



Aplicação do sensoriamento remoto e modelo digital do terreno de superfície triangular para estimativas de produção na mineração

Karena Layane da Silva ^{1*} 
Osvail André Quaglio ¹ 

Resumo

O presente estudo foi realizado em uma empresa de mineração localizada no município de Cajati-SP, onde a produção e os estoques são constantemente medidos. Para esse procedimento é importante que as ferramentas topográficas e de sensoriamento remoto tenham uma alta precisão, garantindo que esses dados estejam corretos. O objetivo foi gerar um modelo digital do terreno utilizando principalmente superfícies de malha triangular para calcular os volumes dos ensaios de densidades e analisar como essas informações podem ser aplicadas nas estimativas de produção. Na metodologia foram realizadas coletas amostrais do terreno real com os equipamentos base E800 e receptor RTK/ E200, que foram processadas nos *softwares* TopoGRAPH e Autodesk® Civil 3D para serem empregadas nos cálculos de peso líquido, densidade e empolamento. Os resultados demonstraram que a malha triangular possui maior precisão, a média ponderada da densidade específica é de 2,38 (t/m³) e a taxa de acréscimo do fator de empolamento é de 4,38%. Entretanto, as densidades exibiram variações de acordo com cada área, o que aponta a necessidade de maior atenção na aplicação dessas informações no planejamento e operação da mina. As técnicas utilizadas apresentaram bom aproveitamento nos ensaios de densidade, as quais possibilitam correções que diminuem as incertezas dos procedimentos e aumentam a precisão nos dados finais.

Palavras-chave: Densidade; Empolamento; Malha triangular; Volume.

Application of remote sensing and digital triangular surface terrain model for production estimates in mining

Abstract

The present study was carried out in a mining company located in the municipality of Cajati-SP, where production and stocks are constantly measured. For this procedure, it is important that topographic and remote sensing tools have high precision, ensuring that this data is correct. The objective was to generate a digital terrain model using mainly triangular mesh surfaces to calculate the volumes of density tests and analyze how this information can be applied in production estimates. In the methodology, sample collections were carried out from the real terrain with the E800 base equipment and RTK/E200 receiver, which were processed in the TopoGRAPH and Autodesk® Civil 3D software to be used in the calculations of net weight, density and blistering. The results demonstrated that the triangular mesh has greater precision, the weighted average of the specific density is 2.38 (t/m³) and the increase rate of the blistering factor is 4.38%. However, densities varied according to each area, which highlights the need for greater attention in the application of this information in the planning and operation of the mine. The techniques used performed well in the density tests, which enable corrections that reduce uncertainties in the procedures and increase the precision of the final data.

Keywords: Blistering; Density; Triangular mesh; Volume.

¹Universidade Federal de Alfenas, UNIFAL, Poços de Calda, MG, Brasil.

*Autor correspondente: karena_layane@hotmail.com



1 Introdução

Na mineração o uso de levantamentos topográficos de superfícies terrestres utilizando sensoriamento remoto para a obtenção de modelos digitais de terrenos, se faz constante e de suma importância, como por exemplo, para controle de fechamento contábil da produção e estoques dos produtos sólidos através da determinação de volumes [1]. Atualmente, existem diversos equipamentos e *softwares* que são aplicados, sendo necessário averiguar qual técnica possui a precisão mais apropriada e que realmente atenderá as necessidades de cada trabalho específico.

Um desses equipamentos é o RTK (Real Time Kinematic), uma tecnologia de posicionamento relativo que se caracteriza pela utilização de receptores que coletam dados continuamente, onde um receptor base fica estacionado em um local sobre um ponto de coordenadas conhecidas, enquanto os receptores móveis (rover) são utilizados para o rastreamento dos dados de interesse [2,3]. O receptor base de transmissão em tempo real recebe os sinais da constelação de satélites de posicionamento GNSS (Sistema Global de Navegação por Satélite) já corrigidos na fase de onda portadora e pseudodistâncias para a mensuração das distâncias satélites-antenas, assim é propagada essa correção de modo instantâneo para o receptor móvel, que fornece coordenadas com precisão centimétrica e alinhada ao menor tempo de coleta das observações [3].

Esse conjunto de Sistema Cartesiano Geodésico relativas ao terreno físico, geram um Modelo Digital do Terreno (MDT), termo introduzido na década de 1950 pelos engenheiros Miller e LaFlamme, do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), que é uma estrutura numérica e/ou matemática no modo digital com a distribuição de dados espaciais que representa a forma e o relevo de uma região, podendo ser definido por redes retangulares e redes triangulares [4,5].

Nesse tipo de modelagem, a princípio é considerada aquisição de dados topográficos da superfície real que possibilite a caracterização matemática do modelo representado por curvas de isovalores e pontos tridimensionais. Em seguida, é feita a geração da grade (regular ou triangular) composta por estruturas de dados e funções de interpolação que simulam o comportamento do relevo a partir das informações coletadas. Logo após, operações geram informações que substituem a superfície real pelo MDT, podendo ter aplicações qualitativas com a visualização do modelo utilizando projeções geométricas planares ou quantitativas com cálculos de volumes e geração de mapas de declividades [6]. Com isso, o MDT possibilita a criação de diversos tipos de mapas geomórficos, geológicos, topográficos de altimetria, bacias hidrográficas, apresentação tridimensional do terreno e entre outros [7].

Portanto, a grade ou malha retangular regular é um poliedro de faces retangulares, cujos vértices estimam os valores de cota de cada ponto da grade a partir do conjunto amostral de dados nas mesmas posições XY que definem a grade desejada para a aproximação das superfícies [1,6]. A

malha triangular irregular, também denominada como TIN (Triangulated Irregular Network), é a estrutura que particiona o espaço geográfico em uma superfície tridimensional com polígonos que formam a face do poliedro e o vértice de cada triângulo que não se sobrepõe [1,8]. Ou seja, o TIN é gerado através da triangulação de cada ponto conectado a pelo menos outros três pontos, com propriedades matemáticas bem definidas que consideram a distância e a inclinação entre os pontos, estimando os valores interpolados [7]. Essa técnica respeita as características geométricas, possibilitando que a superfície do terreno seja modelada conservando as feições geomórficas [1,7].

Na mineração o cálculo do volume é aplicado em diversas atividades, como na avaliação dos recursos minerais, planejamento de lavra, contabilidade dos estoques de minério e estéril, estimativa da quantidade de material a ser detonado, carregado, transportado e processado. Desse modo, a densidade deve ser considerada como parte fundamental para obter valores precisos, próximos à realidade de volume e massa.

A densidade, conceituada primeiramente por Arquimedes (287 a.C – 212 a.C.), possui várias expressões, e para esse estudo foi adotado o princípio da densidade específica, determinada como uma proporção ou quantidade de massa (m) de um corpo por unidade de volume (v) definido, não considerando a porosidade das amostras [9,10].

Utilizando os dados de densidade, também é possível obter o empolamento expresso em porcentagem, o qual é o aumento aparente do volume que a rocha apresenta em relação a um estado anterior de maior compactação, ou seja, sempre que a rocha é retirada ou movimentada da sua acomodação inicial ocorre um rearranjo na posição relativa dos blocos, diminuindo a densidade devido ao acréscimo de espaços vazios, porém, nesse material ocorre uma expansão volumétrica, sendo a quantidade de material mantida a mesma, exceto quando ocorrem perdas durante a escavação, carregamento e transporte [11].

Nesse contexto, o presente trabalho analisou a aplicação das técnicas de sensoriamento remoto para a geração de modelos digitais do terreno com malhas triangulares utilizadas para cálculos de volumes, permitindo também calcular a densidade e empolamento para as estimativas de produção em uma empresa de mineração.

2 Materiais e métodos

O estudo foi realizado na mina de carbonatito na cidade de Cajati, localizada na região do Vale do Ribeira no estado de São Paulo. Atualmente, a empresa responsável pelas operações do complexo industrial comercializa produtos para o mercado agrícola, nutrição animal, insumos para indústrias de fundição, gesso químico e ácido sulfúrico. O corpo de minério da mina é conhecido como Complexo Ultramáfico Alcalino Carbonatítico de Jacupiranga, contendo rochas ígneas com mineralização de apatita, sendo esse o principal mineral de minério utilizado na fabricação de ácido

fosfórico que é a matéria-prima carbonática para obtenção de fosfálcio e o minério residual é constituído pela apatita, magnetita e argilominerais provenientes da dissolução e lixiviação dos carbonatos da rocha [12,13].

Para a realização dos ensaios foram definidas três áreas distintas nos estoques de minério, denominadas como Área 1, Área 2 e Área 3. Em todos esses locais os materiais presentes eram rochas do tipo matacão, que após o desmonte na mina foram carregadas, transportadas e depositadas nessas áreas. Porém, como nos estoques de minérios a deposição é feita de modo compactado e/ou descompactado, foi necessário realizar um ensaio específico para cada situação.

Nos ensaios de campo foram utilizados equipamentos de levantamento topográfico, todos devidamente calibrados com precisão estável e confiável. A base utilizada foi do modelo E800 (Figura 1/A) e o receptor rover do modelo E200 (Figura 1/B/C), ambos Receiver Survey High Precision da eSurvey GNSS com design IP67 e da Shanghai e-Compass Science & Technology Co. Ltda. Também possuem múltiplas constelações e rastreamento de frequência com 800 canais e sinais GNSS, incluindo GPS, BDS, GLONASS, GALILEO, QZSS, IRNSS e SBAS. Possuem levantamento dinâmico de inclinação MEMS com o ângulo máximo de 60° e fornecem a correção de precisão global sobre satélites de banda L, possibilitando que os equipamentos tenham uma precisão centimétrica sem qualquer estação base. Juntamente, foi utilizado uma coletora TechGeo IP- 68 (Figura 1/B) com o receptor rover que foi acoplado em um bastão de apoio utilizado nos levantamentos topográficos (Figura 1/C).

Inicialmente, a base foi instalada no poço de monitoramento que possui coordenadas devidamente rastreadas, aferidas e

calibradas de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), assim, todos os dados recebidos foram altamente precisos. Em seguida, foram obtidas coordenadas e cota de um ponto de controle localizado no complexo industrial, o qual é situado em um terreno seguro que possibilitou mediar qualquer variação que tenha ocorrido na precisão de 1,50 cm do GPS, garantindo que o levantamento topográfico permanecesse nesse mesmo sistema.

A próxima etapa consistiu no levantamento prévio de cada área que continha material compactado, onde foram realizados os ensaios de campo para a obtenção do modelo primitivo (Figura 2/A). Porém, nos materiais descompactados não foi possível fazer esse mesmo levantamento devido aos riscos de queda existentes nesses locais. Simultaneamente, os caminhões basculantes da Scania/ G-500 foram pesados vazios em uma balança rodoviária Toledo para a realização dos cálculos de peso líquido desses equipamentos.

Após esses procedimentos, uma escavadeira da Caterpillar/ 336D2L iniciou as escavações no formato de um caixote com dimensões aproximadas de 10 m x 10 m e com no máximo 01 metro de profundidade (Figura 2/B). Todos os materiais retirados dessas escavações foram carregados nos caminhões para novas pesagens e posteriormente foram basculados no mesmo local em pilhas separadas (Figura 2/C).

Nos ensaios com o material descompactado a etapa de escavação em formato de caixote não foi realizada, porém as demais seguiram normalmente com o material sendo carregado diretamente nos caminhões para as pesagens e depois para o basculamento em pilhas.

Com todos os ensaios preparados, foi possível iniciar os levantamentos topográficos nas escavações e pilhas,

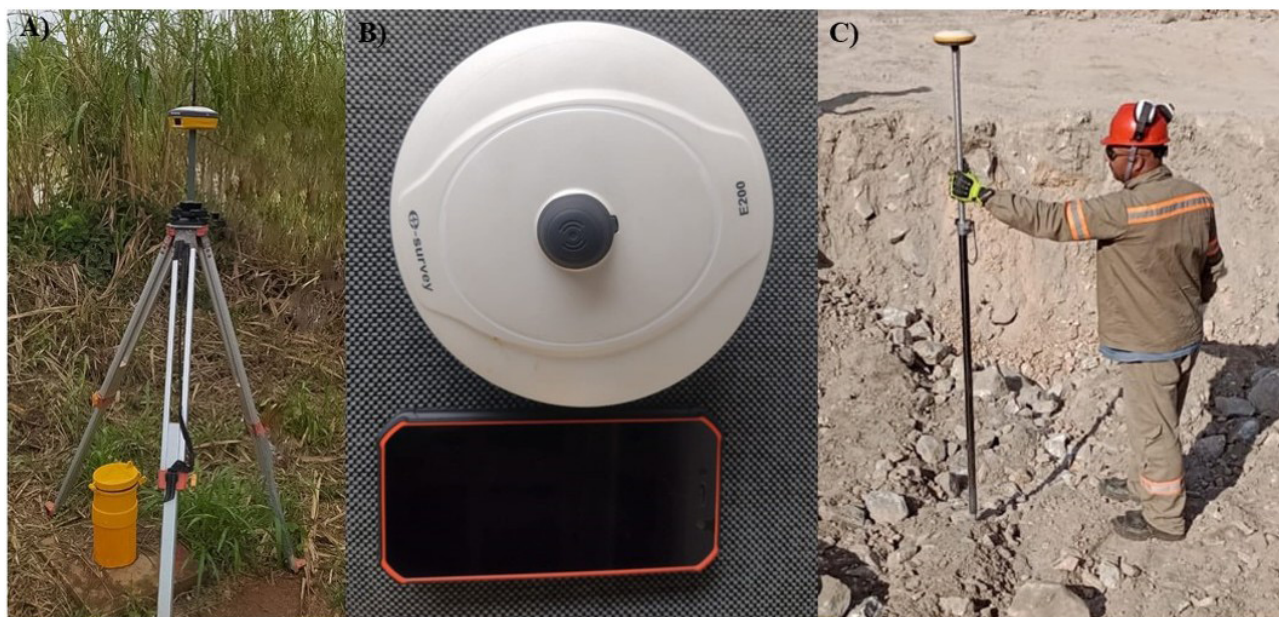


Figura 1. Equipamentos utilizados no levantamento topográfico em campo. (A) base E800 instalada no poço de monitoramento. (B) receptor E200 e coletora TechGeo. (C) receptor devidamente montado no bastão coletando pontos da superfície real.



Figura 2. Ensaio realizado em campo. (A) primitivo da área com material compactado. (B) material escavado em forma de caixote. (C) material basculado em pilha.

onde um topógrafo utilizava o receptor rover para realizar os caminhamentos e um outro topógrafo utilizou a coletora para o recebimento e armazenamento das coordenadas. No final de cada ensaio, novamente foi utilizado um ponto de controle no mesmo local anterior.

Depois de obter as coordenadas geográficas e as cotas das Áreas 1, 2 e 3, as informações foram compiladas e tratadas no escritório através do uso de *software* TopoGRAPH versão 4.10a de 1998. Nesse sistema, os dados foram organizados e processados para a geração da malha triangular (Figura 3/A), na qual foi possível fazer as primeiras avaliações com o MDT e a imagem 3D (Figura 3/B) para averiguar e corrigir os lados dos triângulos quando ocorreu a necessidade para que a superfície real fosse melhor representada e assim, os cálculos dos volumes também resultarem com maior precisão.

Após a confecção do modelo digital do terreno com superfície TIN, foi possível gerar a malha retangular para o cálculo de volume de todas as pilhas e caixotes (Figura 4).

No procedimento seguinte a malha triangular que havia sido gerada no TopoGRAPH, foi exportada no formato DWG para ser utilizada com o *software* Autodesk® Civil 3D 2021, no qual foi novamente possível calcular os volumes dos ensaios, utilizando apenas o MDT com superfície TIN. Nesse processamento, cada levantamento foi compilado separadamente, porém o primitivo respectivo a cada área foi igualmente aplicado.

Assim, com a malha triangular preparada (Figura 5/A), foi possível gerar a imagem 3D (Figura 5/B), a qual auxiliou

nas análises comparativas entre o primitivo e as superfícies levantadas para os novos cálculos de volumes.

Assim como no primitivo, nas demais áreas levantadas com pilhas e escavações, foram feitas as mesmas etapas de processamento, sendo primeiramente as malhas triangulares (Figuras 6/A, 7/A), depois gerando as imagens 3D para as devidas avaliações (Figuras 6/B, 7/B) e a execução dos cálculos volumétricos. A última etapa da metodologia conteve os cálculos de peso líquido dos materiais carregados e transportados para a obtenção da massa real, a qual é o peso bruto dos caminhões carregados, subtraído pelo peso dos caminhões vazios, ou seja, a tara. Para o ensaio foi necessário utilizar de dois a três caminhões, e cada um foi pesado individualmente para que fossem consideradas as taras correspondentes à cada equipamento, dada pela Equação 1:

$$Peso_{líquido} = peso_{bruto}(t) - tara(t) \quad (1)$$

Finalmente, com os volumes e massas reais calculados, foi possível calcular as densidades específicas com o quociente entre a massa retirada das escavações pelo volume gerado da mesma depositado em pilha, conforme a Equação 2:

$$D = m(t) / v(m^3) \quad (2)$$

Para o cálculo do empolamento, que é o fator de correção de quanto o volume aumentou durante a retirado desse material do seu estado inicial, foi considerado em porcentagem o quociente entre o volume da pilha e o volume

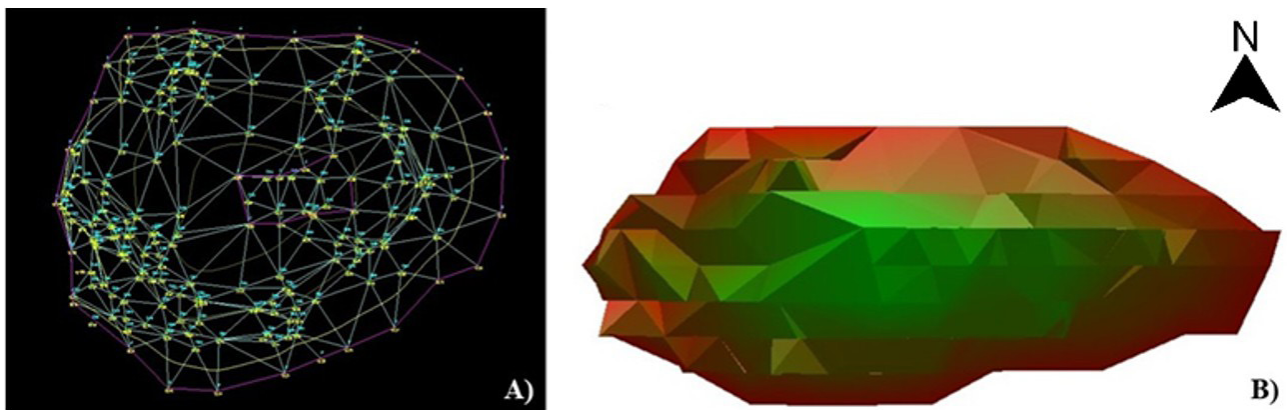


Figura 3. Imagens dos pontos coletados após processamento no TopoGRAPH. (A) malha triangular do material em pilha. (B) imagem 3D do material em pilha.

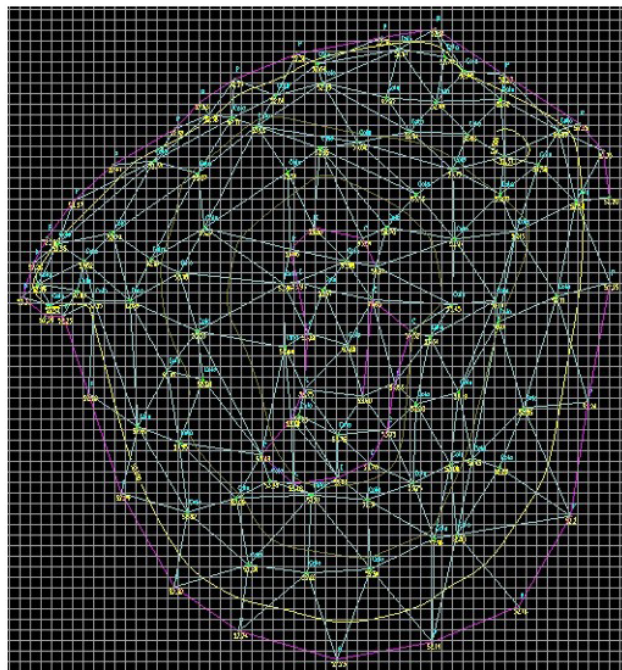


Figura 4. Imagem da malha retangular dos pontos coletados após processamento no TopoGRAPH.

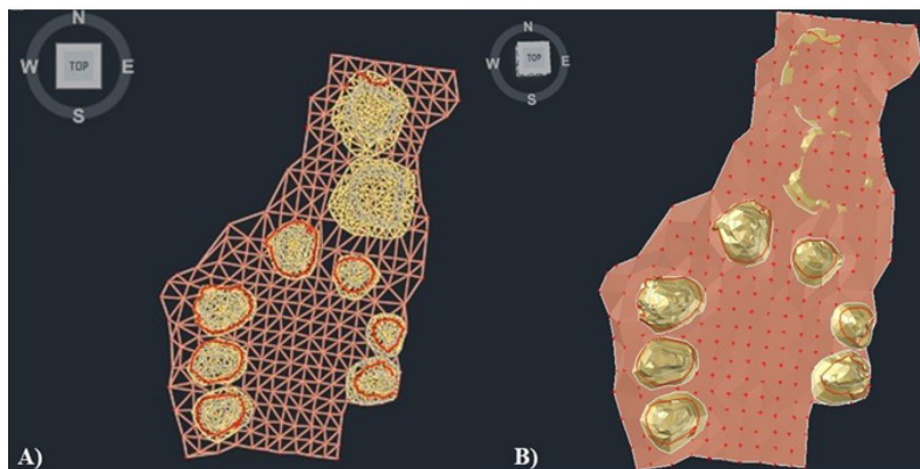


Figura 5. Imagens dos dados processados no Autodesk® Civil 3D. (A) malha triangular em 2D do primitivo, pilhas e caixotes. (B) imagem 3D do primitivo, pilhas e caixotes.

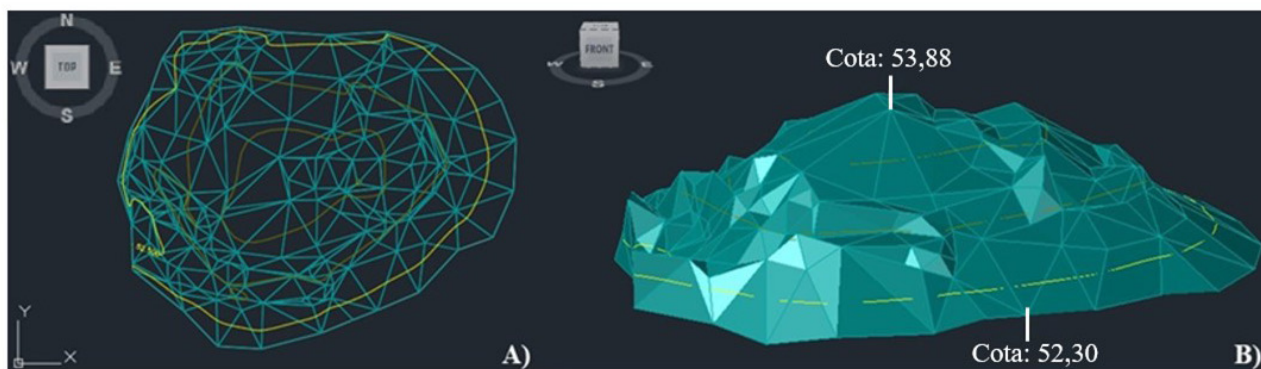


Figura 6. Imagens dos dados processados no Autodesk® Civil 3D. (A) malha triangular em 2D de um material em pilha. (B) imagem 3D de um material em pilha.

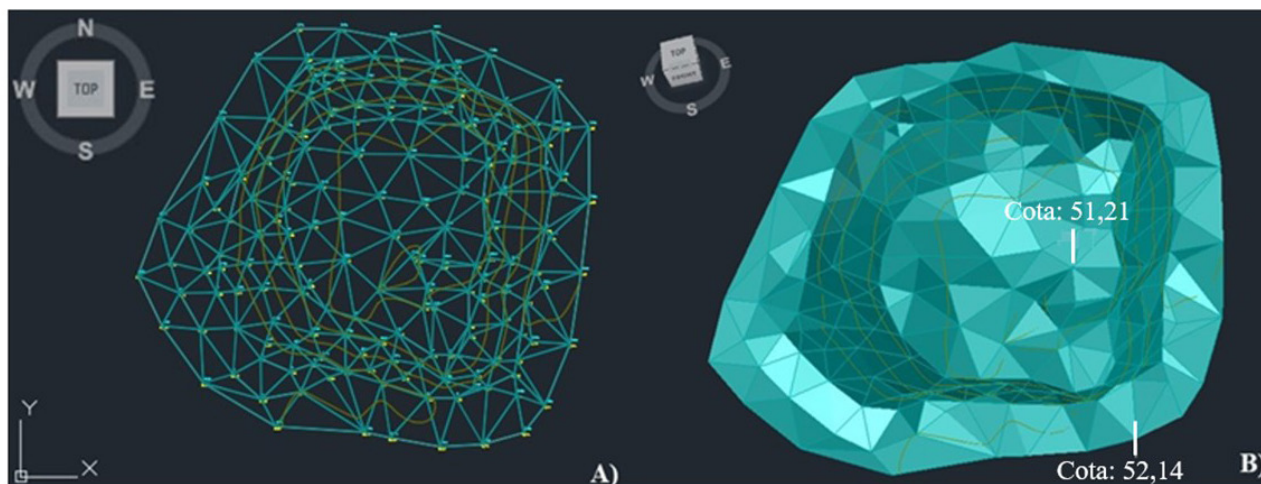


Figura 7. Imagens dos dados processados no Autodesk® Civil 3D. (A) malha triangular em 2D de um material em forma de caixote. (B) imagem 3D de um material em forma de caixote.

da escavação. Também foi feita uma média ponderada para se obter um valor geral, aplicado na Equação 3:

$$E(\%) = [(v_p(m^3) / v_e(m^3)) - 1] * 100 \quad (3)$$

3 Resultados e discussão

No material compactado foi possível totalizar 06 escavações e 12 pilhas correspondentes aos materiais amostrados. Já nas áreas descompactadas, foram feitas 07 pilhas de amostragem.

A utilização do sensoriamento remoto e dos levantamentos topográficos, resultaram em dados com alta precisão, tornando os pontos amostrais coletados na superfície real confiáveis. Na aplicação dos modelos digitais de terreno, foi possível realizar comparações entre malhas retangulares e triangulares, como também entre os resultados dos cálculos de volumes obtidos no TopoGRAPH e no Autodesk® Civil 3D.

Para as análises de estimativas de produção, os volumes calculados pelo Autodesk® Civil 3D aplicando somente

a malha triangular, foram os valores que apresentaram a precisão mais adequada para esse estudo. Pois, apesar do TopoGRAPH ser um programa que possui malha retangular e triangular, considerando até três casas decimais nos cálculos de volumes, não é possível ter uma visualização detalhada do relevo. Já o Autodesk® Civil 3D, considera duas casas decimais, porém disponibiliza imagens 3D com melhores resoluções e maior visualização das feições geomórficas do terreno, permitindo comparar a relação entre o primitivo e as medições para verificar se ocorreram erros de cota que precisam ser corrigidas.

Na malha retangular é possível dimensioná-la com uma precisão de até 01 cm. Porém, se a malha triangular não ocupar mais de 50% desse retângulo da referência, o cálculo do volume daquela região não é feito. Mas como a malha triangular do TopoGRAPH permite fazer o tratamento das informações de acordo com a ordem de levantamento, garantindo que os lados dos triângulos estejam mais assertivos e garantindo mais precisão nos volumes, essa grade foi exportada para o Autodesk® Civil 3D.

A Tabela 1 apresenta valores obtidos nos ensaios realizados nas Áreas 1, 2 e 3 com os resultados do peso

líquido, volume, densidade e empolamento do material descompactado em pilha e do material compactado em pilha e escavação. É possível observar que a densidade diminuiu conforme o material é alterado do seu estado inicial, por isso o descompactado tem a menor densidade e na escavação é a maior. Então, as variações das densidades existem devido ao aumento do volume do material conforme é realizado o carregamento e transporte.

As alterações do empolamento ocorreram devido às variações nos volumes em cada área e no descompactado não foi calculado pela impossibilidade em fazer o levantamento topográfico da área escavada.

Isto é, essas mensurações estão correlacionadas, pois se o volume aumenta, o empolamento também aumenta, mas a densidade diminui e os motivos para isso ocorrer são complexos, podendo ser devido aos diferentes tipos de rochas que cada área possui, o modo como os depósitos foram compactados e entre outros fatores.

A média ponderada da densidade para o material compactado da pilha foi de 2,38 (t/m³) e da escavação foi

de 2,48 (t/m³) com o empolamento de 4,38%. No material descompactado a média ponderada da densidade foi de 2,29 (t/m³). Com isso, pode-se afirmar que a taxa de acréscimo do fator de empolamento é de 4,38%.

Para as análises de estimativas de produção, foram consideradas e aplicadas médias de densidade *in situ* com 2,82 (t/m³), o volume transportado dos caminhões de 13 (m³) e as médias da produção mensal de cada área foram: Área 1 = 104.000 (t), Área 2 = 12.000 (t) e Área 3 = 39.000(t). Com essas estimativas, foi possível verificar a aderência dos dados levantados entre os dados contábeis correspondentes.

Na Área 1 (Figura 8), a média da produção mensal foi de 36.879,43 m³ e seriam necessárias 2.836,88 viagens para o transporte de toda essa produção. Considerando o empolamento de 4,38%, seriam necessárias aproximadamente 124,26 viagens além do planejado, totalizando 2.961,13 viagens. Analisando as informações obtidas em campo, a média da produção mensal seria de 43.697,48 m³ com 3.361,34 viagens. Porém, devido ao empolamento teriam que ser feitas 147,23 viagens a mais do que o esperado, contabilizando

Tabela 1. Análise dos dados experimentais das áreas (1, 2 e 3).

Área 1					
Material	Ensaio	Peso líquido (t)	Volume (m ³)	Densidade (t/m ³)	Empolamento (%)
Compactado	Pilha	151,54	63,97	2,37	5,70
	Escavação	-	60,52	2,50	
Descompactado	Pilha	77,41	35,63	2,17	-
	Área 2				
Material	Ensaio	Peso líquido (t)	Volume (m ³)	Densidade (t/m ³)	Empolamento (%)
Compactado	Pilha	107,38	45,55	2,36	4,04
	Escavação	-	43,78	2,45	
Descompactado	Pilha	113,17	47,80	2,37	-
	Área 3				
Material	Ensaio	Peso líquido (t)	Volume (m ³)	Densidade (t/m ³)	Empolamento (%)
Compactado	Pilha	108,89	45,31	2,40	3,40
	Escavação	-	43,81	2,49	
Descompactado	Pilha	53,93	23,17	2,33	-

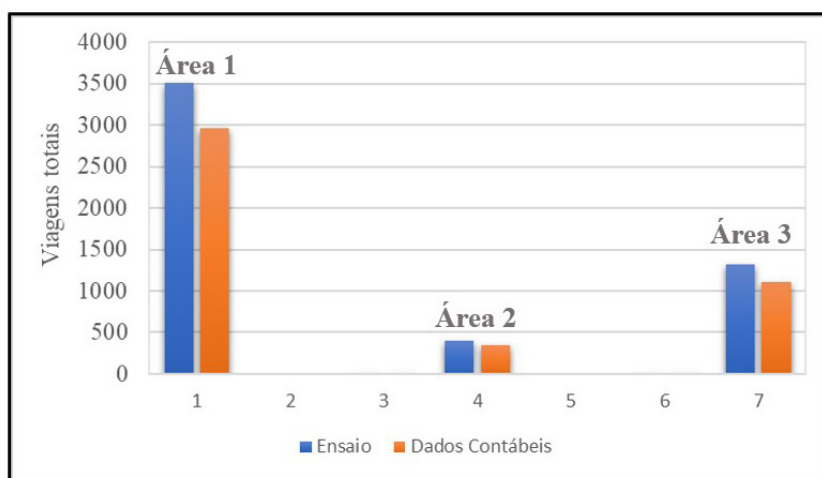


Figura 8. Comparação entre o total de viagens que seriam realizadas para transportar a produção média mensal entre os resultados obtidos nos ensaios e os dados contábeis.

3.508,57 viagens. Ou seja, existe uma diferença de 547,44 viagens subestimadas no planejamento e operação da mina.

Os mesmos procedimentos foram replicados nas demais áreas (Figura 8), obtendo na Área 2 a média da produção mensal de 4.255,32 m³ com 327,33 viagens para o transporte, sendo necessárias 14,34 viagens a mais do que o programado, resultando em 341,67 viagens. Com os dados dos ensaios, a média da produção mensal foi de 5.042,02 m³ com 387,85 viagens e 16,99 viagens extras, totalizando 404,84 viagens que de fato seriam realizadas. Contabilizando uma diferença entre as viagens de 63,17.

Na Área 3 a média mensal produzida foi de 13.829,79 m³ e 1.063,83 viagens com a necessidade de 46,60 viagens adicionais devido ao empolamento do material, totalizando 1.110,43 viagens. Nas informações experimentais, a média produtiva ficou em 16.386,55 m³ com 1.260,50 viagens, sendo 55,21 viagens aditivas e finalizando com 1.315,71 viagens que realmente seriam feitas. Assim, a diferença resultante total para a produção ficou em 205,29 viagens.

Na verificação da diferença entre a densidade *in situ* e a específica, foi calculada em 15,45% o que representa um possível aumento de custos operacionais da lavra.

4 Conclusão

As técnicas de levantamento topográfico e de modelagem digital do terreno utilizadas, demonstraram excelente aplicabilidade para os ensaios de cálculo de densidade, pois possibilita a correção das incertezas que podem ocorrer durante os procedimentos, minimizando cada vez mais os erros significativos nos valores finais. Também foi possível constatar a importância de sempre seguir padrões metodológicos que garantam que os dados coletados em campo sempre estejam aferidos, como o poço de monitoramento e a coleta de pontos de controle durante a execução dos levantamentos.

Como a densidade *in situ* e a específica apresentam variações, é preciso atenção para utilizar adequadamente os valores apropriados, ou seja, densidades de materiais

compactados devem ser aplicadas somente com cenários semelhantes, o mesmo conceito serve aos materiais descompactados. Assim como, o empolamento do material durante o carregamento pode mascarar ou alterar o número de viagens e, consequentemente, os custos da operação. Nesse estudo, utilizando a densidade específica de 2,38 (t/m³), demonstrou um aumento de 18,5% no número de viagens realizadas para o transporte da produção.

Por isso, é importante ter um banco de dados da densidade confiável, pois é a partir disso que a qualidade de uma mensuração irá garantir que as estratégias de produção sejam bem avaliadas e planejadas, fornecendo informações mais precisas para o planejamento de lavra e nos processos subsequentes do empreendimento de mineração. Afinal, aumentar a produtividade e reduzir os custos operacionais, exige um bom planejamento e gerenciamento em todas as etapas, caso contrário um erro de procedimento operacional pode se transformar em um prejuízo de grandes proporções.

Para estudos posteriores, é possível refazer novos ensaios utilizando um drone, principalmente por abranger as áreas de materiais descompactadas e outros *softwares*, para comparar e detalhar as diferenças existentes nos MDTs e nas malhas retangulares e triangulares geradas, podendo proporcionar redução nas causas dos erros de subestimação ou superestimação no volume da produção e na contabilidade dos estoques.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Mosaic® Fertilizantes da unidade de Cajati – SP, representada pelo Gilvan Alves Lino, Robson Passos Germano e Hernan Pupo, por possibilitar a realização dos ensaios de campo e pela disponibilização de informações. À empresa Topoplan, representada pelo Guilherme F. Pedroso Teixeira e Claudemir R. Ribeiro, pela parceria no tratamento dos dados e ao Curso de Especialização em Engenharia Mineral (CEEM) da Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), em que este projeto foi executado no formato de trabalho de conclusão de curso.

Referências

- 1 Ribeiro S Jr. Determinação de volumes em atividades de mineração utilizando ferramentas do sensoriamento remoto [tese]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 2011.
- 2 Rocha AP, Souza LMG, Ferreira RRF, Silva MB. Levantamento topográfico perimétrico: método GNSS RTK X método Polar. In: 13º Congresso de Cadastro Multifinalitário e Gestão Territorial; 2018 outubro 21-24; Florianópolis; Brasil. Anais [...]. Florianópolis: Cobrac; 2018. p. 113-124.
- 3 Barbosa EM, Monico JFG, Alves DBM, Oliveira LC. Integridade no posicionamento RTK e RTK em rede. Boletim de Ciências Geodésicas. 2010;16:589-605. <http://doi.org/10.1590/S1982-21702010000400007>.
- 4 El-Sheimy N, Valeo C, Habib A. Digital terrain modeling: acquisition, manipulation and applications. Boston: Artech House; 2005.

- 5 Paranhos Filho AC, Mioto CL, Pessi DD, Gamarra RM, Silva NM, Ribeiro VO, et al. Geotecnologias para aplicações ambientais. Maringá: Uniedusul; 2020.
- 6 Felgueiras CA. Modelagem numérica de terreno. In: Câmara G, Davis C, Monteiro AMV, editors. Introdução à ciência da geoinformação. São José dos Campos: INPE; 2001. p. 1-38.
- 7 Costa FS. Extração fotogramétrica de modelos digitais de superfície: um estudo comparativo para a bacia hidrográfica do Rio Piabanha/RJ [dissertação]. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro; 2014.
- 8 Miranda GHB, Medeiros NG, Santos AP, Santos GR. Análise de qualidade de amostragem e interpolação na geração de MDE. Rev. Bras. Cartografia. 2018;70:226-257.
- 9 Braga DM. Técnicas de análises de densidade e porosidade de minério de ferro por cálculo normativo mineralógico, microtomografia computadorizada, permoporosimetria e picnometria clássica: um estudo comparativo entre os métodos [dissertação]. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais; 2019.
- 10 Reis CHM. Estimativa da variável densidade e seu impacto no planejamento de lavra: estudo de caso Mina de Serra Azul [dissertação]. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto; 2019.
- 11 Rocha R., Barros J.M.C., Vieira R. Contribuição ao Estudo do Empolamento dos Solos. In: XVI COBRAMSEG - Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica; 2012; Porto de Galinhas, Brasil. Anais [...]. Porto de Galinhas: XVI COBRAMSEG; 2012.
- 12 Barros G. Reavaliação geoestatística dos recursos/reservas de fosfato da Mina de Cajati, SP [dissertação]. São Paulo: Universidade de São Paulo; 2001.
- 13 Brumatti M. Mineralogia aplicada ao beneficiamento das zonas de xenólitos, Mina de Cajati, SP [dissertação]. São Paulo: Universidade de São Paulo; 2008.

Recebido: 30 Jan. 2024

Aceito: 16 Out. 2024

Editor responsável: André Carlos Silva 