropriadamente. Deve-se garantir que os resultados dos testes de validação sejam documentados no protocolo autorizado.

Se a versão inicial dos dados for manuscrita e tiver que ser salva em formato eletrônico, certifique-se de que uma "cópia fiel" seja criada. A cópia deve ser transferida para o sistema de computador somente após a verificação da exatidão das informações. Transcrever os resultados em um caderno para posterior transcrição pode resultar em erros. (Gokulakrishnan,Venkataraman, 2024).

4.4.5 Preciso

Os dados devem refletir com precisão a realidade do que ocorreu. Eles devem ser precisos e verdadeiros ao refletir as observações ou medições reais. Este princípio enfatiza a importância da precisão e da exatidão no registro de dados.

Exemplo: Se uma balança for usada para medir o peso de uma substância, o peso registrado deve refletir a medição real, evitando erros de arredondamento ou imprecisões.

Todas as medições e observações devem ser precisas e fiéis aos valores reais. A calibração regular de instrumentos e a validação de métodos contribuem para a precisão dos dados. (Gokulakrishnan,Venkataraman, 2024).

4.5 Garantia e controle de qualidade (*Quality Assurance/Quality Control*)

Garantia da qualidade e controle de qualidade são os dois componentes principais de qualquer sistema de gestão da qualidade. A ISO (1994) define garantia da qualidade como "o conjunto de todas as ações planejadas e sistemáticas necessárias para fornecer a confiança adequada de que um produto, processo ou serviço satisfará determinados requisitos de qualidade", e controle de qualidade como "as técnicas e atividades operacionais que são usadas para satisfazer os requisitos de qualidade". (Traduzido de Méndez, 2011).

Ainda de acordo com Méndez (2011) pode-se classificar o protocolo de QA/QC como:

Excelente: quando precisão, acurácia e contaminação são monitorados em tempo real, utilizando uma seleção de amostra controle e procedimentos adequados e compreensíveis, além disso a tomada de medidas de correções apropriadas se necessárias.

Aceitável: quando precisão, acurácia e contaminação são parcialmente monitorados em tempo real, com uma incompleta, mas ainda razoável seleção de amostra controle, utilizando procedimento apropriados e aplicando medidas de correção às vezes.

Inadequado: quando precisão, acurácia e contaminação são parcialmente monitorados com a seleção de amostra controle limitada, procedimentos inadequados e a não aplicação de medidas de correção.

Inexistente: quando não há um programa de QA/QC.

Conforme respaldado por Shaw et al. (2006) e Cuchierato (2022), a estrutura de garantia da qualidade (QA) exige a formalização de protocolos detalhados que regem todas as etapas de amostragem, preparação de amostras, ensaios e análises, integrando também as diretrizes de controle de qualidade (QC). Depreende-se dessa premissa que a validação eficaz de um programa de QA/QC depende do estabelecimento de rotinas padronizadas ao longo de todo o fluxo de aquisição de dados, especificando claramente o modo e a frequência de inserção dos materiais de controle para assegurar a reprodutibilidade metodológica em todo o processo.

4.6 Verificação e validação dos dados

Para planejar bem o trabalho em uma mina, é fundamental contar com dados geológicos confiáveis. Segundo Rahm e Do (2000), para ter dados limpos é preciso seguir etapas simples: encontrar os erros, corrigir, testar as mudanças e

atualizar a base de dados original. Na rotina da mineração, esse cuidado evita que falhas no sistema atrapalhem as decisões do dia a dia.

É a partir desses dados organizados que os geólogos elaboram os planos de lavra diários, semanais e mensais descritos por Fahey e Rose (2014), definindo pontos como amostragem, volume e teor do minério. Além do cuidado com os dados no computador, a operação exige validação humana: antes de ir para o campo — seja em minas subterrâneas ou a céu aberto —, as instruções e os planos de escavação precisam ser revisados por outros profissionais (*peer review*) e aprovados oficialmente.

Essa combinação de dados corrigidos com revisão humana garante decisões mais seguras na mina. Com isso, a equipe consegue definir com precisão a mistura ideal de minério para o britador (*blend*), acompanhar variações na dureza da rocha e dar o destino correto ao estéril, evitando contaminações por componentes prejudiciais.

4.6.1 Uso dos dados para controle da operação de lavra

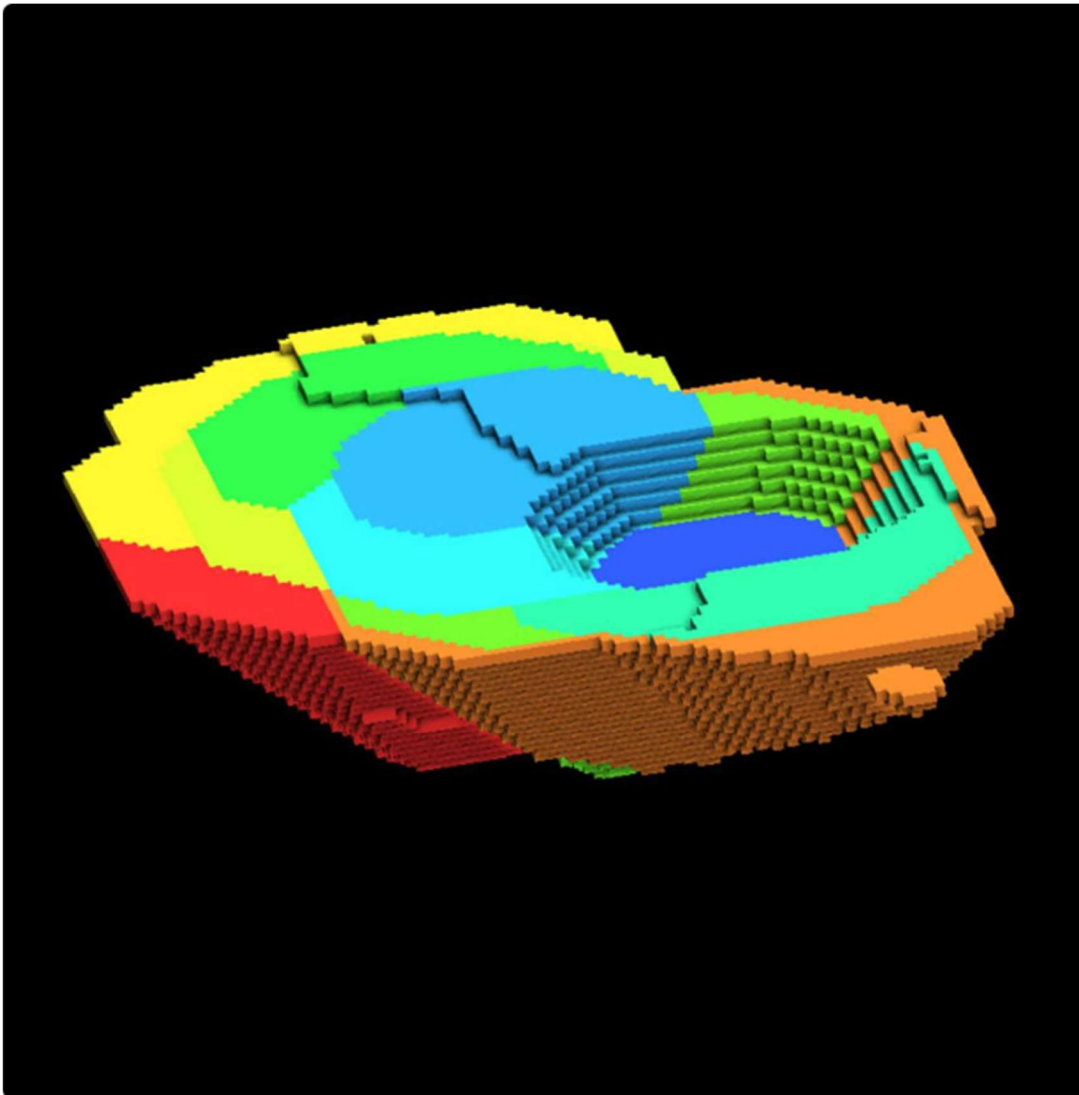
O planejamento de lavra de curto prazo constitui o pilar para a maximização dos resultados financeiros de um empreendimento mineiro, devendo atuar alinhado às diretrizes estratégicas da corporação. Conforme compilado por Malundamene et al. (2024), a principal diferença do planejamento de curto prazo frente aos planos de médio e longo prazo reside na discretização temporal, operando tipicamente em horizontes inferiores a um ano, com extensões de até dois anos (Blom et al., 2019). O objetivo central dessa etapa é operacionalizar as metas do plano de vida da mina, gerando o maior fluxo de caixa e Valor Presente Líquido (VPL) possíveis (Juarez *et al.*, 2014; King, 2014; Otto; Musingwini, 2020), ao mesmo tempo em que minimiza custos e atinge os alvos de produção (Jewbali e Dimitrakopoulos, 2018; Noriega e Pourrahimian, 2022). Para isso, incorporam-se análises matemáticas complexas, geoestatística avançada e *softwares* especializados (como Datamine RM, Datamine UG e NPV Scheduler), otimizando as operações cotidianas. Além disso, a gestão de curto

prazo coordena equipamentos e recursos em escalas mensais, semanais, diárias ou por turno (Noriega e Pourrahimian, 2022), de modo que a eficiência na alocação da frota de escavação e transporte dependa diretamente da eficácia das estratégias de despacho de caminhões.

O controle de teores é necessário em quase todos os ambientes de mineração, principalmente para garantir que o material alimentado na usina de processamento ou transportado para o mercado represente o melhor resultado possível no momento da lavra para a geração de receita e limitação de perdas para os proprietários. Trata-se predominantemente de um empreendimento econômico no qual as etapas fundamentais do processo devem ser projetadas para agregar valor ao todo. Embora a etapa de definição de recursos nos estudos de viabilidade foque no estabelecimento da confiabilidade global da estimativa de recursos para análises que levam à projeção de resultados financeiros como reserva, ela não fornece o nível de resolução necessário para orientar a lavra visando à otimização da produção e do fluxo de caixa em uma escala semanal ou mensal. Os sistemas naturais que se extraem na mineração geralmente exibem variabilidade, o que gera os desafios do controle de teores. A figura 6 exemplifica a classificação, dentro de uma mina, dos blocos de minério e estéril, bem como a variação de teor dentro dela, o protocolo de *ore control* serve para refinar essa classificação.

No controle de teores, é essencial obter uma noção de escala sobre a importância das tarefas realizadas turno a turno. Para atingir esse objetivo, os geólogos de mina precisam desenvolver a compreensão não apenas do teor ou da qualidade do produto que estão lavrando, mas também do valor monetário de cada carga de caminhão de minério. O cálculo não precisa ser complicado: **capacidade do caminhão × teor médio × recuperação esperada × valor atual (\$) do produto** geralmente é suficiente. Os profissionais e técnicos envolvidos no controle de teores também precisam entender os custos de lavra e tratamento dessa carga de caminhão de minério. Para garantir que o seu trabalho seja verdadeiramente lucrativo, essas questões não devem ser ignoradas. (Hoogvliet, Grieve e Sims, 2014 em tradução livre).

Figura 6: Modelo de blocos classificados de acordo com a sondagem de longo prazo.



Fonte: DESWIK (2025)

A principal função de um protocolo de ore control é a realização de uma lavra precisa, na qual as frentes de lavra são mapeadas e todo o material explotado sai com a classificação e a destinação correta, aumentando eficiência operacional e a produção da mina.

4.7 Reconciliação e melhoria contínua

De acordo com Chierregati (2025) e Morley (2003) no contexto da indústria mineral, reconciliação pode ser definida como a comparação entre uma estimativa (modelo de recursos, modelo de reservas, modelo de controle de teores) e uma medição (produção oficial da usina de beneficiamento ou da metalurgia). Os principais objetivos da reconciliação são:

1. Medir o desempenho da operação com base nas metas iniciais.
2. Garantir uma avaliação acurada dos ativos minerais.
3. Avaliar a eficiência das estimativas de massa e teor.
4. Fornecer indicadores de desempenho (em especial para o controle de teores).

Segundo Parker (2012) e Morley (2014) nos princípios da reconciliação proativa, os principais fatores de monitoramento do *ore control* são:

- **F1:** Reconciliação entre o modelo de longo-prazo e o modelo de curto-prazo.

$$F1 = \frac{\text{Depleções no modelo de curto prazo}}{\text{Depleções no modelo de longo prazo}}$$

As depleções no modelo de curto prazo são as comparações de material movimentado medido nas balanças dos caminhões ou nas correias transportadoras, associado com o teor sondado no curto prazo, enquanto as depleções no modelo de longo são, normalmente, a mesma massa, só que associada ao teor sondado e carimbado nas sondagens que desenvolveram o modelo.

- **F2:** Reconciliação entre o entregue ao moinho e o recebido no moinho.

$$F2 = \frac{\text{Recebido no moinho}}{\text{Entregue ao moinho}}$$

No qual o entregue ao moinho é a produção da mina, com as massas e teores medidos nos caminhões (ou correias transportadoras) e nas

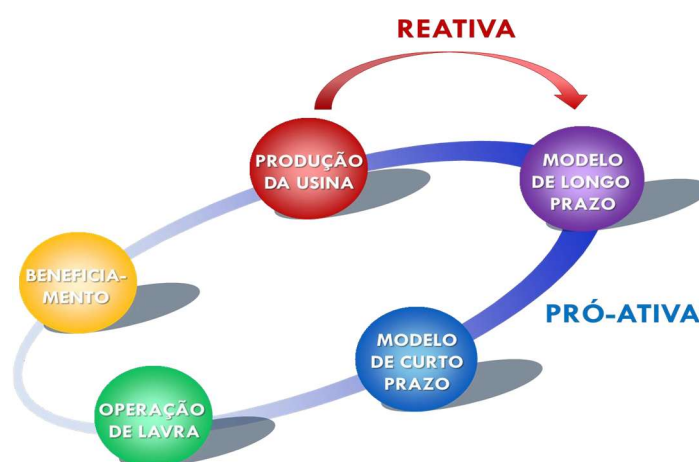
sondagens de curto prazo e o recebido no moinho são as toneladas e conteúdo de metal medido na usina por balanço de massa.

- **F3:** Reconciliação entre o moinho e as depleções no modelo de longo-prazo. Com alterações em relação ao entregue ao moinho, que junto com o material recuperado de pilhas de estoque deve cancelar com as depleções no modelo de curto prazo.

$$F3 = \frac{\text{Depleções no modelo de curto prazo}}{\text{Depleções no modelo de longo prazo}} \times \frac{\text{Recebido no moinho}}{\text{Entregue ao moinho}} = F1 \times F2$$

O principal objetivo de qualquer sistema de reconciliação não deve ser o de gerar fatores para corrigir estimativas, mas sim o de compreender as causas dos problemas e corrigir metodologias, técnicas, processos e equipamentos para que medições e estimativas se alinhem dentro de intervalos de tolerância aceitáveis. Este é o conceito de “prognosticação” ou “reconciliação pró-ativa” e resulta em benefícios significativos para a operação, fornecendo uma base para melhorias contínuas. (Chierigati, 2025). A figura 7 exemplifica como o antigo *mine call fator* era usado para corrigir estimativas de produção, e o protocolo de *ore control* gera valor na reconciliação entre a mina e a usina. Realizando-se a reconciliação entre cada etapa da lavra fica mais fácil mapear toda a operação e agir sobre os erros.

Figura 7: Comparação entre reconciliação reativa e proativa



Fonte: Chierigati (2025)

Segundo Morley (2014), o controle de teor (*grade control*) é frequentemente reduzido a uma responsabilidade exclusiva da geologia voltada apenas ao carimbo de teores em blocos de minério. No entanto, trata-se de uma atividade essencialmente multidisciplinar: geólogos, engenheiros de minas, topógrafos e equipes de operação e metalurgia precisam atuar de forma integrada para assegurar que todas as etapas — da delimitação e desmonte até a escavação, transporte, estocagem e alimentação da usina — sejam executadas com precisão e alinhadas ao planejamento.

Nesse contexto, Parker (2012) reforça que os dados operacionais atuam como a engrenagem principal da reconciliação proativa, permitindo identificar a raiz dos problemas e ajustar metodologias a custos adicionais mínimos. A eficácia dessa abordagem em transformar diagnósticos em melhoria contínua é evidenciada por resultados expressivos na indústria, como na mina de Greens Creek (Alasca), com a otimização da amostragem direta nas frentes de lavra; em Nchanga (Zâmbia), pela redução drástica da diluição não planejada em operações a céu aberto e subterrâneas; e em Stillwater (Montana), por meio da minimização da mistura indevida entre minério e estéril nas praças de remanejo (*re-muck bays*).

5 Resultados e discussões

As amostras de controle de teor devem ser reproduzíveis, isentas de vício, coletadas com segurança e em tempo operacional hábil. Esses aspectos têm impacto direto no controle de teor e em sua eficácia final. Recomendações-chave para o projeto e a implementação de um programa de amostragem de controle de teor (Tabela 1). Geólogos de mina e geotécnicos devem se esforçar para coletar amostras dentro do arcabouço da Teoria da Amostragem (TOS). (Dominy et al, 2010). Na tabela 2 são destacadas as principais fases de implementação de um protocolo de *ore control*.

Tabela 2 - Fases de implementação do ore control

Etapas	Objetivo	Ações
1. Caso de Negócio	Engajamento das partes interessadas (<i>stakeholders</i>)	Análise em alto nível do programa e do <i>business case</i>
2. Caracterização	Análise preliminar e concepção do programa de caracterização	Execução do programa de caracterização
3. Dimensionamento e Projeto	Análise e interpretação dos resultados da Etapa 2	• Considerar o corpo mineralizado, porte da mina e método de lavra
4. Implementação	Estruturação de sistemas e códigos de prática formalizados	• Projetar protocolos de amostragem dentro do arcabouço da Teoria da Amostragem (TOS) • Treinamento da gerência, equipe de geologia de mina e pessoal de produção
5. Monitoramento	Programa contínuo de QA/QC	• Revisão anual por pares (interna e/ou externa) dos sistemas • Revisão anual por pares (interna e/ou externa) dos indivíduos/equipe
6. Atualização	Treinamento contínuo e reciclagem	Revisão dos protocolos, se julgado necessário na Etapa 5 (retornar à Etapa 2 ou 3, conforme apropriado)

Fonte: Adaptado de Dominy et al, 2010

O controle de teor (*ore control*) e o processo de reconciliação atuam como o elo central que conecta a geologia, o planejamento de lavra e a operação diária da mina, garantindo a máxima extração do valor econômico do depósito. Sob a ótica dos fundamentos teóricos da reconciliação, é fundamental compreender que modelos de recursos de longo prazo e modelos de controle de teor de curto prazo possuem finalidades distintas. A adoção de ferramentas como a Análise

Integrada de Espaçamento de Furos (*Drill-Hole Spacing Analysis – DHSA*) permite mapear como o espaçamento de amostragem responde aos métodos geoestatísticos, viabilizando uma visão abrangente da incerteza ao longo de toda a vida útil da mina (Afonseca e Miguel-Silva, 2022). Paralelamente, a superação dos fatores fixos tradicionais por meio da mensuração probabilística da diluição em modelos simulados possibilita quantificar com precisão tanto a diluição operacional quanto os erros de classificação dos blocos de lavra, adaptando as malhas de amostragem às reais heterogeneidades do corpo mineralizado (Câmara *et al*, 2020; Faraj, 2024).

Na rotina operacional, a aplicação prática dessa inteligência geológica gera benefícios diretos para o desempenho produtivo da lavra. Ao identificar espacialmente as áreas com maior probabilidade de sofrerem diluição, a equipe de planejamento pode reorientar o sequenciamento de curto prazo e definir linhas de escavação (*dig lines*) mais seletivas (Câmara *et al*, 2020). Essa otimização é potencializada pela incorporação de tecnologias de automação e monitoramento em tempo real, como os sistemas SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) trata-se de uma arquitetura composta por hardware e software empregada na indústria para monitorar, coletar dados e controlar processos operacionais em tempo real, seja no local ou remotamente. Esse sistema, sendo usado em operações de perfuração, reduzem significativamente os desvios angulares dos furos, diminuem a diluição não planejada de taxas históricas de 25% para patamares entre 15% e 18% e previnem desmoronamentos da capa (*hanging wall*) (Gurumani, 2025). Como resultado direto, a usina de beneficiamento passa a receber um minério com teor médio superior, otimizando o processo metalúrgico e incrementando o rendimento econômico do projeto em até 8%, o que assegura um rápido retorno sobre os investimentos tecnológicos realizados (Faraj, 2024; Gurumani, 2025).

Apesar dessas vantagens expressivas, o estabelecimento de um processo eficiente de *ore control* impõe desafios estratégicos que precisam ser ponderados. A principal vantagem reside na elevada aderência entre os volumes e teores planejados e aqueles efetivamente executados, mitigando o transporte desnecessário de estéril e protegendo a margem do negócio. No entanto, o grande desafio operacional repousa sobre o dilema inevitável entre seletividade

e produtividade. Tentar eliminar completamente a diluição em operações altamente mecanizadas pode reduzir a taxa de escavação da frota de lavra, trazendo impactos negativos para o cumprimento das metas globais de movimentação da mina (Câmara *et al*, 2020). Por essa razão, quando o aumento da seletividade física não for operacionalmente viável, o maior trunfo do *ore control* passa a ser a utilização desses dados de diluição como fatores de calibragem dos planos de curto prazo, harmonizando o rigor técnico da amostragem com a eficiência produtiva do empreendimento.

Há de se considerar que a maioria dos resultados encontrados na literatura não trata da implantação de um protocolo de ore control, visto que, é considerado uma operação básica em qualquer empreendimento mineiro, a grande parte dos resultados aqui considerados se trata da otimização dos protocolos já existentes.

6 Considerações finais

A estruturação e a manutenção de um protocolo de *ore control* integrado a reconciliação representam bases estratégicas para a sustentabilidade e a rentabilidade de um empreendimento mineiro contemporâneo. Em um mundo com instabilidade geopolítica e pressão sobre as margens das mineradoras (PwC, 2025), a gestão eficiente do recurso mineral não é mais um mero suporte operacional e passa a atuar como ferramenta indispensável para uma empresa do setor. Este trabalho evidencia que o controle de teores não se resume a uma atribuição isolada da geologia e engenharia de minas, mas sim um fluxo multidisciplinar que conecta a amostragem, laboratório, geologia, engenharia de minas e o beneficiamento. (Morley, 2014).

A consolidação de um protocolo rigoroso de *ore control* contribui de maneira direta para:

- Melhorar a definição dos limites minério/estéril e reduzir perdas de minério: A aplicação da Teoria da Amostragem de Pierre Gy (Gy, 1988; Pitard, 2019), aliada ao mapeamento geológico detalhado (Câmara et al., 2020; Faraj, 2024) permite delimitar com precisão o corpo mineralizado e seus limites econômicos.
- Melhorar a aderência entre planejamento e produção: Utilizando os dados de *ore control*, fundamentados nos fatores F1, F2 e F3, permite identificar e tratar a causa-raiz dos eventuais desvios operacionais. (Parker, 2012; Morley, 2003; Chierigati, 2025)
- Apoiar decisões operacionais: A disponibilização contínua dos dados geológicos qualificados provê suporte essencial às equipes de planejamento e frente de lavra. (Fahey; Rose, 2014).

Segundo Dominy et al. (2010), apesar de todos os desafios impostos pela implementação do protocolo de *ore control*, entre eles o alto custo, treinamento de toda a equipe, melhoria contínua do processo, entre outros, a manutenção desse tipo de processo dentro da empresa proporciona retornos financeiros que superam amplamente os investimentos. É uma prática necessária que

transforma a incerteza geológica em previsibilidade operacional e ganho econômico sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFONSECA, B. C.; MIGUEL-SILVA, V. Defining optimal drill-hole spacing: A novel integrated analysis from exploration to ore control. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, v. 122, n. 6, p. 305-315, 2022.

BLOM, Michelle; PEARCE, Adrian R.; STUCKEY, Peter J. Short-term planning for open pit mines: a review. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, v. 33, n. 5, p. 318-339, 2019.

CÂMARA, Taís Renata; SCHEFFER LEAL, Ronald; DE LEMOS PERONI, Rodrigo. Accounting for operational dilution by incorporating geological uncertainties in short-term mine planning. *Dyna*, v. 87, n. 213, p. 178-183, 2020.

CHIEREGATI, Ana Carolina. Um guia brasileiro de boas práticas de amostragem e reconciliação para a indústria mineral. 2025. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

CHIEREGATI, Ana Carolina; PITARD, Francis F. Amostragem. Tratamento de minérios, 2018.

CUCHIERATO, Gláucia. A importância da qualidade da informação no processo de declaração de recursos minerais. 2022. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

DESWIK. Metais a céu aberto: soluções integradas para mineração a céu aberto. [S. l.]: Deswik, 2025. Disponível em: <https://www.deswik.com/pt-br/surface-metals>. Acesso em: 24 ago. 2026.

DIMITRAKOPOULOS, Roussos; GODOY, Marcelo. Grade control based on economic ore/waste classification functions and stochastic simulations: examples, comparisons and applications. *Mining Technology*, v. 123, n. 2, p. 90-106, 2014.

DOMINY, S. C.; I. M. Platten; Y. Xie; R. C. A. Minnitt. Underground grade control protocol design: case study from the Liphichi gold project, Larecaja, Bolivia. *Applied Earth Science*, v. 119, n. 4, p. 205-219, 2010.

DOMINY, S. C.; MINNITT, R. C. A. Design of grade control sampling programs for underground gold mines. In: *International Mining Geology Conference 2011*. 2011. p. 271-284.

FARAJ, Fouad. Grade control drillhole spacing and mining selectivity determination using high resolution simulations applied on distinctly heterogeneous open pit mines. *Mining Technology*, v. 133, n. 4, p. 369-382, 2024.

GÓES, M. A. C.; LUZ, A. B.; POSSA, M. V. Amostragem. In: LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A. (org.). Tratamento de minérios. 5. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. cap. 2, p. 23-53.

GOKULAKRISHNAN, Divya; VENKATARAMAN, Sowmyalakshmi. Ensuring data integrity: Best practices and strategies in pharmaceutical industry. Intelligent Pharmacy, 2024.

GURUMANI, Eustina et al. Real-Time Drilling Control for Hanging-Wall Stability: SCADA-Based Mitigation of Overbreak and Dilution in Long-Hole Stopping. Mining, v. 5, n. 4, p. 68, 2025.

GY, P. Hétérogénéité, échantillonnage, homogénéisation. Ensemble cohérent de théories. Paris: Masson, 1988. 607 p.

HARDING, B.; DEUTSCH, C. V. Drillhole spacing determination with value of information. CIM Journal, v. 13, n. 1, p. 38-51, 2022.

HARGREAVES, R.; MORLEY, C. Mining reconciliation—An overview of data collection points and data analysis. Mineral Resource and Ore Reserve Estimation; Australasian Institute of Mining and Metallurgy: Melbourne, Australia, p. 739-748, 2014.

HOOGLIET, H.; GRIEVE, A.; SIMS, D. A checklist for grade control. In: EDWARDS, A. C. (ed.). Mineral Resource and Ore Reserve Estimation: The AusIMM Guide to Good Practice. 2. ed. Carlton: The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 2014. (Monograph Series, n. 30). p. 189–198.

IVANOVIĆ, Milan D.; MAJSTOROVIĆ, Vidosav D. Model developed for the assessment of quality management level in manufacturing systems. The TQM Magazine, v. 18, n. 4, p. 410-423, 2006.

JEWBALI, A.; DIMITRAKOPOULOS, R. Stochastic mine planning—example and value from integrating long-and short-term mine planning through simulated grade control, Sunrise Dam, Western Australia. In: Advances in Applied Strategic Mine Planning. Cham: Springer International Publishing, 2018. p. 173-189.

JUAREZ, Guillermo et al. Open pit strategic mine planning with automatic phase generation. In: OREBODY MODELLING AND STRATEGIC MINE PLANNING SYMPOSIUM. Proceedings... AusIMM, Perth (WA). 2014. p. 24-26.

KHANNA, Vinod Kumar. 5 “S” and TQM status in Indian organizations. The TQM journal, v. 21, n. 5, p. 486-501, 2009.

KING, B. Modelling open pit and underground production scheduling in concert. In: Proceedings of orebody modeling and strategic mine planning, AusIMM, Perth, WA. Vol., No. Issue,(2014 of Conference). 2014. p. 369-373.

LIN, Chyun-Chau; LUH, Ding-Bang. A vision-oriented approach for innovative product design. Advanced engineering informatics, v. 23, n. 2, p. 191-200, 2009.

MÉNDEZ, Armando Simón. A discussion on current quality-control practices in mineral exploration. IntechOpen, 2011.

MORLEY, C. Beyond reconciliation: a proactive approach to using mining data. In: LARGE OPEN PIT MINING CONFERENCE, 5th, 2003, Kalgoorlie, WA. Conference proceedings [...]. Melbourne: AusIMM, 2003. p. 185–192.

MORLEY, C. Overview–Monitoring and exploiting the Reserve. Mineral Resource and Ore Reserve Estimation–The AusIMM Guide to Good Practice,, p. 647-658, 2014.

NORIEGA, Roberto; POURRAHIMIAN, Yashar. A systematic review of artificial intelligence and data-driven approaches in strategic open-pit mine planning. Resources Policy, v. 77, p. 102727, 2022.

OLIVÉ, Amanda Nogueira. Teste de heterogeneidade como método de otimização do protocolo de amostragem em um projeto de concentração de minério de ouro. 2019.

OLIVEIRA, José Augusto de et al. Um estudo sobre a utilização de sistemas, programas e ferramentas da qualidade em empresas do interior de São Paulo. Production, v. 21, n. 4, p. 708-723, 2011.

OTTO, T. J.; MUSINGWINI, C. A compliance driver tree (CDT) based approach for improving the alignment of spatial and intertemporal execution with mine planning at open-pit mines. Resources Policy, v. 69, p. 101826, 2020.

PARKER, H. M. Reconciliation principles for the mining industry. Mining Technology, v. 121, n. 3, p. 160-176, 2012.

PIRES, Bruno Henrique Gramulha; VIANA, Camila Duelis; CAMPANHA, Ginaldo Ademar da Cruz. Classificação geomecânica e análise de estabilidade de taludes da Mina Vau Novo (SP) com ênfase na análise de descontinuidades. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (RBGEA), v. 6, n. 1-2, p. 56-74, 2016.

PITARD, F. F. Theory of sampling and sampling practice. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 2019. 693 p.

PWC. Mine 2025: Concentrating on the future. [S. l.]: PwC, 2025. Disponível em: <https://www.pwc.com/gx/en/industries/energy-utilities-resources/publications/mine.html>. Acesso em: 15 maio 2026

RAHM, Erhard; DO, Hong Hai. Data cleaning: problems and current approaches. IEEE Data Engineering Bulletin, v. 23, n. 4, p. 3-13, 2000.

ROSE, S.; FAHEY, G. Effective grade control systems. Mineral Resource and Ore Reserve Estimation–The AusIMM Guide to Good Practice, p. 679-684, 2014.

SHAW, W. J.; GODOY, M. C.; LARRONDO, P. An approach to more objective classification of mineral resources. In: Proc. 6th Int. Min. Geol. Conf. Darwin: Australian Institute of Mining and Metallurgy, 2006. p. 85-89.

VASYLCHUK, Y. V.; DEUTSCH, C. V. Improved grade control in open pit mines. Mining Technology, v. 127, n. 2, p. 84-91, 2018.

VENKATRAMAN, S. A framework for implementing TQM in higher education programs. Quality Assurance in Education, v. 15, n. 1, p. 92-112, 2007. <http://dx.doi.org/10.1108/09684880710723052>

VILLANOVA, F. L. dos Santos Peixoto de. Estudo do erro fundamental de amostragem: uma comparação entre o teste de heterogeneidade e o teste da árvore no quartzo fumê na mina Iamégo (Sabará, MG). São Paulo, p. 80, 2018. 13, 15, 16, 17, 18, 30