

Metodologia de análise quantitativa de volume de rocha desmontado utilizando software de mineração

Methodology for quantitative analysis of muck pile volume using specific mining
software

Dartanhan de Oliveira Valcarenghi¹, Luis Eduardo de Souza², Luciana Arnt Abichequer², Raul
Oliveira Neto², Ítalo Gomes Gonçalves²

¹ Tecnólogo em Mineração, Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, RS, Brasil

² Engenheiro(a) de Minas/Professor do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Mineral (PPGTM), Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, RS, Brasil

Resumo

Neste trabalho será apresentada uma metodologia de análise quantitativa de volume de rocha desmontado. A avaliação é feita a partir do levantamento de dados aferidos dos planos de fogo da empresa Dagoberto Barcellos S/A. O procedimento utilizado fundamentou-se em um conjunto de ações baseadas no software Micromine e no layout dos furos de detonação utilizados na lavra da empresa. Em campo foram coletadas informações referentes à detonação das bancadas de minérios, sendo assim, essas informações muniram o banco de dados do software, no módulo de desmonte, gerando o design dos planos de fogo. Com a visualização dos planos de fogo lançados no Micromine, foi possível a construção de bancadas de minério tridimensionais, utilizadas para o cálculo dos valores de volume do maciço rochoso a partir da malha triangulada. A ideia é comparar a estimativa de volumes e massas de material desmontado gerado pelo software e compará-los aos valores de volume obtidos pela empresa. Os resultados do trabalho estão expressos em tabelas e gráficos de colunas, para melhor visualização das diferenças de estimativas que se apresentaram muito pequenas.

Palavras-chave: Volume, Plano de fogo, Bancadas, Software, Micromine, Desmonte.

Abstract

This work presents a quantitative analysis methodology of blasted rock volume. Field topographic information was collected regarding the blasting of mining benches in a limestone mine, and these data plus the blast holes layout were used to generate a digital model of the benches with the Micromine software. Besides allowing the visualization of the 3D wireframe models with the spatial arrangement of the blast holes, it was possible obtain the volumes of the solids that is the actual rock volume generated by the blasting, and compare it with the estimated volumes, based on the estimated dimensions of the benches only. Despite the minor discrepancies observed in terms of volume, the results showed significant improvement on the visualization aspects and were useful to detect problems related with the blasting plan as burden distance above or below the optimal and deviations of blast holes.

Keywords: Volume, fire plan, benches, software, Micromine, blasting rock.

1 Introdução

A determinação de volumes na mineração se faz necessária desde a fase de pesquisa, no dimensionamento e na cubagem de corpos mineralizados, passando pelas operações de mina, como nos desmontes e nas disposições de materiais, até a fase final de produção com a medição dos produtos gerados.

Muitas empresas têm utilizado metodologias para determinação de volumes, na maioria das vezes com o uso de levantamentos topográficos, cujas técnicas têm evoluído constantemente, proporcionando, também, resultados cada vez mais precisos, mas com maior exigência de tempo para tal. Sendo assim, torna-se importante a utilização de ferramentas tecnológicas para mensurar e cubar materiais sólidos nas minerações, assim como bancadas de minério e pilhas de rejeito e estéreis.

Através do emprego do *software Micromine*, é possível criar bancadas de minério tridimensionais capazes de fornecer resultados de volume, área da superfície e coordenadas de localização. Sendo assim, é possível melhorar a confiabilidade e a qualidade dos dados utilizados para determinação de volume do material desmontado, quantificando-o de maneira mais próxima à realidade.

A complexidade geológica é um fator predominante na diluição do minério desmontado, pois a quantidade de diques e intrusões de mineralizações sem valor agregado acaba inviabilizando a seletividade da lavra. Apesar de o plano de fogo da empresa Dagoberto Barcellos S/A ser baseado principalmente na seletividade da lavra, é praticamente impossível detonar uma bancada de calcário sem que se tenham outros tipos de materiais combinados no mesmo desmonte.

Quando o arranque da rocha no nível da praça não se dá por completo, acaba gerando algumas saliências, denominadas de “repé”, que também necessitam ser removidas por detonação posterior. Sendo assim, existem vários fatores que interferem na exatidão de volume do mineral de interesse realmente desmontado. Além de fatores citados anteriormente, como a geologia, outro dado importante é a quantidade de material que deveria ter sido desmontado junto com o restante dos furos que, apesar de todos detonados, acabam gerando o “repé” da bancada.

O procedimento adotado para retirada do repé é conhecido por “furos de levante”, denominado assim por ser um plano de fogo com perfurações curtas e horizontalizadas, com o intuito de levantar (detonar) o minério sobrejacente no pé da bancada.

A partir dos dados coletados em campos realizados, referentes ao desmonte de rochas da empresa Dagoberto Barcellos S/A, este trabalho tem como meta lançar os planos de fogo utilizados pela empresa no *software Micromine – Módulo de desmonte* e comparar os resultados de volume de rocha desmontada.

Para a metodologia de análise quantitativa de volume de rocha desmontado, foram criadas bancadas digitalizadas no *software Micromine*, a partir de dados coletados em campo dos planos de fogo utilizado na empresa, para detonação do material rochoso. Foram geradas estimativas de volumes, calculadas pelo *software* a partir de malhas trianguladas originadas na construção das bancadas.

Os volumes obtidos através do método de cubagem do *Micromine* foram comparados com seus respectivos volumes medidos pela empresa Dagoberto Barcellos S/A. Sendo assim, o projeto visa aumentar o controle de produção sobre o material desmontado.

2 Geologia regional

O contexto geológico regional compreende rochas do Complexo Metamórfico Vacacaí, que ocorre a oeste do Escudo Sul-Riograndense, constituído por uma unidade metavulcânica e uma unidade metavulcanossedimentar. A unidade metavulcânica é composta por rochas como metandesito, metatufo, metavulcanoclástica e níveis de sedimentos metamorfizados nas fácies xisto verde e anfíbolito. A unidade metavulcanossedimentar é constituída por lentes de mármore e xistos provenientes de metapelito, grafita xisto, quartzitos, anfíbolito e níveis de metavulcânicas

intermediárias, todo o conjunto metamorizado nas fácies (PORCHER & LOPES, 2000). Na Figura 1, é apresentado o mapa geológico simplificado, onde podem ser observadas as principais litologias que ocorrem regionalmente.

O contexto geológico do Complexo Metamórfico Vacacaí, constituído por uma unidade vulcânica e uma unidade vulcanossedimentar (Wildner *et al.*, 2008), sendo responsável pelas unidades vulcanossedimentar e unidade metavulcânica, constitui o embasamento da bacia sedimentar. O metamorfismo regional que afetou as rochas desta associação é de baixo grau, com rochas de grau metamórfico mais elevado apenas nas proximidades das intrusões graníticas (Ribeiro, 1970).

A Suíte Granítica Caçapava do Sul (SGCS), com idade aproximada de 540 Ma, possui um formato de um corpo elíptico com o eixo maior orientado na direção N-S com cerca de 30 km de extensão. A SGCS compreende dois corpos graníticos intrusivos no Complexo Metamórfico Vacacaí, sendo que este complexo forma um cinturão metamórfico no entorno da SGCS (PORCHER & LOPES, 2000). Por sua vez, Bitencourt (1983) caracterizou dois eventos metamórficos regionais, dos quais o mais antigo é representado por paragêneses compatíveis com a fácies anfibolito; o segundo evento é essencialmente retrogressivo e apresenta associações mineralógicas compatíveis com a fácies xisto verde, relacionado à fase de deformação responsável pela xistosidade regional.

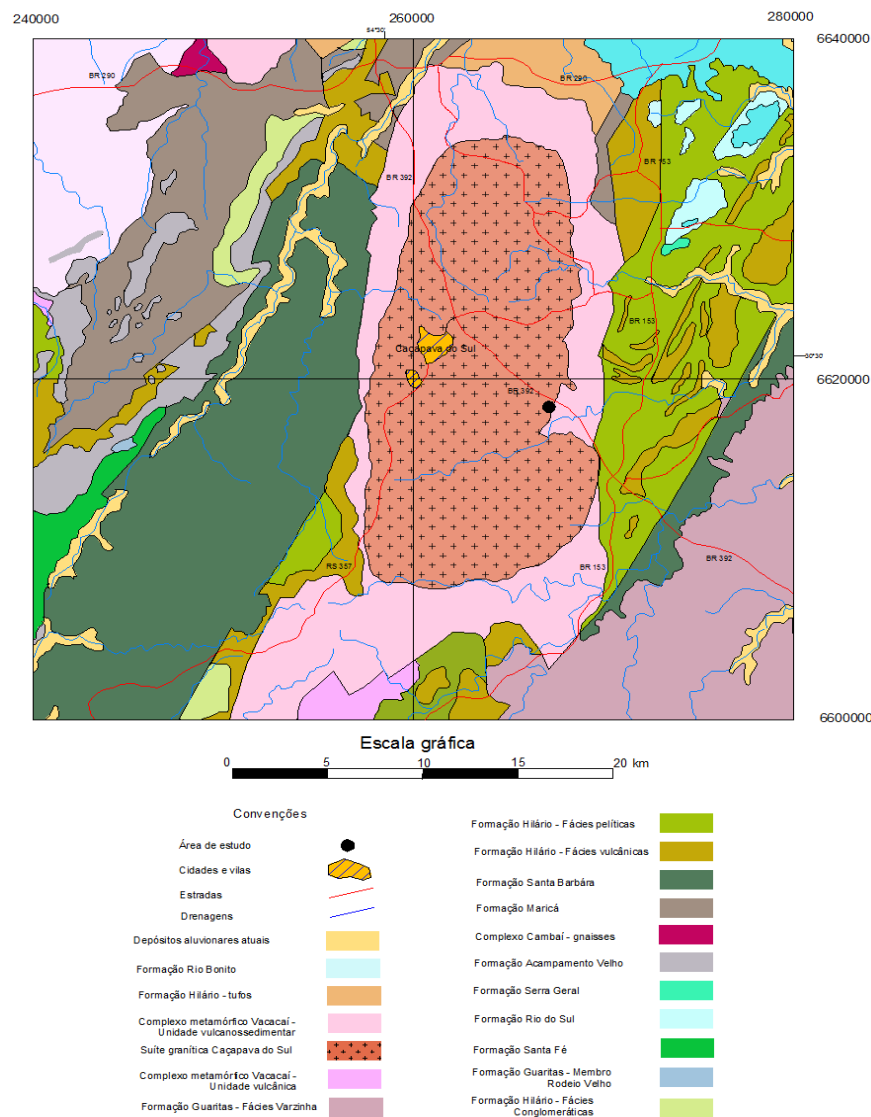


Figura 1: Mapa geológico simplificado (fonte: Dorneles, 2013)

2.1 Geologia local

A área de estudo encontra-se inserida no Complexo Metamórfico Vacacaí (em maior abrangência), localmente caracterizado por anfíbolitos, mica-xisto e lentes de mármore e com parte da área abrangendo, também, a Suíte Granítica Caçapava do Sul (SGCS). Na região do município de Caçapava do Sul, é realizada a extração de calcário metamorfozado (do tipo marga) ou mármore, inserido na unidade metavulcanos sedimentar do complexo. Segundo Bortolotto (1987), o mármore é uma rocha metamórfica que possui entre 50% e 95% de carbonatos formados a partir de calcários e dolomitos submetidos a pressões e temperaturas elevadas. Pode conter impurezas, normalmente de composição silicática, que formam bandas entre partes de composição carbonática uniforme, possuindo cores esverdeadas e amareladas.

O depósito, de maneira geral, possui uma forma lenticular com direção preferencial Norte-Sul, mergulhando, em média, 30° para leste. Em meios às camadas de rocha calcária metamorfozada, existem outras partículas minerais (argilas e silicatos), consideradas impurezas, que assentaram junto com os minerais de calcita e dolomita e metamorfizam-se a milhares de anos. Entre as camadas (ou bandamentos), ocorrem intrusões graníticas supergênicas, em sentido concordante em relação ao calcário e, em algumas partes, em sentido discordante. Observam-se, também, intrusões de diabásio (formado posteriormente ao granito), intrudidos em sentido discordante àquele do calcário.

O material pode apresentar-se tanto de forma calcítica, com composição mineralógica CaCO_3 , ou dolomítica, de composição $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. De acordo com a mineralogia e, conseqüentemente, com sua composição química, diferentes destinações são dadas ao minério: enquanto o material calcítico, após passar por processo de calcinação, é empregado na fabricação de cal e argamassa, o calcário dolomítico, em função das características químicas, é empregado como corretivo de solo. Em função da grande presença de intrusões e do alto grau de fraturamento, não é possível a utilização para fins ornamentais e de revestimento. Além disso, a porção do material calcítico que apresenta maior poder neutralizador e baixo percentual de resíduos é enviada para uma usina termelétrica localizada no município de Candiota, onde atua na neutralização das emissões decorrentes da queima do carvão.

2.2 Localização

A empresa Dagoberto Barcellos S/A está localizada a aproximadamente 8 km da área urbana do município de Caçapava do Sul, no distrito de Caieras, às margens da BR 392 (Figura 2). Atualmente, em operação, há duas cavas, Mangueirão e Corticeira, de onde é extraído o material utilizado para correção de solos e fabricação de cal e argamassa. O parque industrial da empresa abriga duas fábricas com capacidade de produção de 900.000 t/ano de calcário, uma moderna fábrica de cal para construção com capacidade de produção de 144.000 t/ano e uma fábrica de argamassa com capacidade de produção anual de 40.000 t.

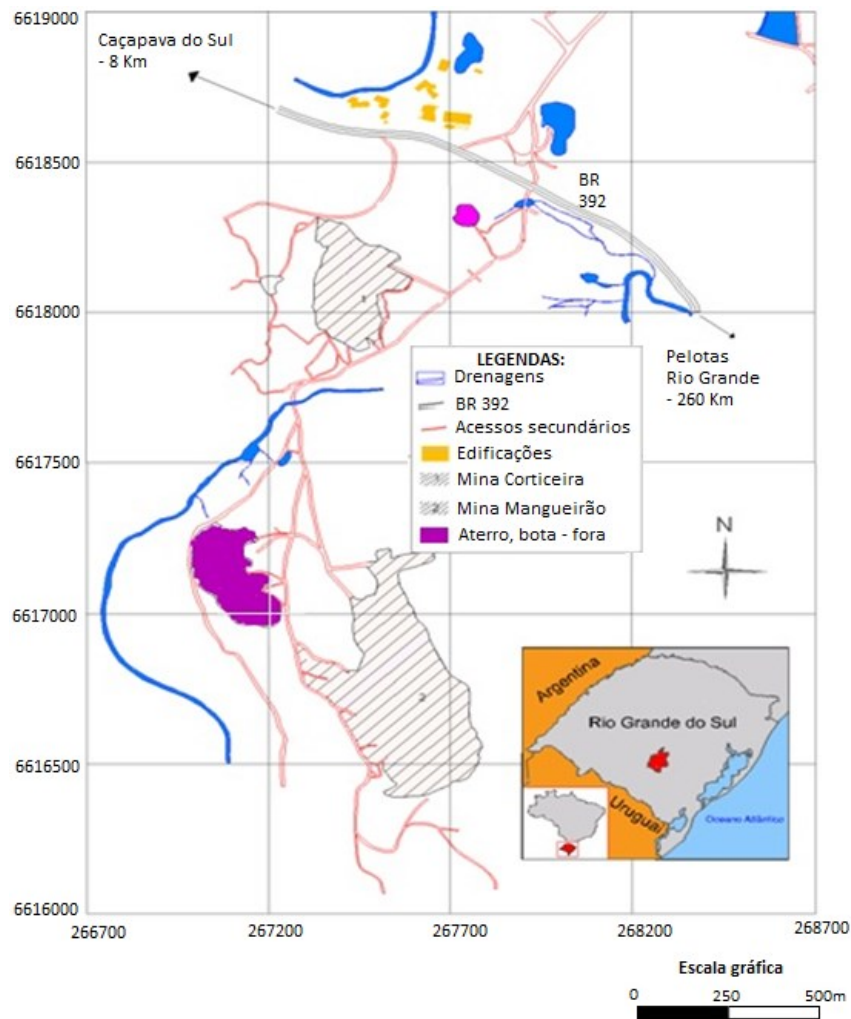


Figura 2: Mapa de localização da área de estudo (fonte: Dorneles, 2013)

3 Estado da arte

3.1 Desmante

O desmante de rochas com explosivo é uma das técnicas de escavação mais baratas e utilizadas pelas empresas de mineração, pois é muito mais econômica do que o desmante mecânico e tem alta taxa de produtividade, sendo também o primeiro estágio de cominuição, já que a distribuição granulométrica tem impacto significativo sobre os processos de britagem e moagem. Rodrigues (2011) afirma que os parâmetros necessários à realização das operações de desmante de rochas são estabelecidos através dos “planos de fogo” e dele constam os tipos, as quantidades e a disposição de explosivos e de acessórios de detonação a serem utilizados, o diâmetro com que as perfurações devem ser realizadas, seu posicionamento, sua inclinação e sua profundidade.

O desmante com explosivos é uma etapa intermediária, já que é realizado após a perfuração da rocha e antes das operações de carregamento, transporte, cominuição e britagem, tendo como objetivo principal fragmentar e deslocar o material rochoso contido nas bancadas de minério. Nas bancadas, temos três superfícies características (Figura 3):

- (i) praça, que é a superfície na qual operamos equipamentos de carregamento e transporte;
- (ii) face, superfície vertical ou inclinada deixada pelo desmante;

(iii) topo, onde operam os equipamentos de perfuração, que abrem uma série de furos no maciço, para execução do plano de fogo.

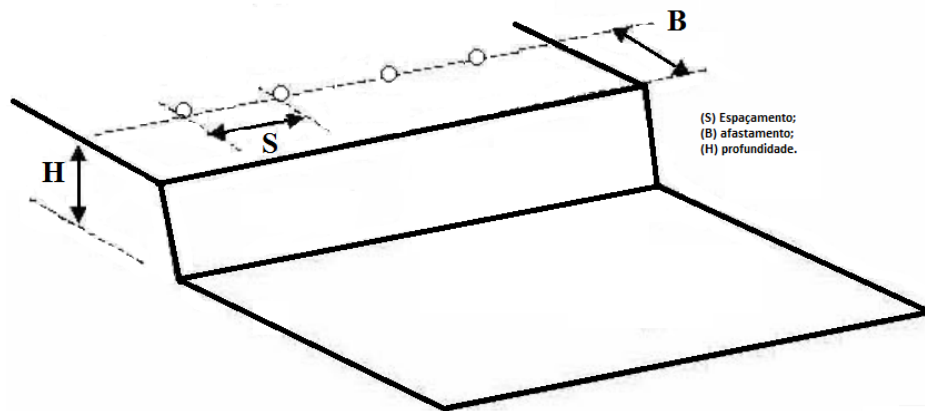


Figura 3: Superfícies das bancadas

Segundo Ricardo e Catalani (1990), o plano de fogo é a definição da forma de se trabalhar em uma bancada para posterior detonação da mesma.

Konya' (1995) afirma que o projeto de detonação deve englobar conceitos fundamentais de planejamento para um plano de fogo ideal, modificados, quando necessário, levando-se em conta as condições geológicas locais. O plano de fogo deve ser avaliado, concebido e verificado com um passo de cada vez, sendo que existem vários parâmetros que influenciam no desmonte de rochas, assim como:

- (i) diâmetro das perfurações (d);
- (ii) afastamento (B);
- (iii) espaçamento (S);
- (iv) altura da bancada (K);
- (v) subfuração (U);
- (vi) altura da carga (h);
- (vii) profundidade do furo (H);
- (viii) tampão (T).

De acordo com Sen (1995), a rocha é afetada por uma detonação em três etapas principais:

- (i) a partir do ponto de iniciação do furo, que se expande através do rompimento das paredes da bancada, isto é, devido à alta pressão após a detonação;
- (ii) na segunda etapa, as ondas de tensão de compressão emanam em todas as direções a partir do furo com uma velocidade igual à velocidade sônica de onda na rocha;
- (iii) quando essas ondas de tensão de compressão refletirem contra uma rocha livre, elas causam tensões de tração no maciço rochoso entre a do furo e face livre. Se a resistência à tração da rocha é excedida, as quebras de rocha acontecem na área do *burden*, que seria o caso em uma detonação projetada corretamente.

Sen (1995) também afirma que o melhor uso dos explosivos é feito quando uma explosão produz uma ruptura, dando boa fragmentação, evitando excesso de ultra lançamento. O sucesso de alcançar estes objetivos depende significativamente do Plano de fogo.

No decorrer de uma detonação, são produzidos diversos impactos ambientais, os quais podem ser referidos por ordem decrescente de risco (definido em relação à magnitude do impacto e à probabilidade com que o mesmo ocorre):

- (i) instabilidade ao maciço remanescente;
- (ii) ultralancamento de rochas;
- (iii) vibrações;
- (iv) ruídos (sobre pressão acústica);
- (v) produção de poeiras;
- (vi) gases.

De acordo com Sen (1995), técnicas envolvendo explosivos diferem de outros sistemas disponíveis em que a energia aplicada é libertada numa questão de milésimos de segundo. Se o processo de libertação de energia não é adequadamente controlado, existe um perigo potencial de perturbação ambiental. A utilização de explosivos industriais requer uma cuidadosa preparação das operações, onde a caracterização dos maciços rochosos ocupa lugar preponderante. A adequada seleção dos explosivos implica na igualdade (ou proximidade) das impedâncias que regem à distribuição da tensão de compressão e às características dos explosivos e das rochas, seguindo-se o estabelecimento da lei de propagação de vibrações, através da detonação de cargas teste e do monitoramento sistemático de vibrações e ruídos, tendo em vista o respeito pela legislação e a minimização de impactos ambientais (GAMA, 2008).

3.2 Triangulação de Delaunay

De acordo com Moura *et al.* (2006), a triangulação de Delaunay (Figura 4) pode ser definida em matemática e geometria computacional e, neste contexto, pode ser vista como uma estratégia de decompor uma área em triângulos, respeitando suas características geométricas. Assim, a triangulação de Delaunay funciona como uma espécie de gabarito para delimitar os espaços através da criação de uma malha triangular.

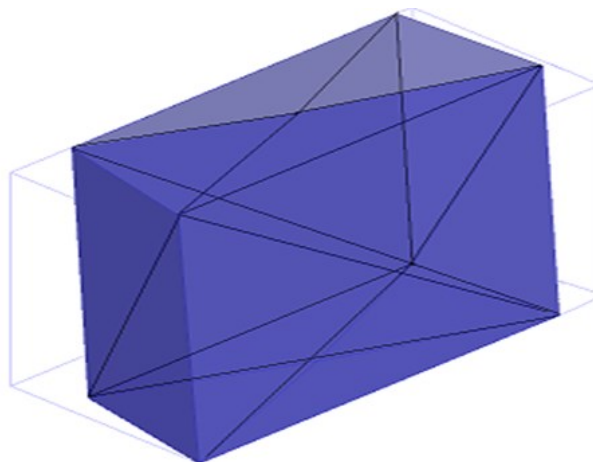


Figura 4: Triangulação de Delaunay.

4 Materiais e métodos

Para a coleta de dados, foi utilizada uma caderneta de campo, que é uma ferramenta essencial às interpretações realizadas em etapas de pesquisa. Na caderneta de campo, foram registradas características específicas das variáveis do desmonte, tais como coordenadas geográficas, croqui de plano de fogo e observações particularizadas de cada caso.

Com o auxílio do GPS, foi possível marcar as coordenadas das bancadas de calcário, onde foram executados os planos de fogo, sendo de grande valia para alimentação do banco de dados. Para determinar direções e o azimute do furo, foi empregado o uso de uma bússola.

Tendo em vista uma quantidade suficiente de dados, sendo que foram avaliadas um total de 19 bancadas de minério, as informações foram lançadas no *software Micromine*, que é uma solução modular que permite capturar, gerenciar e interpretar dados de exploração na mineração. O *software* proporciona uma compreensão profunda do projeto para que seja possível atingir com precisão as regiões de maior potencial, aumentando a chance de sucesso do projeto.

O *Micromine* integra módulos de: exploração, *wireframing*, avaliação de recursos, otimização do *pit*, mineração, desmonte, topografia e plotagem.

Para este trabalho, foi utilizado o módulo de desmonte, que desenvolve um plano de fogo com parâmetros que são assumidos para mostrar os melhores resultados.

Como o módulo para desmonte não cria um modelo tridimensional do material que vai ser desmontado, as bancadas de minério foram construídas a partir de coordenadas coletadas em campo e reproduzidas no *software* por uma malha que estima valores de volume por um modelo matemático de triangulação.

A estimativa das bancadas de minério criadas no *Micromine*, parte da ideia de detonação sem extrapolação, assumindo que a delimitação da área detonada, corresponde ao entorno dos furos externos (Figura 5 e 8).

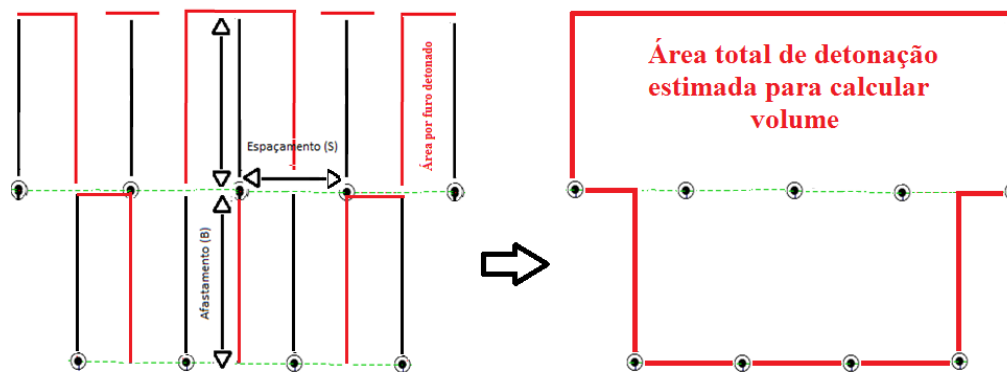


Figura 5: Área de detonação estimada para calcular volume.

As bancadas de minério construídas no *software* foram estimadas a partir das medidas presentes no plano de fogo, de afastamento (B) e espaçamento (S), respeitando a área de detonação comentada anteriormente.

5 Resultados e discussões

5.1 Criando o banco de dados

As informações coletadas na área de estudo foram lançadas no *software Micromine* no módulo de desmonte, onde são importados os dados de cada variável do desmonte (Figura 6) e definidas as opções de visualizações.

Após a importação dos dados, o programa cria uma planilha onde são atribuídos os valores de cada variável.

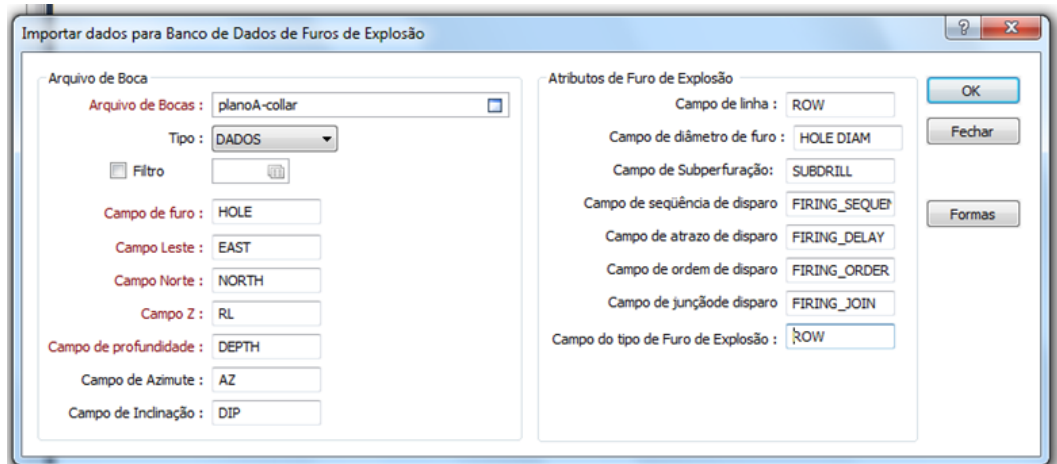


Figura 6: Variáveis do desmonte

Logo após o preenchimento das variáveis utilizadas para o design do plano de fogo, é possível plotar os furos e escolher a sequência de disparo. Os furos que apresentam os mesmos números são detonados ao mesmo tempo em ordem crescente de valores (Figura 7). As malhas utilizadas nos desmontes da empresa Dagoberto Barcellos S/A são conhecidas como estagiadas ou “pé de galinha”, que, devido à geometria de furos alternados, dificulta a perfuração (maior tempo de locomoção furo a furo), porém possui melhor distribuição do explosivo no maciço rochoso.

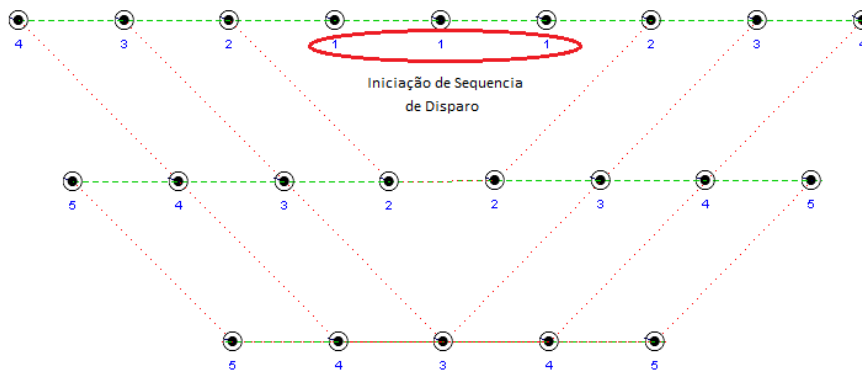


Figura 7: design do plano de fogo

A plotagem do plano de fogo no *software* também é importante para melhor visualização dos furos (Figura 8).

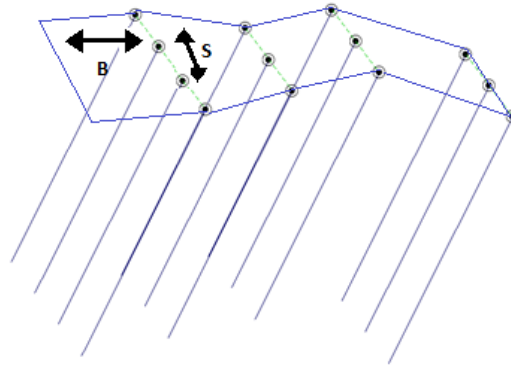


Figura 8: Visualização do furos

5.2 Estimativas de volume calculado pelo Micromine

As estimativas de volume calculadas pelo *Micromine* foram geradas a partir de malhas trianguladas na construção das bancadas de minério (Figura 9).

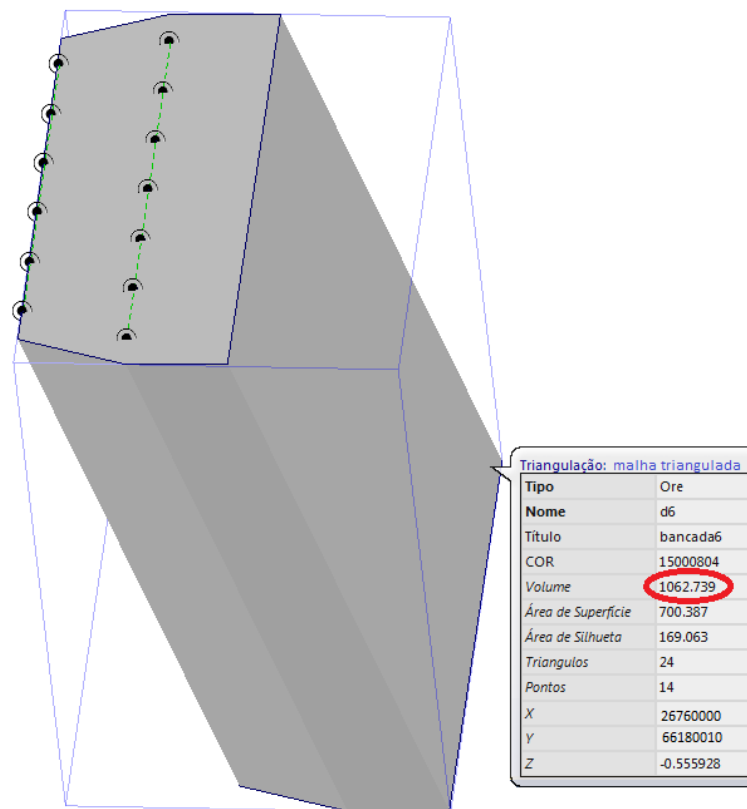


Figura 9: Bancada de minério

Cada uma das imagens tridimensionais das bancadas de minério construídas no *Micromine* nos forneceu o volume do maciço gerado pela malha triangulada (Figura 10 e Figura 11).

<p>Triangulação: Nova Malha Triangulada</p> <p>Tipo Ore</p> <p>Nome D - 01</p> <p>Título bancada 01</p> <p>COR 16777215</p> <p>Volume 635.255</p> <p>Área de Superfície 599.856</p> <p>Área de Silhueta 186.619</p> <p>Triangulos 24</p> <p>Pontos 14</p> <p>X 26739000</p> <p>Y 66178620</p> <p>Z 6.034523</p>	<p>Triangulação: Nova Malha Triangulada</p> <p>Tipo Ore</p> <p>Nome D - 02</p> <p>Título bancada 02</p> <p>COR 16777215</p> <p>Volume 424.710</p> <p>Área de Superfície 342.877</p> <p>Área de Silhueta 186.619</p> <p>Triangulos 24</p> <p>Pontos 14</p> <p>X 26770700</p> <p>Y 66165250</p> <p>Z 8.340672</p>	<p>Triangulação: Nova Malha Triangulada</p> <p>Tipo Ore</p> <p>Nome D - 03</p> <p>Título bancada 03</p> <p>COR 16777215</p> <p>Volume 866.250</p> <p>Área de Superfície 509.584</p> <p>Área de Silhueta 186.619</p> <p>Triangulos 16</p> <p>Pontos 10</p> <p>X 26759600</p> <p>Y 66181280</p> <p>Z 10.456277</p>	<p>Triangulação: Nova Malha Triangulada</p> <p>Tipo Ore</p> <p>Nome D - 04</p> <p>Título bancada 04</p> <p>COR 16777215</p> <p>Volume 793.652</p> <p>Área de Superfície 474.206</p> <p>Área de Silhueta 186.619</p> <p>Triangulos 16</p> <p>Pontos 10</p> <p>X 26757600</p> <p>Y 66167340</p> <p>Z 11.025766</p>	<p>Triangulação: Nova Malha Triangulada</p> <p>Tipo Ore</p> <p>Nome D - 05</p> <p>Título bancada 05</p> <p>COR 16777215</p> <p>Volume 865.841</p> <p>Área de Superfície 651.987</p> <p>Área de Silhueta 186.619</p> <p>Triangulos 46</p> <p>Pontos 14</p> <p>X 26755200</p> <p>Y 66167400</p> <p>Z 10.320440</p>
<p>Triangulação: Nova Malha Triangulada</p> <p>Tipo Ore</p> <p>Nome D - 06</p> <p>Título bancada 06</p> <p>COR 16777215</p> <p>Volume 899.47</p> <p>Área de Superfície 590.770</p> <p>Área de Silhueta 203.534</p> <p>Triangulos 16</p> <p>Pontos 10</p> <p>X 26756900</p> <p>Y 66167740</p> <p>Z 17.162788</p>	<p>Triangulação: Nova Malha Triangulada</p> <p>Tipo Ore</p> <p>Nome D - 07</p> <p>Título bancada 07</p> <p>COR 16777215</p> <p>Volume 473.16</p> <p>Área de Superfície 102.023</p> <p>Área de Silhueta 89.830</p> <p>Triangulos 16</p> <p>Pontos 10</p> <p>X 26748700</p> <p>Y 66187800</p> <p>Z 4.0127499</p>	<p>Triangulação: Nova Malha Triangulada</p> <p>Tipo Ore</p> <p>Nome D - 08</p> <p>Título bancada 08</p> <p>COR 16777215</p> <p>Volume 438.720</p> <p>Área de Superfície 354.981</p> <p>Área de Silhueta 175.023</p> <p>Triangulos 36</p> <p>Pontos 18</p> <p>X 26758000</p> <p>Y 66167340</p> <p>Z 4.0177890</p>	<p>Triangulação: Nova Malha Triangulada</p> <p>Tipo Ore</p> <p>Nome D - 09</p> <p>Título bancada 09</p> <p>COR 16777215</p> <p>Volume 432.95</p> <p>Área de Superfície 381.500</p> <p>Área de Silhueta 143.100</p> <p>Triangulos 24</p> <p>Pontos 14</p> <p>X 26775100</p> <p>Y 66165000</p> <p>Z 10.008354</p>	<p>Triangulação: Nova Malha Triangulada</p> <p>Tipo Ore</p> <p>Nome D - 10</p> <p>Título bancada 10</p> <p>COR 16777215</p> <p>Volume 1154.41</p> <p>Área de Superfície 620.980</p> <p>Área de Silhueta 280.540</p> <p>Triangulos 24</p> <p>Pontos 14</p> <p>X 26756600</p> <p>Y 66725900</p> <p>Z 15.014437</p>

Figura 10: Volume da malha triangulada

<p>Triangulação: Nova Malha Triangulada</p> <p>Tipo Ore</p> <p>Nome D - 11</p> <p>Título bancada 11</p> <p>COR 16777215</p> <p>Volume 4659.450</p> <p>Área de Superfície 810.574</p> <p>Área de Silhueta 292.896</p> <p>Triangulos 24</p> <p>Pontos 14</p> <p>X 26771000</p> <p>Y 66165110</p> <p>Z 15.024377</p>	<p>Triangulação: Nova Malha Triangulada</p> <p>Tipo Ore</p> <p>Nome D - 12</p> <p>Título bancada 12</p> <p>COR 16777215</p> <p>Volume 808.080</p> <p>Área de Superfície 560.600</p> <p>Área de Silhueta 217.420</p> <p>Triangulos 16</p> <p>Pontos 10</p> <p>X 26757300</p> <p>Y 66167700</p> <p>Z 14.020988</p>	<p>Triangulação: Nova Malha Triangulada</p> <p>Tipo Ore</p> <p>Nome D - 13</p> <p>Título bancada 13</p> <p>COR 16777215</p> <p>Volume 386.710</p> <p>Área de Superfície 286.432</p> <p>Área de Silhueta 102.353</p> <p>Triangulos 24</p> <p>Pontos 14</p> <p>X 26765500</p> <p>Y 66165400</p> <p>Z 9.1320995</p>	<p>Triangulação: Nova Malha Triangulada</p> <p>Tipo Ore</p> <p>Nome D - 14</p> <p>Título bancada 14</p> <p>COR 16777215</p> <p>Volume 461.760</p> <p>Área de Superfície 275.677</p> <p>Área de Silhueta 159.879</p> <p>Triangulos 16</p> <p>Pontos 10</p> <p>X 26751100</p> <p>Y 66180750</p> <p>Z 8.0119877</p>	<p>Triangulação: Nova Malha Triangulada</p> <p>Tipo Ore</p> <p>Nome D - 15</p> <p>Título bancada 15</p> <p>COR 16777215</p> <p>Volume 4563.250</p> <p>Área de Superfície 1081.080</p> <p>Área de Silhueta 419.203</p> <p>Triangulos 56</p> <p>Pontos 28</p> <p>X 26764400</p> <p>Y 66183400</p> <p>Z 13.006520</p>
<p>Triangulação: Nova Malha Triangulada</p> <p>Tipo Ore</p> <p>Nome D - 16</p> <p>Título bancada 16</p> <p>COR 16777215</p> <p>Volume 885.040</p> <p>Área de Superfície 504.407</p> <p>Área de Silhueta 334.650</p> <p>Triangulos 24</p> <p>Pontos 14</p> <p>X 26754300</p> <p>Y 66180730</p> <p>Z 8.0154880</p>	<p>Triangulação: Nova Malha Triangulada</p> <p>Tipo Ore</p> <p>Nome D - 17</p> <p>Título bancada 17</p> <p>COR 16777215</p> <p>Volume 500.240</p> <p>Área de Superfície 290.750</p> <p>Área de Silhueta 178.908</p> <p>Triangulos 24</p> <p>Pontos 14</p> <p>X 26756300</p> <p>Y 66167400</p> <p>Z 8.0122380</p>	<p>Triangulação: Nova Malha Triangulada</p> <p>Tipo Ore</p> <p>Nome D - 18</p> <p>Título bancada 18</p> <p>COR 16777215</p> <p>Volume 360.755</p> <p>Área de Superfície 277.334</p> <p>Área de Silhueta 188.577</p> <p>Triangulos 24</p> <p>Pontos 14</p> <p>X 26756100</p> <p>Y 66267340</p> <p>Z 15.023150</p>	<p>Triangulação: Nova Malha Triangulada</p> <p>Tipo Ore</p> <p>Nome D - 19</p> <p>Título bancada 19</p> <p>COR 16777215</p> <p>Volume 953.520</p> <p>Área de Superfície 754.877</p> <p>Área de Silhueta 198.780</p> <p>Triangulos 24</p> <p>Pontos 14</p> <p>X 26763100</p> <p>Y 66178800</p> <p>Z 8.0122380</p>	

Figura 11: Volume da malha triangulada

5.3 Estimativa de volume da empresa

A empresa Dagoberto Barcellos S/A estima seus valores de volume de rocha, adquirido pelo desmonte, de acordo com o número de furos detonados (Figura 12), usando a seguinte equação:

$$V = B \times S \times H \times nf \quad (1)$$

Onde:

- (i) volume (V);
- (ii) afastamento (B);
- (iii) espaçamento (S);
- (iv) comprimento do furo (H);
- (v) número de furos (nf).

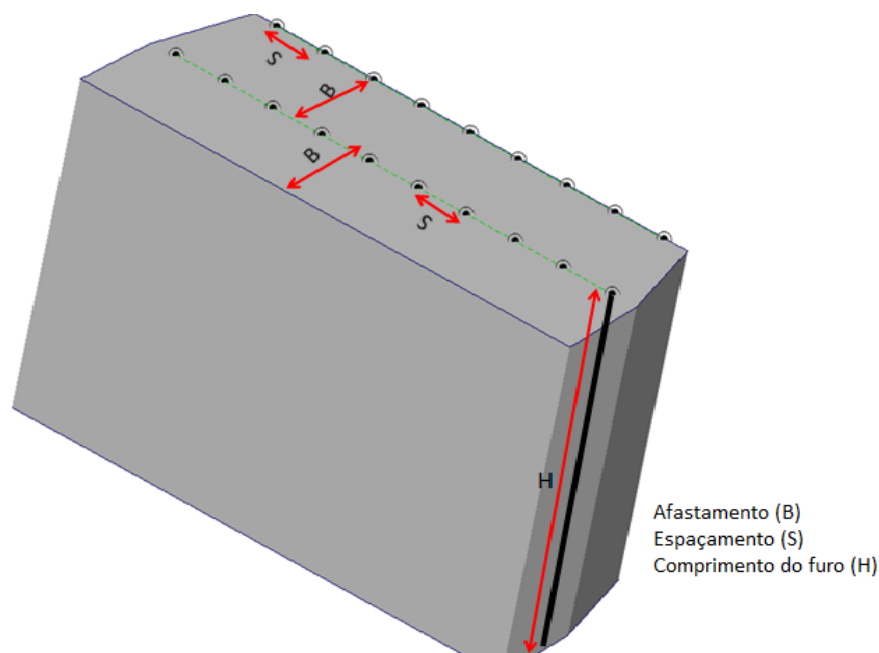


Figura 12: Volume por furo detonado

Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, são apresentados os resultados obtidos em termos de volumes e massas estimados, onde é possível observar uma pequena diferença entre os volumes calculados, sendo que os volumes estimados pelo Micromine foram de menor valor do que as estimativas calculadas pela Dagoberto Barcellos S/A.

Tabela 1: Volumes e massas estimadas

DESMONTE	Nº DE FUROS (UND)	PROFUNDIDADE (M)	DENSIDADE (g/cm³)	VOLUME (CM³)	MASSA (Kg)	VOLUME MICROMINE (CM³)	MASSA MICROMINE (CM³)	DIFERENÇA DE VOLUME (M³)
D-01	25	6	2.55	721.88	1840.78	635.26	1619.90	86.62
D-02	13	8	2.55	500.50	1276.28	424.71	1083.01	75.79
D-03	21	10	2.55	1010.63	2577.09	866.25	2208.94	144.38
D-04	17	11	2.55	899.94	2294.84	793.65	2023.81	106.29
D-05	20	10	2.55	962.50	2454.38	865.84	2207.89	96.66
D-06	13	17	2.55	1063.56	2712.08	899.47	2293.65	164.09
D-07	11	4	2.55	211.75	539.98	173.16	441.56	38.59
D-08	31	4	2.55	596.75	1521.71	538.72	1373.74	58.03
D-09	10	10	2.55	481.25	1227.19	432.95	1104.02	48.30
D-10	18	15	2.55	1299.38	3313.41	1154.41	2943.75	144.97
D-11	25	15	2.55	1804.69	4601.95	1659.45	4231.60	145.24
D-12	14	14	2.55	943.25	2405.29	808.08	2060.60	135.17
D-13	11	9	2.55	476.44	1214.92	386.71	986.11	89.73
D-14	14	8	2.55	539.00	1374.45	461.76	1177.49	77.24
D-15	27	13	2.55	1689.19	4307.43	1563.25	3986.29	125.94
D-16	25	8	2.55	962.50	2454.38	885.04	2256.85	77.46
D-17	15	8	2.55	577.50	1472.63	500.24	1275.61	77.26
D-18	6	15	2.55	433.13	1104.47	360.76	919.93	72.37
D-19	27	8	2.55	1039.50	2650.73	953.52	2431.48	85.98
				16213.31	41344	14363.23	36626.23	1850.11

Nas Figura 13 e 14 são apresentados os gráficos comparativos entre volume e massa de rocha desmontada, obtidos a partir da metodologia utilizada pela Dagoberto Barcellos e pelas superfícies trianguladas geradas pelo *Micromine*.

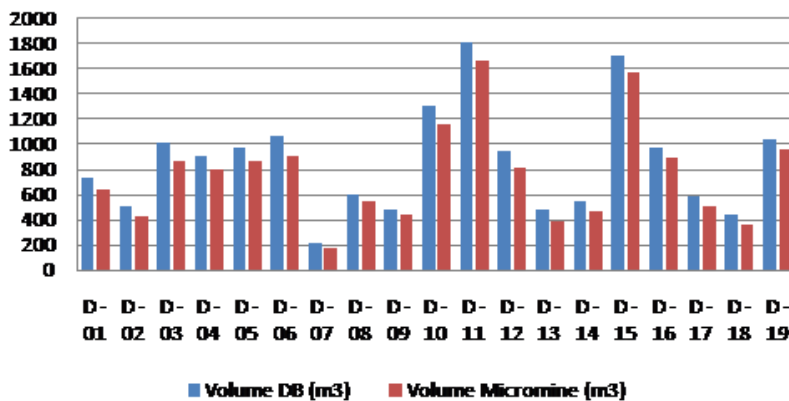


Figura 13: Comparações de estimativas de volume de rocha desmontado

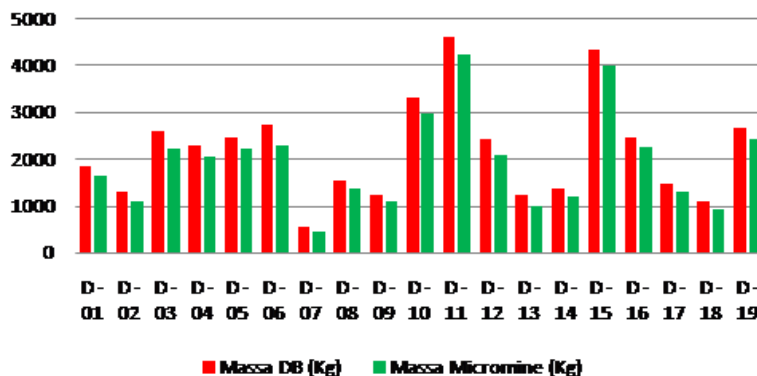


Figura 14: Comparações de estimativas de massa de rocha

6 Conclusões

A partir dos resultados das análises, foi possível notar que os volumes e as massas de minério calculados pelo *Micromine* foram cerca de 10% menores que as estimativas da Dagoberto Barcellos S/A. Como os resultados trabalhados são baseados em estimativas, fica praticamente impossível de diagnosticar qual dos resultados estão mais perto da realidade. Mas, levando em consideração a diluição do minério, causada por intrusões e diques de material sem valor agregado, torna-se interessante o uso dos resultados aferidos pelo software, como fator de segurança. Mesmo assim, seria interessante o uso do programa pela empresa, não apenas para cálculos de volume, mas também para outros fins relacionados ao planejamento da mina, assim como ao modelamento geológico da jazida e ao planejamento da cava. Por causa do curto tempo, devido a fatores externos, não foi possível a pesagem do material desmontado referentes às bancadas de minério da jazida de calcário da empresa. A observação salientada anteriormente, referenciando a pesagem do material, evidencia a importância de continuação do projeto.

Agradecimentos

Agradeço aos professores do Curso Superior de Tecnologia em Mineração e aos colegas Evandro Gomes, Gabriel Fontanelli e Ray Forgiarini, bem como aos profissionais da empresa Dagoberto Barcellos, em especial ao Tecnólogo Candido Baptista, que colaboraram na realização deste trabalho.

Referencias

- BITENCOURT, M. F. Metamórficos da região de Caçapava do Sul, RS: geologia e relações com o corpo granítico. SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 1. Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Geologia, pp.37- 48 (1983).
- BORTOLOTTI, O. J. Petrografia dos mármore de Caçapava do Sul. Ciência e Natura: V. 9 - p. 37-65, (1987).
- DORNELES, F.T., Controle e previsão de vibrações e ruídos gerados por desmonte de rochas com explosivos. 2013.
- GAMA, C. D.. Vibrações na atmosfera e nos terrenos adjacentes pós detonação de explosivos – quantificação da sua afetação ambiental. Acústica 2008, Coimbra, Portugal: Universidade de Coimbra, (2008).
- KONYA, C. J. Blast Design. Montville, Ohio, USA: Intercontinental Development Corporation, pp. 246 (1995).
- MOURA, A.L. Uma Proposta para a Triangulação de Delaunay 2D e Localização Planar de Pontos em OCaml. Uberlândia, MG: Universidade Federal de Uberlandia, Faculdade de Engenharia Elétrica. (2006).
- PORCHER, C. A.; LOPES, R. C. Ministério de Minas e Energia. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Cachoeira do Sul, Folha SH.22-Y-A.,. Estado do Rio de Grande do Sul. CPRM, (2000).
- RIBEIRO, M. Geologia da Folha de Bom Jardim, Rio Grande do Sul, Brasil. Rio de Janeiro: DNPM, Boletim 2 (1970).
- RICARDO, H. de S; CATALANI, G. Manual Prático de Escavação- terraplanagem e escavação de rocha. Ed. Pini, pp. 176 (1990).
- RODRIGUES, E.G. Relatório de estágio de Curso Técnico em Mineração. Tubarão, Brasil: Escola Educacional Técnica SATC, (2011).
- SEN, G.C. Blasting Technology – For Mining and Civil Engineers. Sydney, Austrália: University of New South Wales Press LTD., pp.154 (1995).
- WILDNER, W.; RAMGRAB, G. E.; LOPES, R. C.. Ministério de Minas e Energia. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul, CPRM, (2008).