

Tema: Lavra e Tratamento de minérios

## QUANTIFICAÇÃO DAS PERDAS E DILUIÇÕES DE MINÉRIO APLICADO AO PLANEJAMENTO DE LAVRA DE CURTO PRAZO EM MINA DE BAUXITA\*

Samanta Neves da Silva<sup>1</sup>  
João Felipe Coimbra Leite Costa<sup>2</sup>

### Resumo

Depósitos estratiformes são característicos por apresentarem irregularidades nos contatos entre minério e estéril, motivo que requer especial atenção no planejamento de lavra. No depósito de Bauxita em estudo, a definição da geometria da camada de minério é realizada por interpretação dos furos de sondagens com espaçamento médio de 200 metros. O modelo gerado dos contatos litológicos, comumente, não incorpora as oscilações em curtas distâncias das elevações (Z) entre furos, o que influencia na fase de modelamento geológico, logo, na previsão dos fatores de diluição e perdas de minério. Este trabalho propõe agregar dados de curta distância, aumentando as informações entre furos de sondagens e, a partir das medidas de cota no topo e base da camada de minério, melhor refletir a geometria do corpo de minério. Assim a metodologia se divide em: criar modelos de superfícies interpoladas irregulares de topo (SIT) e base (SIB), considerando as informações de curta distância; analisar elevações médias em cada superfície, a fim de pressupor superfícies planas de lavra no topo (SPT) e na base (SPB); verificar a amplitude entre essas superfícies - SITxSPT e SIBxSPB, mensurando os fatores de perdas e diluições de minério a partir da diferença entre as elevações. O produto final deste trabalho consistiu da quantificação dos fatores de diluição e perdas de minério, aplicadas ao planejamento de lavra de curto prazo, otimizando o aproveitamento dos recursos e, conseqüentemente, aumentando a vida útil da mina.

**Palavras-chave:** Depósitos estratiformes; Planejamento de lavra; Perdas e diluição de minério.

### QUANTIFICATION OF ORE LOSSES AND DILUTIONS APPLIED IN SHORT TERM MINE PLANNING IN BAUXITE MINE

#### Abstract

Stratiform deposits, in the large majority are characterized by irregular contacts between ore and waste, reason which requires special attention in the mining planning. In this case of bauxite deposit, the definition of the ore layer geometry is accomplished through the interpretation of boreholes with average spacing of 200 meters. A model of lithologic contacts generated, commonly, doesn't incorporate fluctuations of elevation (Z) in over short distances between the boreholes, which directly influences the phase of geological modeling, so predict bad values of dilution and ore losses. This study proposes aggregating data from short distance, increasing the information between the boreholes and from these new elevation measures at top and bottom of the ore layer, better reflect the reality of the ore body geometry. Thus the methodology is divided into: create irregular interpolated models of top (SIT) and bottom surfaces (SIB), considering the short distance information, analyses an average elevation, in order to assume flat mining surfaces of top (SPT) and base (SPB), verify the range between these surfaces, measuring the loss and dilution of ore factors through the difference between these elevations. The final product of this work is the quantification of dilution and ore loss factors, applied to short term mine planning to optimize the use of resources, so increasing the life of the mine.

**Keywords:** Stratiform deposits; Mining Planning, Losses and ore dilution.

<sup>1</sup> Eng<sup>a</sup>. de Minas, Aluna mestrado, Orientanda, PPGEM, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil.

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup>. de Minas, Dr., Prof., Orientador, DEMIN, PPGEM, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil.

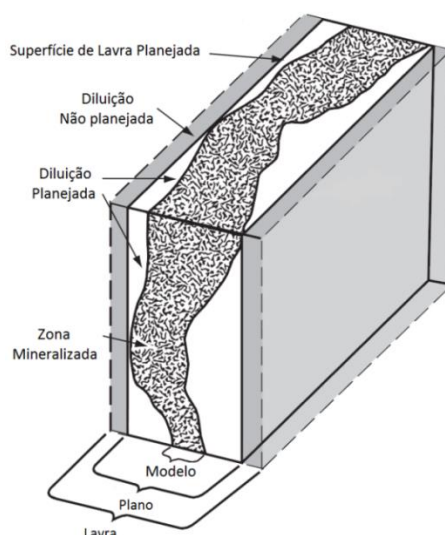
\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

Devido a uma variedade de incertezas, no planejamento de lavra e nas restrições operacionais, diluições e perdas de minério ocorrem em diferentes etapas de um projeto de mineração. A utilização de fatores (%) de perdas e diluição aplicadas a previsão estimada de massa de minério, através do modelo de blocos é uma maneira de adequar e aproximar o planejado do que será executado pela operação. Porém, como regra geral, é incorporado ao modelo de blocos um fator genérico de correção de toneladas a serem lavradas, baseado em dados históricos/práticos. Este valor muitas vezes não representa corretamente os fatores de perdas e diluição, pois é aplicado para todo modelo e não somente em locais de maior chance de ocorrência.

Simplificadamente, Narrena e Deutsch [1] explicam os fatores de diluição como a contaminação de minério com frações de material estéril e de perdas como minério não recuperado, ou seja, porções de minério misturadas e descartadas como material estéril. Estes fatores podem ser controlados, segundo Ebrahimi [2], ajustando o projeto da mina ao modelo geológico concebido e nas práticas operacionais de produção favoráveis as características do depósito. O desafio de geólogos e engenheiros de minas está em medir, controlar e minimizar esses fatores.

A diluição, assim como as perdas, são fatores que devem ser considerados nas estimativas de teores e massas para quantificação dos recursos minerais. Estes fatores andam sempre conjugados e são determinados, segundo Câmara [3], considerando diversas particularidades do depósito (complexidade geológica, geometria do corpo de minério, dureza da rocha, etc.) e características da operação (equipamentos, geometria de cava, habilidade dos operadores, entre outros). O termo diluição é definido por Wright [4] como a contaminação do minério com material estéril durante as operações de lavra. Henning e Mitrl [5] classificaram a diluição nas categorias planejada e não planejada, Figura 1..



**Figura 1.** Ilustração esquemática da diluição planejada e não planejada.

*Fonte: Modificado de Scoble e Moss [6].*

Segundo Crawford [7], para que a diluição seja definida apenas como estéril incorporado ao minério durante a extração é necessário assumir que o operador conheça precisamente o local, tamanho e bloco a ser lavrado (SMU) e que o

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

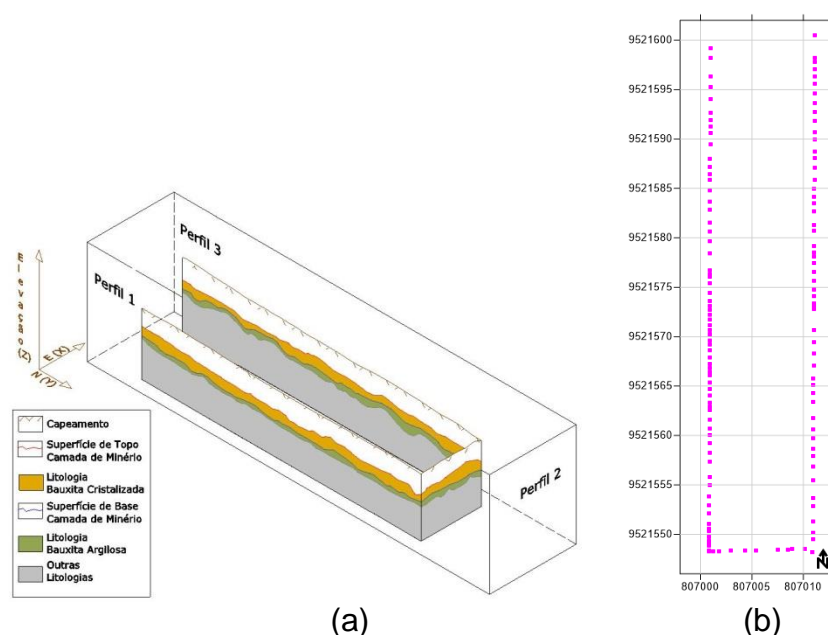
equipamento da operação seja capaz de operar em tais condições. Desta forma, é importante definir a SMU (*Selective Mining Unit*), menor tamanho de bloco onde possa ser feita a distinção entre minério e estéril, para incorporação do modelo de blocos. O tamanho da SMU é geralmente determinado pelas restrições associadas ao método de lavra a ser utilizado na operação, conforme Sinclair & Blackwell [8]. Ainda, Jara [9] afirma que a diluição depende do equipamento utilizado na lavra, do desmonte da rocha, das condições operacionais, bem como as características do contato entre minério e estéril (este último fator se refere à precisão com que o operador pode separar o estéril do minério).

Com objetivo de garantir maior controle na quantificação dos fatores de perdas e diluição associados às superfícies de contato de topo e de base da camada de minério, foi proposto nesse estudo uma metodologia aplicada em uma mina de Bauxita.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Estudo de caso

A metodologia foi aplicada através do mapeamento das feições que representam as superfícies irregulares dos contatos geológicos de minério/estéril em regiões de frente de lavra. O banco de dados consta de informações referenciadas espacialmente em coordenadas UTM que variaram de Oeste para Leste desde 807.000 até 807.010 E (X), de Norte para Sul desde 9.521.548 até 9.521.600 N (Y) e verticalmente elevações/cotas de 226,8 a 228,94 (Z), sendo todas as unidades dadas em metros (m). A área analisada compreende uma região da mina com extensões aproximadas de 50 m de comprimento e 10 m de largura, definindo três perfis distintos: Perfil 1, Perfil 2 e Perfil 3 (Figura 2a). No total, foram mapeadas 2.538 informações de elevações, divididos entre pontos de topo e base da camada de minério Bauxita Cristalizada (Figura 2b).



**Figura 2.** Representação dos perfis mapeados (a) e distribuição dos pontos mapeados, nos contatos de minério/estéril (b).

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

## 2.2 Metodologia

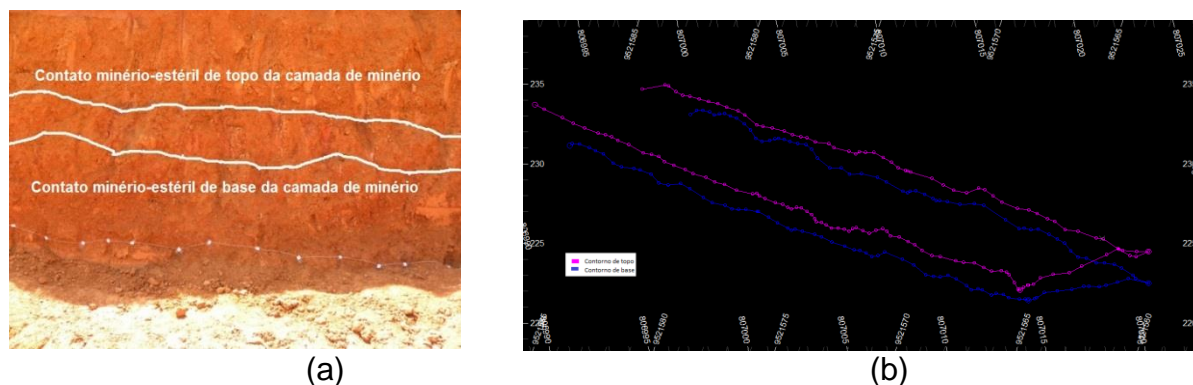
A fim de atender a proposta deste estudo foi adotada a seguinte metodologia:

- (i) definir a área planejada para avanço da lavra;
- (ii) mapear as coordenadas, X, Y, Z (cota), que caracterizam as feições das superfícies irregulares nos contatos de minério/estéril no topo e na base da camada;
- (iii) gerar superfícies irregulares de topo (SIT) e de base (SIB);
- (iv) definir os tamanhos das unidades seletivas de lavra (SMU);
- (v) calcular elevações médias dessas feições das superfícies em cada SMU;
- (vi) gerar superfícies de lavra planas de topo (SPT) e de base (SPB);
- (vii) confrontar as SIT/SIB com as SPT/SPB, respectivamente, mensurando os fatores de perda e diluição de minério através dos blocos inseridos na intersecção das mesmas.

Existem diversas fontes causadoras de diluição, entretanto, neste estudo foi enfatizada a diluição causada por diferença geométrica entre a forma geológica e a forma possível de ser lavrada. Este é um cálculo mensurável e que pode ser feito para obtenção de valores próximos a realidade.

### 2.2.1 Caracterização do contato geológico minério/estéril

A caracterização dos contatos de minério/estéril, foi realizada em frente de lavra por um profissional com experiência para definição dos contatos litológicos nesse tipo de mineralização, conforme ilustra a Figura 3a. Em seguida, foram levantadas as coordenadas X, Y e Z da camada de minério – Bauxita Cristalizada. Assim, a variável de estudo, elevação (Z), para os distintos perfis foi caracterizada, Figura 3b.



**Figura 3.** Delimitação típica em frente de lavra dos contatos de minério/estéril em frente de lavra (a) e os pontos irregulares mapeados de topo (magenta) e base (azul) dos contatos de minério/estéril em ambiente do software Studio3 (b).

No planejamento de lavra, normalmente são definidos polígonos que delimitam os locais onde deverá ser feita a lavra, com dimensões adequadas ao porte dos equipamentos de operação (de acordo com a seletividade possível para um dado equipamento). Neste estudo, os equipamentos utilizados distinguem-se para a lavra do topo e de base da camada de minério, sendo respectivamente utilizados tratores de esteiras D11T- Cat® e escavadeiras hidráulicas R 964C - Liebherr®. De acordo com as especificações dos equipamentos, foram definidas as SMUs adequadas para as distintas superfícies, conforme Tabela 1.

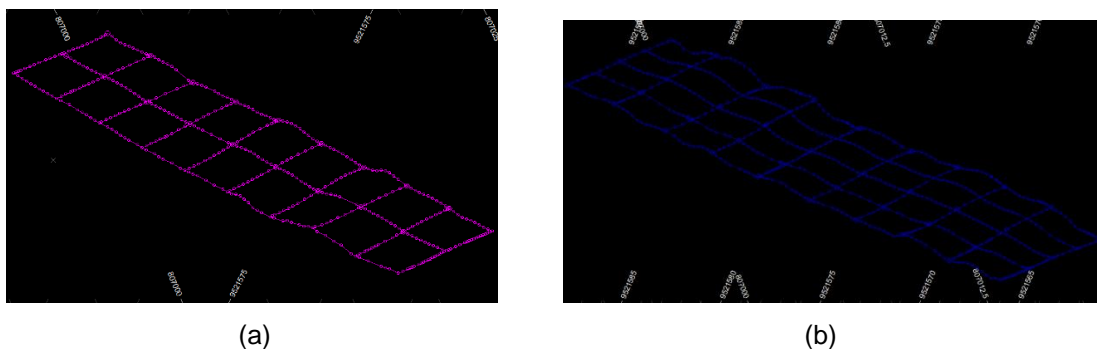
\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



**Tabela 1.** Dimensões das SMUs de referência.

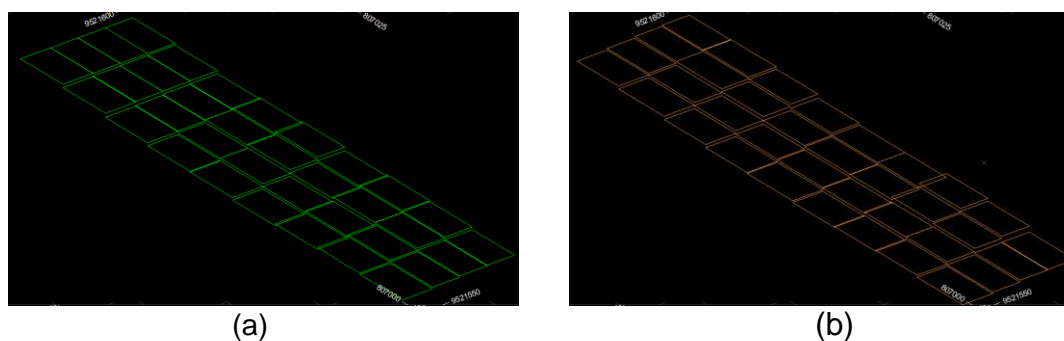
SMU	Dimensões [m] (comprimento x profundidade)
Topo	5 x 5
Base	5 x 2,5

A Figura 4, representam as SMUs “irregulares” para SIT (a) e SIB (b). Uma SMU “irregular” apresenta coordenadas X, Y e cota distintas entre cada uma.



**Figura 4.** Representação das SMUs para SIT (a) e SIB (b) da camada de minério.

Ainda que a seletividade do equipamento e a habilidade do operador sejam elevadas, a lavra nos contatos litológicos irregulares é executada a partir da definição de uma geometria similar a um plano, isto é, uma superfície regular plana. Desta forma, a partir do conjunto de elevações que compõe cada SMU “irregular”, foi calculado uma cota média com a intenção de criar uma SMU “regular” (plana) gerando, assim, as SPT e SPB. A Figura 5, representa SMUs “regulares” para cada superfície. Uma SMU “regular” apresenta coordenadas X, Y distintas e cota constante.

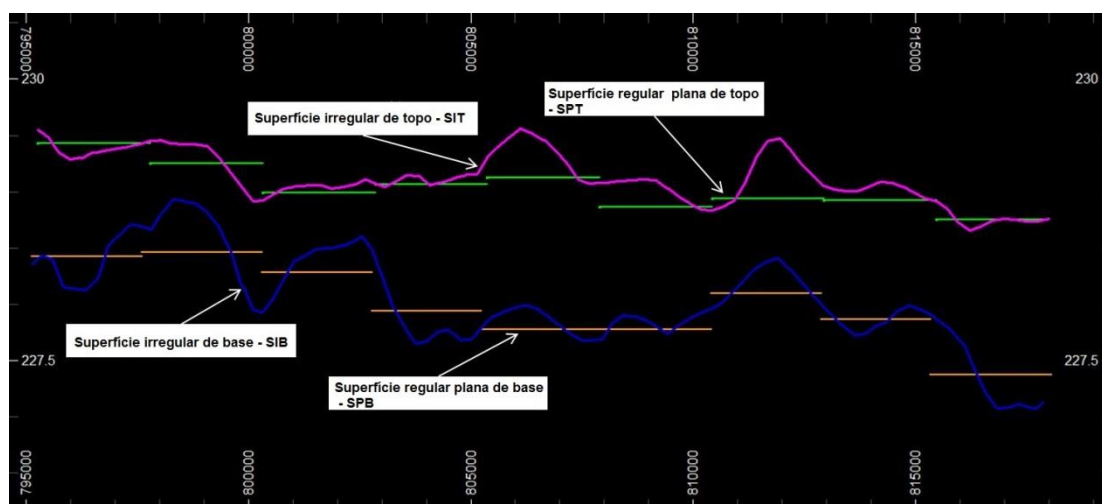


**Figura 5.** Representação das SMUs para SPT (a) e SPB (b) da camada de minério.

## 2.2.2 Geração de modelo de blocos entre as superfícies irregular e regular

O propósito de criar um modelo de bloco entre as superfícies irregulares (SIT-SIB), foi em quantificar a massa total da camada de minério mapeada. Já, os blocos criados nas intersecções SIT-SPT e SIB-SPB, foi em quantificar a massa de minério apenas nessas regiões, classificando blocos acima ou abaixo das intersecções. A Figura 6, representa em seção no plano XZ, as intersecções entre as superfícies.

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

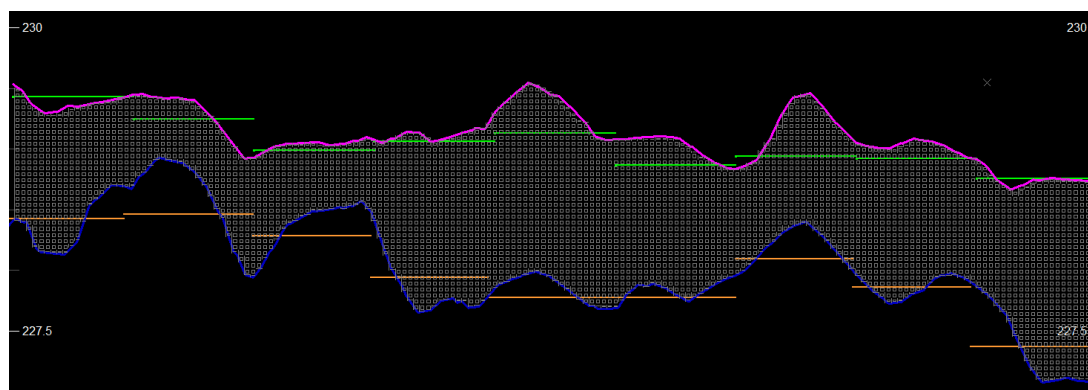


**Figura 6.** Representação das intersecções entre as superfícies regulares e irregulares no topo e base da camada de minério. Exagero vertical de 5 vezes.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Medida dos fatores diluição e perdas de minério

O modelo de blocos gerado entre as superfícies irregulares mapeadas considerou uma seleção perfeita com o volume de minério. A Figura 7 mostra uma seção aleatória deste modelo.



**Figura 7.** Representação do modelo de blocos (cinza) pertencentes à camada de minério. Exagero vertical de 5 vezes.

A Tabela 2 demonstra a cubagem realizada na camada de minério.

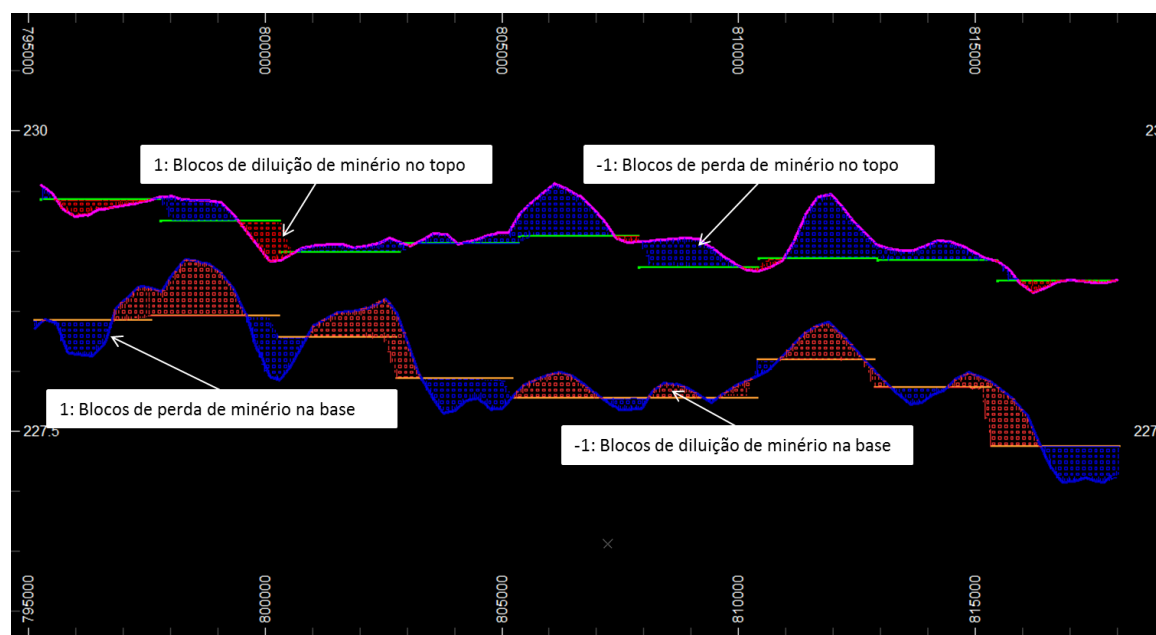
Tabela 2. Cubagem da camada de minério.

Camada de minério	Volume [m <sup>3</sup> ]
	564,67

O processo *DTMCUT*, do *Studio3*, ajusta o modelo de blocos entre as superfícies (*wireframes*), atribuindo o valor de -1 (blocos acima) e 1 (blocos abaixo) da superfície regular e ainda informa o volume total de cada atributo (-1 e 1). Entre os parâmetros utilizados no processo, os principais são: densidade = 1 e número de *splits* = 1. Analogamente, foi associado à superfície de topo o valor -1 como blocos de perda e 1 como blocos de diluição. Invertendo a associação quando a superfície

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

for de base, o valor -1 são para os blocos de diluição e 1 para os blocos de perda (Figura 8).



**Figura 8.** Representação dos blocos de perda (azul) e diluição (vermelho) na camada de minério. Exagero vertical de 5 vezes.

Com os arquivos de saída gerados, foi possível obter os volumes de perdas e diluição, considerando um valor simbólico de densidade igual a 1. A Tabela 3 resume os valores calculados.

**Tabela 3.** Volumes de perda e diluição na camada de minério.

	Volumes [m <sup>3</sup> ]	
	Perdas	Diluição
Topo	14,15	38,56
Base	11,96	52,20

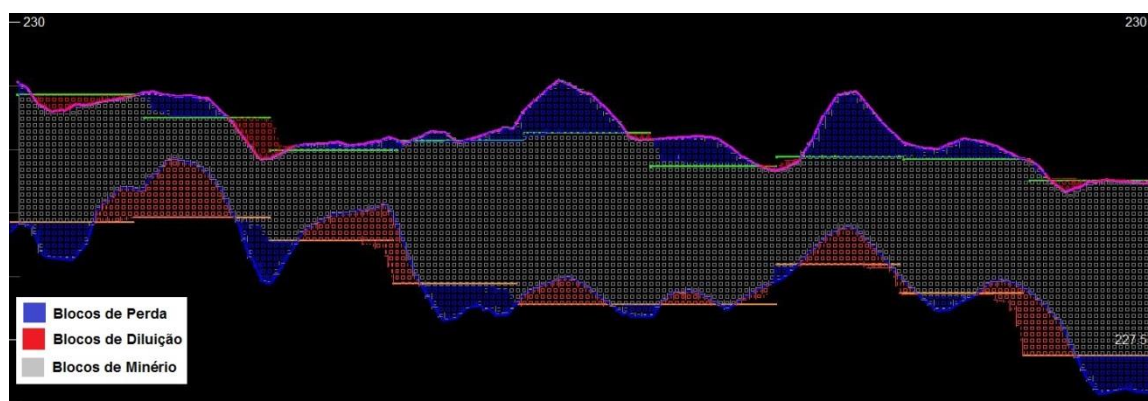
Desse modo, foi possível calcular os percentuais de influência dos fatores na camada de minério. Conforme mostra Tabela 4.

**Tabela 4.** Volumes e fatores de perda e diluição na camada de minério.

	Volumes [m <sup>3</sup> ]			Fator [%]	
	Total	Perda	Diluição	Perda	Diluição
Camada de minério	564,67	-	-	-	-
Topo	-	14,15	38,56	2,51%	6,83%
Base	-	11,96	52,20	2,12%	9,24%

A Figura 9 representa a superposição dos modelos de blocos de minério, perdas e diluição.

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



**Figura 9.** Representação do modelo de blocos de minério (cinza), de perdas (azul) e de diluição

## 4 CONCLUSÃO

Para que os resultados desse estudo sejam aplicados, recomenda-se atentar aos seguintes critérios:

- i. Assegurar que a delineação dos contatos litológicos de minério e estéril em frente de lavra seja realizada por profissional com experiência nesse tipo de mineralização;
- ii. Garantir a utilização de equipamentos de lavra com alta seletividade;
- iii. Garantir ao operador do equipamento conhecimento ou acompanhamento de profissional com experiência na definição dos contatos litológicos de minério e estéril na lavra;
- iv. Realizar o mesmo estudo em áreas distintas da mesma mina e então verificar os fatores de perdas e diluição de minério baseados em mais de um teste;
- v. Verificar através da reconciliação o volume planejado com o volume executado, a fim de verificar a aderência utilizando os fatores de perdas e diluição calculados.

## REFERÊNCIAS

- 1 Norrena KP, Deutsch CV. Optimal Determination of Dig Limits for Improved Grade Control. Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry: proceedings of the 30th International Symposium. 2002; 1:510-518.
- 2 Ebrahimi PA. An Attempt to Standardize the Estimation of Dilution Factor for Open Pit Mining Projects. World Mining Congress. 2013.
- 3 Câmara TR. Sistematização do cálculo de diluição e perdas operacionais para reconciliação de teores e massas em lavra a céu aberto [dissertação de mestrado]. Porto Alegre: PPGEM/UFRGS. Porto Alegre. 2013
- 4 Wright EA. Dilution and Mining Recovery. Review of Fundamentals. 1983; 1: 23-29.
- 5 Henning, J. and Mitrl, H. Numerical Modelling of Ore Dilution in Blasthole Stopping. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science. 2007; 44 (5): 692–703.
- 6 Scoble MJ, Moss A. Dilution in underground mining: Implications for production management, Mineral Resource Evaluation II: Methods and Case Histories. Geological Society Publishing House. 1994; 79:95-108.
- 7 Crawford GD. Dilution and Ore Recovery. Pincock Perspectives. 2004; 60: 4p.
- 8 Sinclair AJ, Blackwell GH. Applied Mineral Inventory Estimation. New York: Cambridge University Press; 2002.
- 9 Jara RM, Couble A, Emery X, Varela EM, Ortiz JM. Block Size Selection And Its Impact On Open-Pit Design And Mine Planning. Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy. 2006; 106: 205-211.

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.