

## Aplicação da metodologia mine to crusher na mineração de agregados

### Application of the mine to crusher methodology in aggregate mining

Tharik Bueno<sup>1</sup>  
Erwin Francisco Tochtrop<sup>2</sup>  
Leandro de Vilhena Costa<sup>3</sup>

256

**Resumo:** O conceito Mine to Crusher visa otimizar o desmonte de rochas com explosivos e a britagem primária, coletando dados de perfuração, detonação e britagem primária. Usando o Método de Kuz-Ram e softwares previamente escolhidos, uma nova malha pode ser dimensionada para se adequar às exigências técnicas e econômicas. O desmonte com explosivos é usado desde o século XVII e requer a escolha correta de explosivos, acessórios e parâmetros geométricos da malha de perfuração, além da caracterização do maciço rochoso. O estudo analisou os resultados do desmonte e da britagem primária da empresa RP Minérios, utilizando softwares como O-Pitblast, WipFrag e MS Solver para se otimizar o processo de fragmentação.

**Palavras-chave:** Mine to Crusher, desmonte de rochas, britagem, otimização, softwares.

**Abstract:** The Mine to Crusher concept aims to optimize rock blasting and primary crushing by collecting drilling, blasting and primary crushing data. Using the Kuz-Ram Method and pre-selected software, a new mesh can be sized to suit technical and stimulant requirements. Blasting with explosives has been used since the 17th century and requires the correct choice of explosives, accessories and drilling mesh geometries, in addition to the characterization of the rock mass. The study analyzed the results of the blasting and primary crushing of the company RP Minérios, using software such as O-Pitblast, WipFrag and MS Solver to optimize the fragmentation process.

**Keywords:** Mine to Crusher, rock blasting, crushing, optimization, software.

<sup>1</sup> Engenheiro de Minas. Graduado pela Universidade Federal de Catalão. E- mail: tharikbueno@gmail.com

<sup>2</sup> Engenheiro de Minas. Doutor em Tratamento de Minérios e Meio Ambiente pela Technische Universitaet Clausthal. Professor do Curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Catalão. E- mail: erwin\_tochtrop@ufcat.edu.br

<sup>3</sup> Engenheiro de Minas. Doutor em Engenharia Mineral pela Universidade Federal de Ouro Preto. Professor do Curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Catalão. E- mail: leandro\_vilhena@ufcat.edu.br

Recebido em 15/05/2024

Aprovado em 06/07/2024

Sistema de Avaliação: *Double Blind Review*



## 1 INTRODUÇÃO

A metodologia Mine to Crusher busca otimizar o processo de extração e processamento de rochas desmontadas com o auxílio de explosivos, a fim de se obter maior eficiência e redução de custos relacionados ao desmonte e a britagem primária. Através da coleta e tratamento de dados de perfuração, detonação e britagem é possível obter informações sobre as características do maciço rochoso e ajustar os parâmetros do plano de fogo para se melhorar a fragmentação. O presente trabalho aborda a avaliação das variações dos parâmetros do plano de fogo e dos custos do desmonte de rocha a céu aberto, destinado à produção de agregados para construção civil a partir do gnaíse.

O desmonte de rochas com explosivos é uma técnica amplamente utilizada na mineração para se garantir o traslado da rocha até a área de beneficiamento ou sua venda in natura, onde de acordo com alguns estudos, cerca de 70% da energia liberada pela detonação é aproveitada no processo de fragmentação da rocha, ao passo que nas etapas de cominuição subsequentes esse número no máximo alcança 20% (MARTINS, 2015), justificando assim um aproveitamento cada vez maior da energia proveniente dos explosivos para fins de economia de recursos e aumento de competitividade. O processo de desmonte envolve: a escolha do tipo de explosivo adequado, além dos acessórios de detonação e da definição de todos os parâmetros geométricos da malha de perfuração

## 2 METODOLOGIA

Através da coleta e tratamento de dados de perfuração, detonação e britagem é possível obter informações sobre as características do maciço rochoso e ajustar os parâmetros do plano de fogo para se melhorar a fragmentação

Este trabalho envolve a utilização de softwares e tecnologias como o O-Pitblast, WipFrag MS Solver e o boretrak para análise de dados e simulação (otimização) do desmonte ocorrido na empresa RP Minérios, com o auxílio do Modelo de Kuz-Ram, que é um conjunto de fórmulas empíricas destinadas ao dimensionamento da fragmentação, baseado nas características geomecânicas do maciço (que são essenciais para se definir estratégias de desmonte, evitar acidentes e garantir uma boa produtividade), na geometria da malha, na energia de explosão e na alimentação do britador primário.

## 2.1 DADOS DO PLANO DE FOGO

Para fins de se alcançar maior precisão na aferição dos parâmetros geométricos da malha utilizada pela empresa, utilizamos do recurso do boretrak, que nos fornece o mapeamento da malha e tem como objetivo de verificar a profundidade correta dos furos, inclinação, se há desvios ou interceptações entre os furos realizados pela equipe de perfuração, proporcionando assim uma maior segurança na detonação alinhada com uma boa fragmentação.

Em virtude da topografia acidentada do local onde ocorreu a perfuração, a equipe de operadores do equipamento de boretrak achou prudente dividir o mapeamento em duas partes, onde o primeiro relatório realizado pela equipe da Enaex conta com 66 furos e o segundo relatório conta com 93 furos, totalizando 159 furos auditados, sendo os sinais desses dados enviados em tempo real para o tablet que os armazena, para posterior análise computacional como auxílio dos softwares O-Pitblast e Excel.

## 2.2. DADOS DA DETONAÇÃO

Juntamente com o relatório oriundo da análise por *boretrak* a empresa Enaex, responsável pelo desmonte nas dependências da RP Minérios, também foi disponibilizado o relatório de desmonte, onde constam todas as informações referentes a escolta, quantidade e tipo de explosivos utilizados, quantidade e tipo de assessórios, razão de carga, tonelagem de material, volumes *in situ* e empolado, além dos mesmos parâmetros geométricos presentes no relatório anterior.

## 2.3. DADOS DE ROM E BRITAGEM PRIMÁRIA

O levantamento a respeito da movimentação e produção de pedra britada pode ser feito a partir de relatórios mensais de produção, disponibilizados também pelo setor de almoxarifado, que discriminam a quantidade material vindo da frente de lavra e que passou pelo britador primário. Nos relatórios mensais de produções constam o número de viagens que cada caminhão fora de estrada realiza por dia, estimativa da massa de material presente em cada caçamba, e a quantidade de horas que o britador trabalhou diariamente ao longo do mês, e com isso é possível calcular a alimentação, que aliada as medidas de abertura (gape) do mesmo britador, podemos assim aplicar a metodologia, a fim de tornar a empresa mais rentável e competitiva no mercado.

## 2.4. OTIMIZAÇÃO

Visando a aplicação do conceito, a otimização foi desenvolvida em cima dos dados provenientes da abertura e alimentação do britador, da geometria da malha e do gasto com a detonação, que foram manipulados com o auxílio da ferramenta solver presente no MS Excel 365, onde podemos adicionar restrições a fim de obter parâmetros mais econômicos referentes ao plano de fogo, gerando assim uma proposta de malha otimizada que atenda de maneira satisfatória a planta de beneficiamento a empresa em questão. Para tal vinculamos o custo global inerente a detonação ao número de furos presentes na malha, por tanto ao se alteram a geometria da malha automaticamente se altera o valor a ser despendido para se pagar a detonação.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 Resultados do boretrack e desmonte

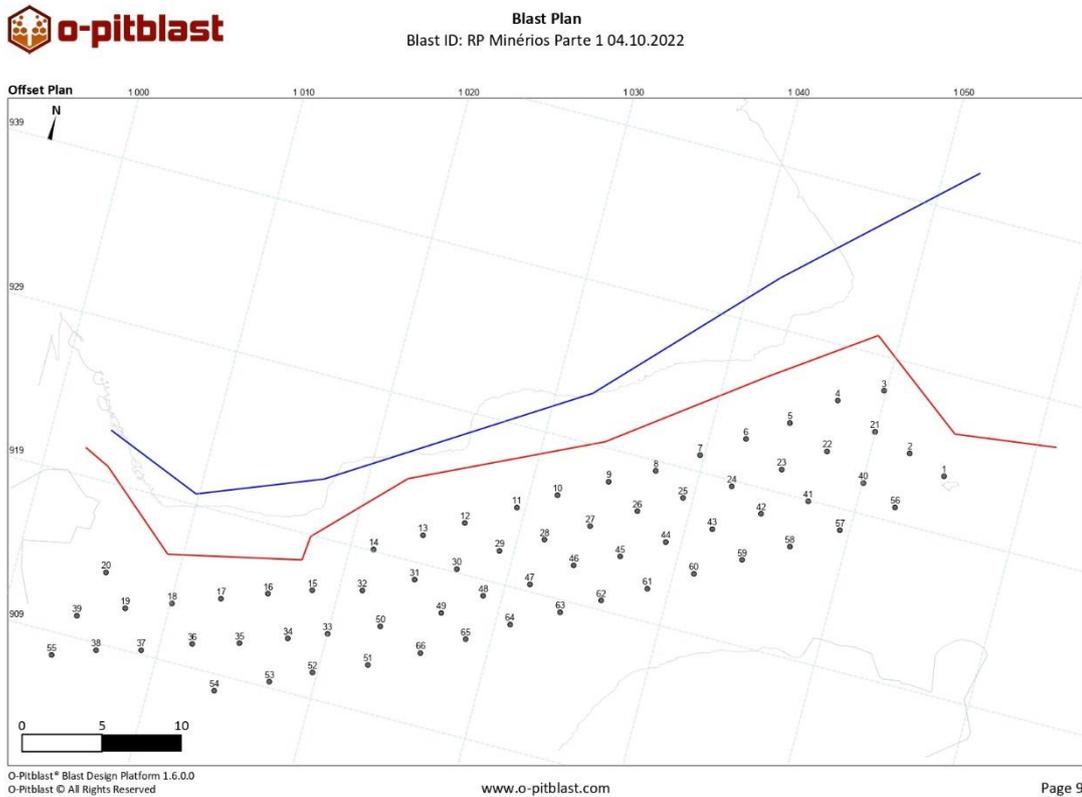
Após a realização do boretrak e do desmonte foram disponibilizados os dados brutos e o relatório de desmonte, respectivamente, com isso foi possível obter informações que são listadas na tabela 1. A partir das figuras 1, 2, 3 e 4 é possível observar a disposição espacial dos furos. Através do download de planilhas a partir do software O-Pitblast foi possível fazer um tratamento estatísticos de cada parte do plano de fogo, chegando nos valores médios de inclinação, comprimento, afastamento e espaçamento.

Tabela 1: Parâmetros do plano de fogo

| Parâmetros 1ª parte   | Valores | Parâmetros 2ª parte   | Valores |
|-----------------------|---------|-----------------------|---------|
| Quantidade de furos   | 66      | Quantidade de furos   | 93      |
| Altura da bancada (m) | 12,62   | Altura da bancada (m) | 12,62   |
| Diâmetro (mm)         | 89      | Diâmetro (mm)         | 89      |
| Inclinação média (°)  | 10      | Inclinação média (°)  | 10      |
| Comprimento médio (m) | 13,32   | Comprimento médio (m) | 13,32   |
| Afastamento médio (m) | 2,53    | Afastamento médio (m) | 2,43    |
| Espaçamento médio (m) | 3,04    | Espaçamento médio (m) | 3       |
| Subfuração (m)        | 0,5     | Subfuração (m)        | 0,5     |
| Azimute               | 328     | Azimute               | 41      |

Fonte: O-Pitblast

Figura 1: Disposição da primeira parte da malha de perfuração

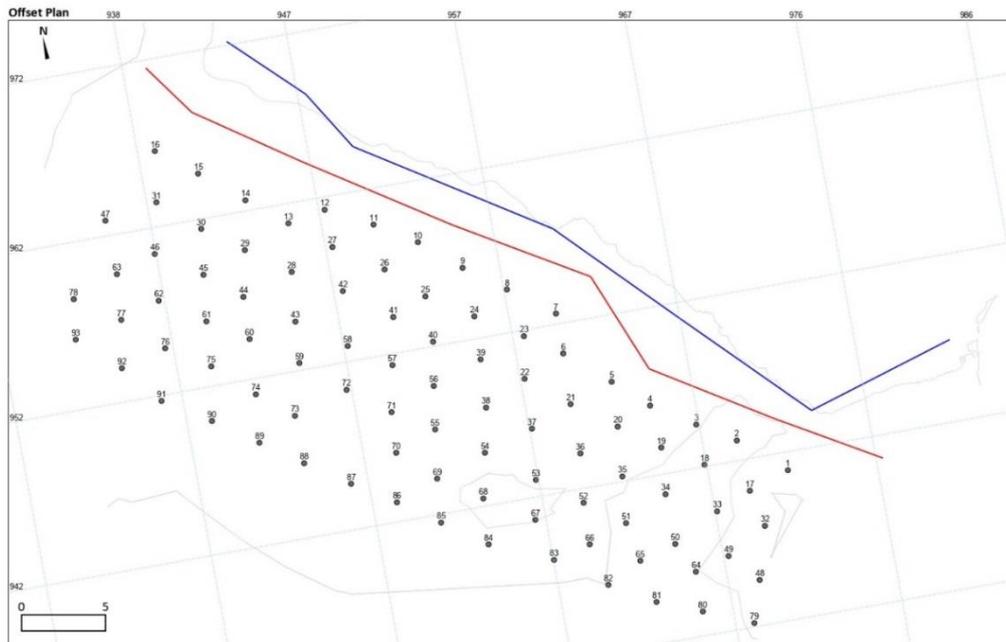


Fonte: O-Pitblast

Figura 2: Disposição da segunda parte da malha de perfuração



Blast Plan  
Blast ID: RP Minérios Parte 2 04.10.2022



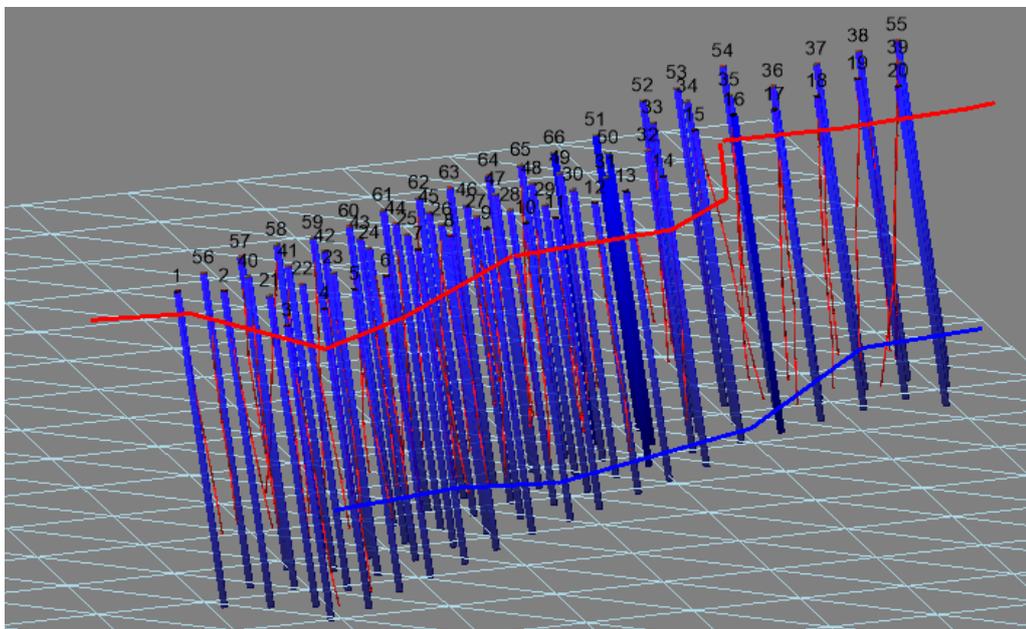
O-Pitblast® Blast Design Platform 1.6.0.0  
O-Pitblast © All Rights Reserved

www.o-pitblast.com

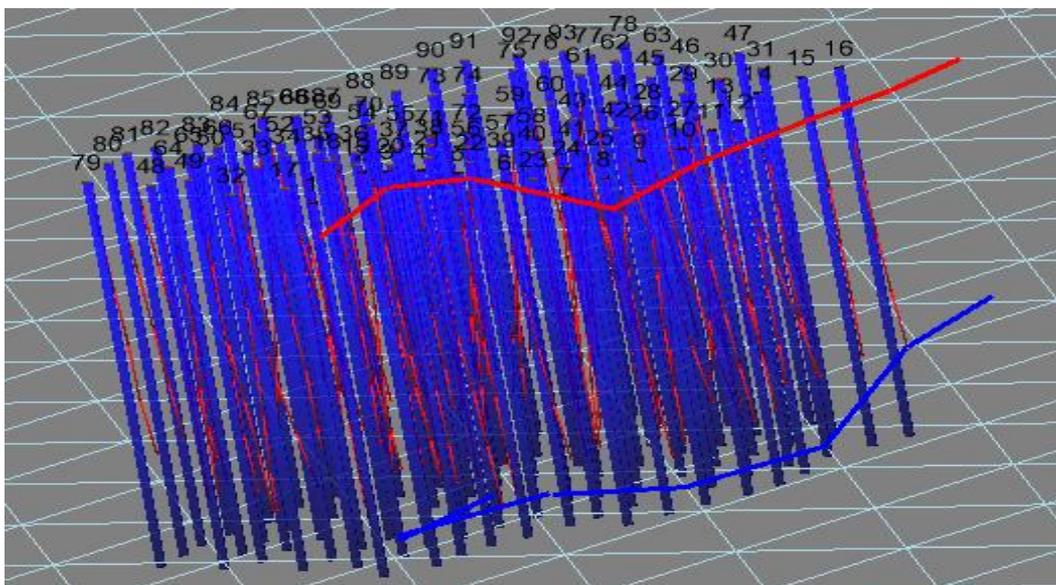
Page 10

Fonte: O-Pitblast

Figura 3: Disposição dos furos da primeira parte da malha



Fonte: O-Pitblast

**Figura 4: Disposição dos furos ideias e reais da segunda parte da malha**

Fonte: O-Pitblast

### 3.2. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Com o auxílio do programa WipFrag foi possível realizar a análise granulométrica do desmonte como um todo, a partir de fotos utilizando como fator de escala um capacete V Gard de aba frontal. Foram gerados a partir do programa curvas granulométricas e o fator de uniformidade que foram aplicados na otimização assim como os custos de detonação. Com as figuras 5, 6, 7, 8, 9 e 10 mostrando a bancada e a aplicação do WipFrag.

**Figura 5: Bancada pré detonação**

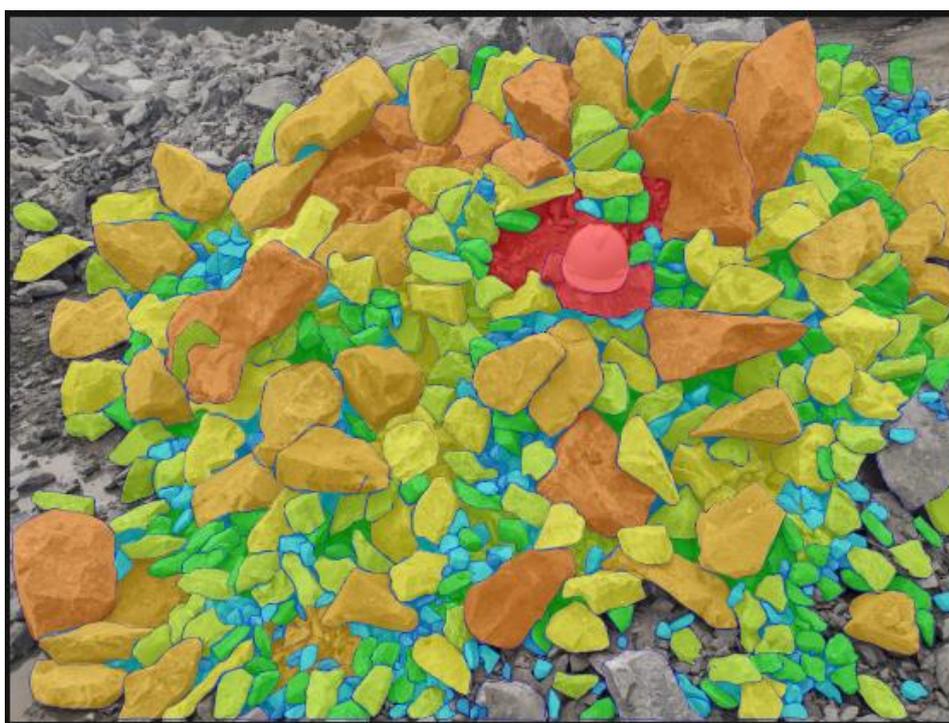
Fonte: O Autor

**Figura 6: Bancada desmontada**



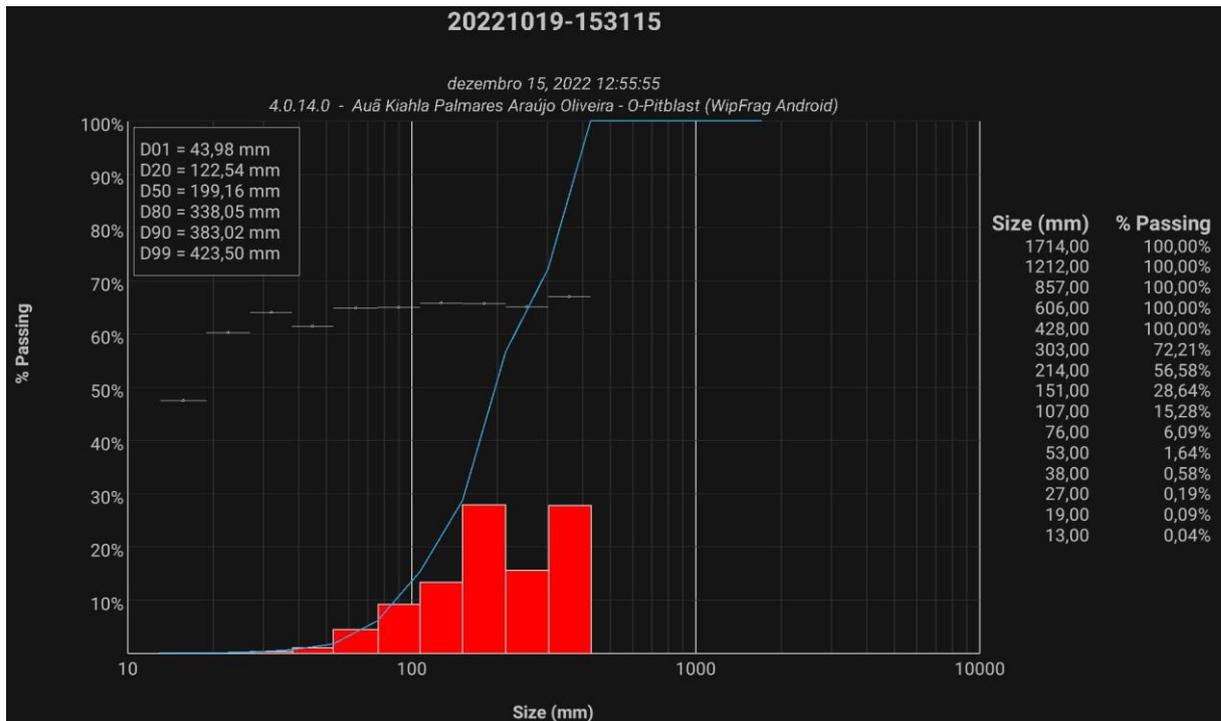
Fonte: O Autor

**Figura 7: Primeira análise granulométrica**



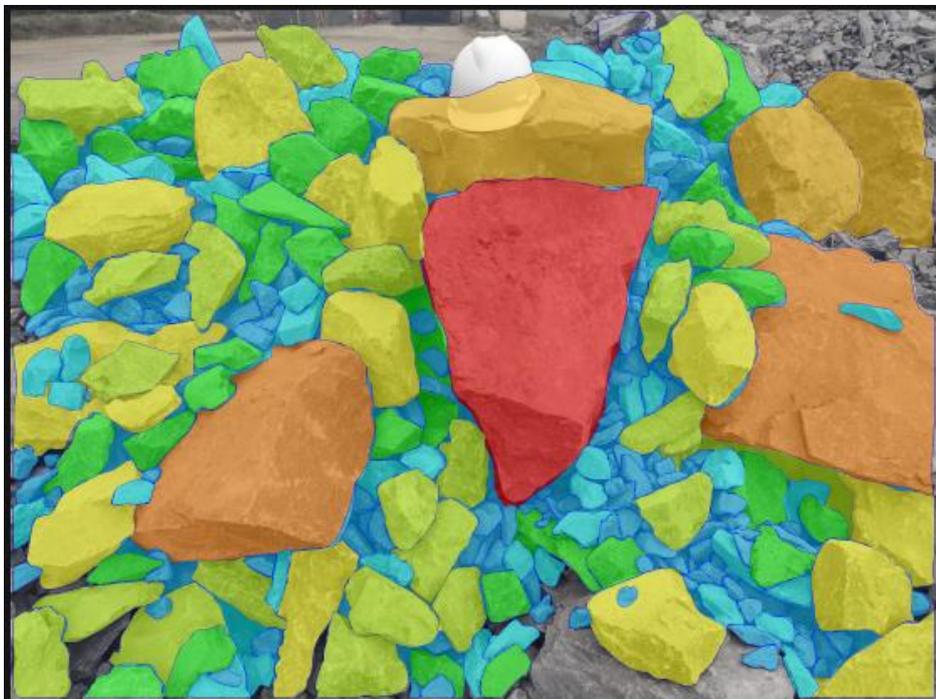
Fonte: WipFrag

Figura 5: Resultado da primeira fotoanálise granulométrica



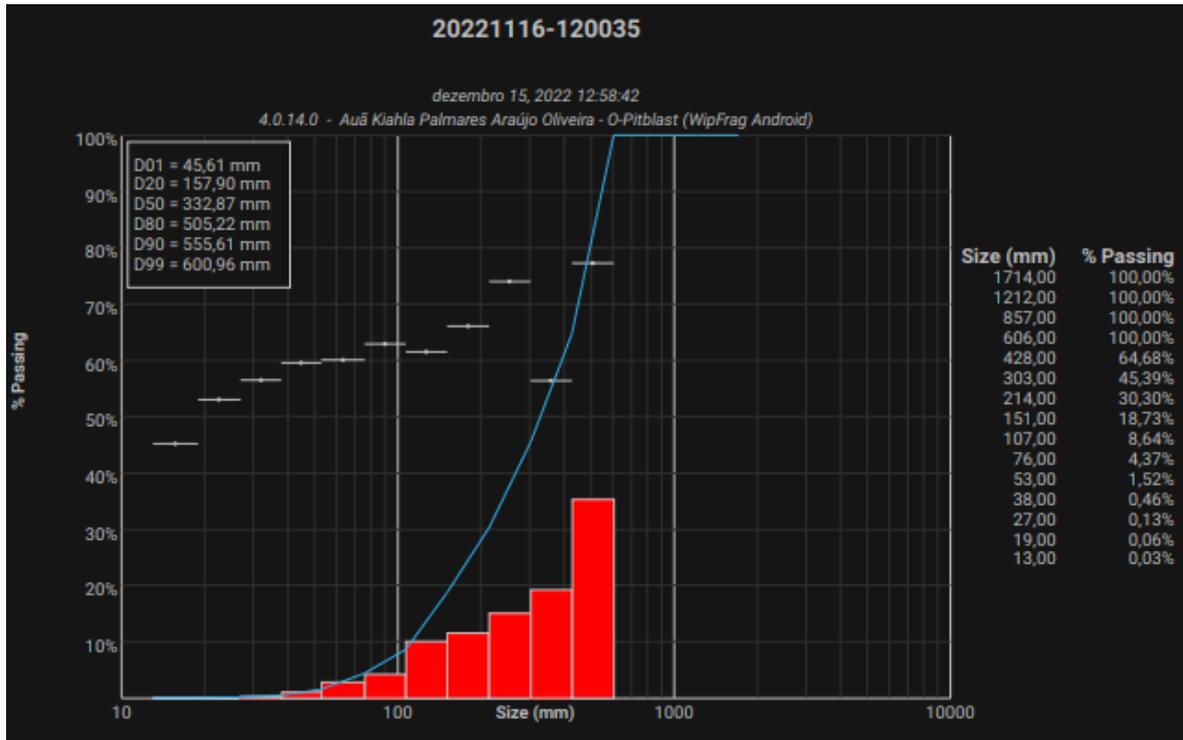
Fonte: WipFrag

Figura 6: Segunda análise granulométrica



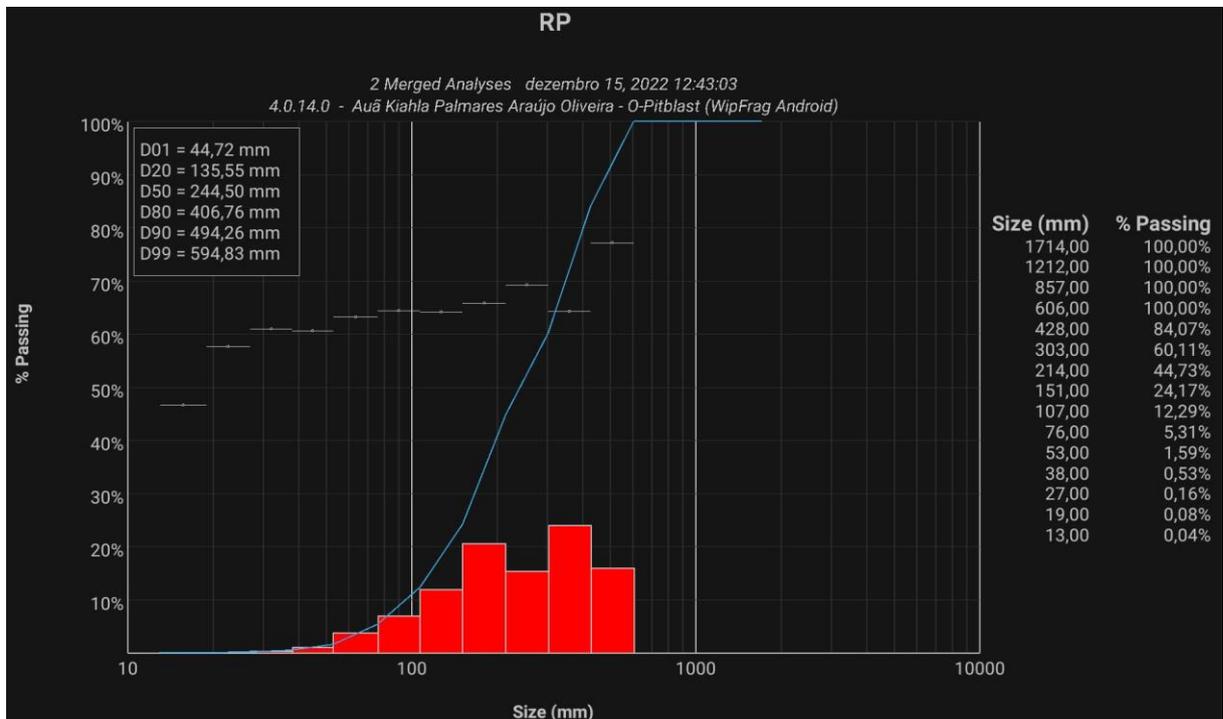
Fonte: WipFrag

Figura 7: Resultado da segunda fotoanálise granulométrica



Fonte: WipFrag

Figura 8: Resultado composto das duas fotoanálise granulométricas



Fonte: WipFrag

### 3.3. CUSTOS

Todos os dados como citados no capítulo anterior foram obtidos junto ao almoxarifado da empresa objeto desse trabalho e para fins de sigilo junto a RP Minérios optou-se em conjunto por se omitir a quantidade e os valores unitários de cada material, e esses dados foram compilados na tabela 2.

**Tabela 2: Custos relacionados a detonação**

| Acessórios e Explosivo          | Valores        |
|---------------------------------|----------------|
| Brineis de ligação e detonantes | R\$ 7.781,50   |
| Estopim-espoleta                | R\$ 54,85      |
| Reforçadores                    | R\$ 5.852,75   |
| Emulsão                         | R\$ 87.975,77  |
| Total                           | R\$ 101.664,87 |

Fonte: Arquivos da empresa

### 3.4. OTIMIZAÇÃO

A otimização do desmonte em questão foi realizada utilizando a ferramenta solver, e que teve como *inputs* os dados de fragmentação, da malha e dos custos de detonação. Tendo como objetivo chegar a um menor custo para o desmonte analisado, aliado a geração de uma fragmentação que atenda no máximo 80% da granulometria exigida pela britagem primária, papel da metodologia *Mine to Crusher*.

#### 3.4.1. CENÁRIO PRÉ OTIMIZAÇÃO

Com todos os dados em mãos chegamos no valor do custo por m<sup>3</sup> que foi de R\$ 6,61/m<sup>3</sup>, e com os parâmetros de restritivos extraídos das bibliografias, foi possível analisar o cenário ao qual se realizou o desmonte, bem como a sua produtividade, sendo possível observar na tabela 3 que a restrição relacionada a fragmentação.

Tabela 3: Restrições pré calibração e otimização

| RESTRICÇÕES |        |          |                 |    | REFERÊNCIA                  |
|-------------|--------|----------|-----------------|----|-----------------------------|
| 1,22        | $\geq$ | 1,00     | Relação E/A     | OK | HUSTRULID, 1999             |
| 0,81        | $\geq$ | 0,70     | Relação T/A     | OK | SILVA, 2011                 |
| 0,20        | $\geq$ | 0,30     | Relação Sb/A    | -  | JIMENO <i>et al.</i> , 2013 |
| 5,17        | $\geq$ | 3,00     | Relação Hb/A    | OK | SILVA, 2011                 |
| 1,68        | $\geq$ | 0,70     | Uniformidade    | OK | JIMENO <i>et al.</i> , 2013 |
| 15182,47    | $\geq$ | 15000,00 | Volume desejado | OK | -                           |
| 1,22        | $\leq$ | 1,50     | Relação E/A     | OK | HUSTRULID, 1999             |
| 0,81        | $\leq$ | 1,00     | Relação T/A     | OK | SILVA, 2011                 |
| 0,20        | $\leq$ | 0,50     | Relação Sb/A    | OK | JIMENO <i>et al.</i> , 2013 |
| 1,68        | $\leq$ | 2,20     | Uniformidade    | OK | JIMENO <i>et al.</i> , 2013 |
| 539,83      | $\leq$ | 960,00   | Fragmentação    | OK | -                           |

Fonte: O autor

Para que o modelo otimizado seja gerado é necessário que se faça a calibração dos resultados obtidos da fotoanálise de granulometria através do fator de rocha, utilizando do solver minimizamos o somatório do resíduo, que é a diferença entre a granulometria real e a granulometria corrigida através do modelo de Kuz-Ram, com isso chegamos a um novo fator de rocha de 8,80, que será aplicado na otimização, conforme tabela 4.

Tabela 4: Valores pré calibração

| Fragmentação: análise do WipFrag |              | Correção do Fator de Rocha |          |         |
|----------------------------------|--------------|----------------------------|----------|---------|
| Tamanho (mm)                     | Passante (%) | Novo desmonte              | Anterior | Resíduo |
| 1714                             | 99,99        | 1521,92                    | 1714,00  | 192,08  |
| 1212                             | 99,99        | 1521,92                    | 1212,00  | 309,92  |
| 857                              | 99,99        | 1521,92                    | 857,00   | 664,92  |
| 606                              | 99,99        | 1521,92                    | 606,00   | 915,92  |
| 428                              | 84,07        | 583,95                     | 428,00   | 155,95  |
| 303                              | 60,11        | 386,97                     | 303,00   | 83,97   |
| 214                              | 44,73        | 298,26                     | 214,00   | 84,26   |
| 151                              | 24,17        | 189,63                     | 151,00   | 38,63   |
| 107                              | 12,29        | 121,69                     | 107,00   | 14,69   |
| 76                               | 5,31         | 72,27                      | 76,00    | 3,73    |
| 53                               | 1,59         | 34,90                      | 53,00    | 18,10   |
| 38                               | 0,53         | 18,11                      | 38,00    | 19,89   |
| 27                               | 0,16         | 8,88                       | 27,00    | 18,12   |
| 19                               | 0,08         | 5,88                       | 19,00    | 13,12   |
| 13                               | 0,04         | 3,90                       | 13,00    | 9,10    |
|                                  |              |                            | $\Sigma$ | 2542,39 |

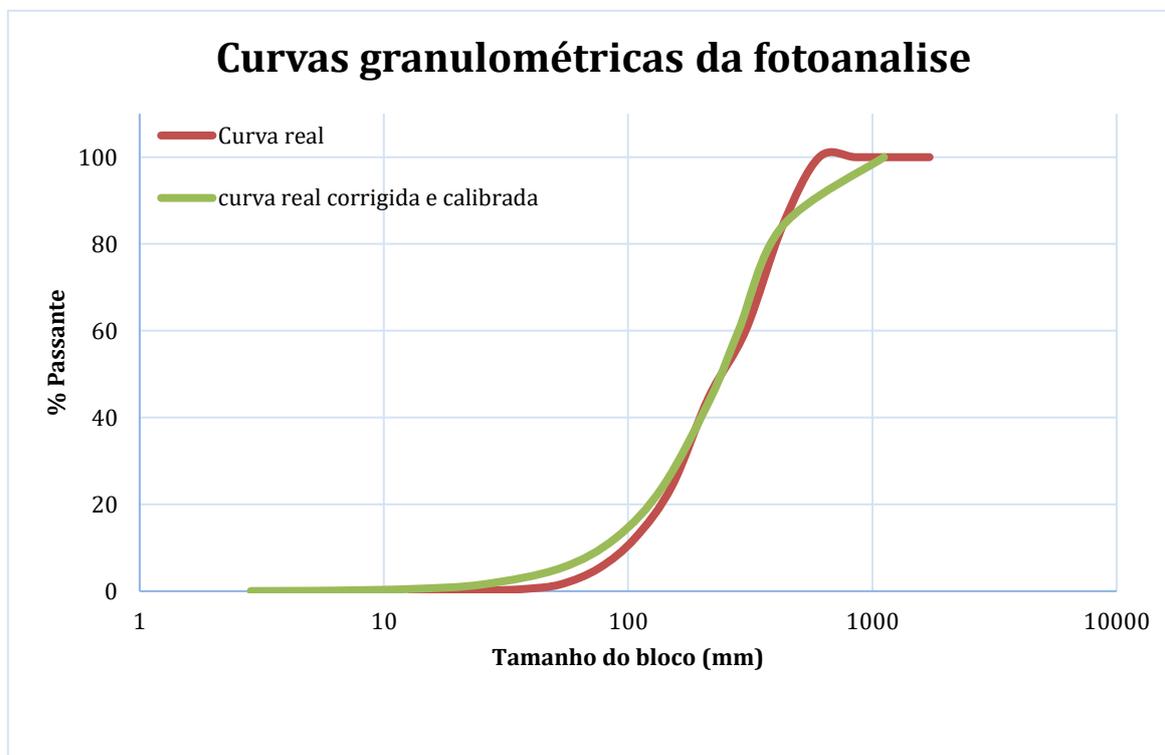
Fonte: O autor

Tabela 5: Valores calibrados

| Fragmentação: análise do WipFrag |              | Correção do Fator de Rocha |          |                |
|----------------------------------|--------------|----------------------------|----------|----------------|
| Tamanho (mm)                     | Passante (%) | Novo desmonte              | Anterior | Resíduo        |
| 1714                             | 99,99        | 1115,48                    | 1714,00  | 598,52         |
| 1212                             | 99,99        | 1115,48                    | 1212,00  | 96,52          |
| 857                              | 99,99        | 1115,48                    | 857,00   | 258,48         |
| 606                              | 99,99        | 1115,48                    | 606,00   | 509,48         |
| 428                              | 84,07        | 428,00                     | 428,00   | 0,00           |
| 303                              | 60,11        | 283,62                     | 303,00   | 19,38          |
| 214                              | 44,73        | 218,60                     | 214,00   | 4,60           |
| 151                              | 24,17        | 138,99                     | 151,00   | 12,01          |
| 107                              | 12,29        | 89,19                      | 107,00   | 17,81          |
| 76                               | 5,31         | 52,97                      | 76,00    | 23,03          |
| 53                               | 1,59         | 25,58                      | 53,00    | 27,42          |
| 38                               | 0,53         | 13,28                      | 38,00    | 24,72          |
| 27                               | 0,16         | 6,51                       | 27,00    | 20,49          |
| 19                               | 0,08         | 4,31                       | 19,00    | 14,69          |
| 13                               | 0,04         | 2,86                       | 13,00    | 10,14          |
|                                  |              |                            | $\Sigma$ | <b>1637,31</b> |

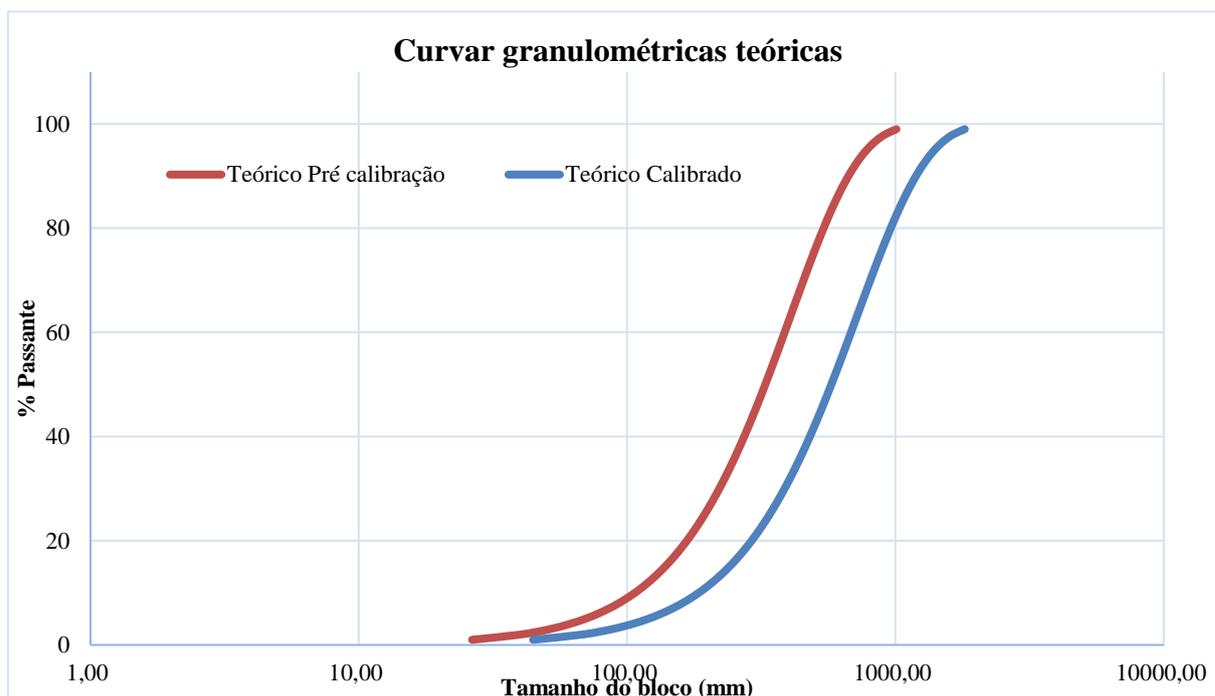
Fonte: O autor

Figura 9: Curvas da análise por imagem da granulometria do desmonte



Fonte: O autor

Figura 10: Curvas granulométricas teóricas pelo modelo de Kuz-Ram



Fonte: O autor

**Tabela 6: Resultados da otimização**

| Parâmetros otimizados | Valores |
|-----------------------|---------|
| Nº de furos           | 50      |
| Afastamento           | 3,96 m  |
| Espaçamento           | 5,94 m  |
| Tampão                | 2,77 m  |
| Subfuração            | 1,98 m  |

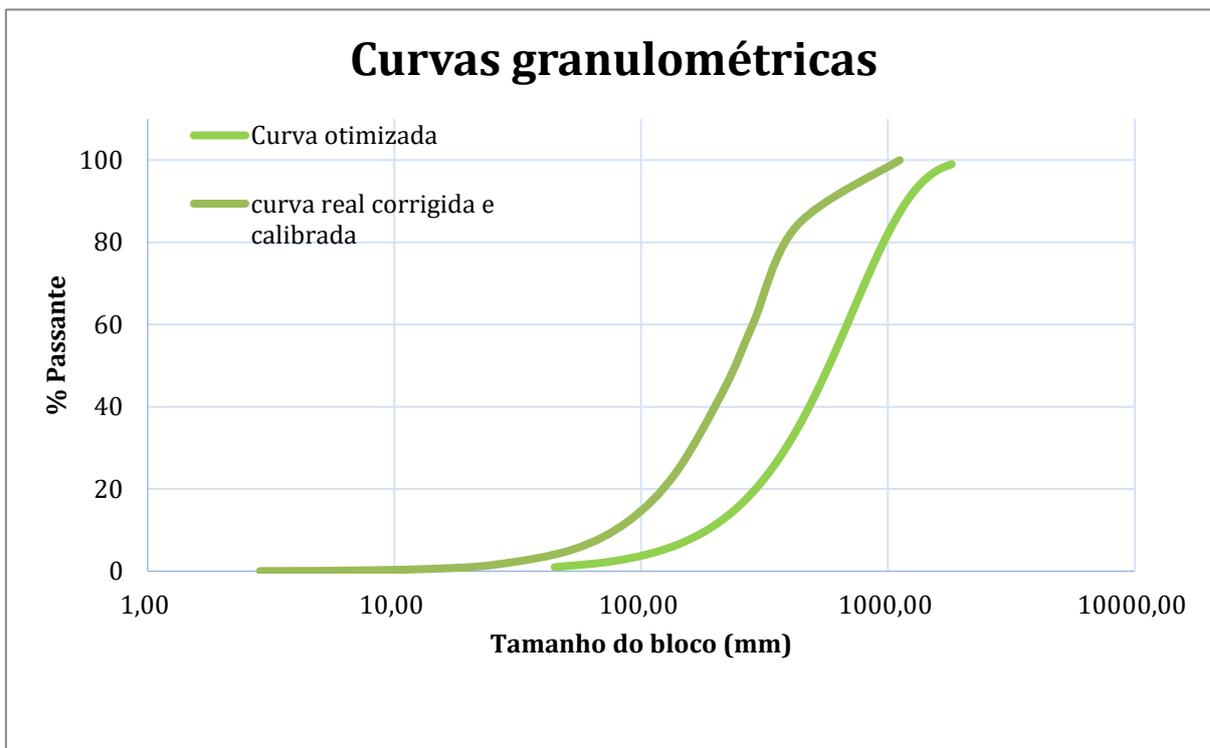
Fonte: O autor

**Tabela 7: Restrições pós otimização**

| RESTRICÇÕES |   |          |                 |    | REFERÊNCIA                  |
|-------------|---|----------|-----------------|----|-----------------------------|
| 1,50        | ≥ | 1,00     | Relação E/A     | OK | HUSTRULID, 1999             |
| 0,70        | ≥ | 0,70     | Relação T/A     | OK | SILVA, 2011                 |
| 0,50        | ≥ | 0,30     | Relação Sb/A    | OK | JIMENO <i>et al.</i> , 2013 |
| 3,24        | ≥ | 3,00     | Relação Hb/A    | OK | SILVA, 2011                 |
| 1,65        | ≥ | 0,70     | Uniformidade    | OK | JIMENO <i>et al.</i> , 2013 |
| 15089,68    | ≥ | 15000,00 | Volume desejado | OK | -                           |
| 1,50        | ≤ | 1,50     | Relação E/A     | OK | HUSTRULID, 1999             |
| 0,70        | ≤ | 1,00     | Relação T/A     | OK | SILVA, 2011                 |
| 0,50        | ≤ | 0,50     | Relação Sb/A    | OK | JIMENO <i>et al.</i> , 2013 |
| 1,65        | ≤ | 2,20     | Uniformidade    | OK | JIMENO <i>et al.</i> , 2013 |
| 960,00      | ≤ | 960,00   | Fragmentação    | OK | -                           |

Fonte: O autor

Figura 11: Curvas granulométricas comparativas



Fonte: O autor

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve o auxílio de ferramentas de simulação de desmonte, análise granulométrica e otimização de processos, demonstrando o benefício que o avanço nas tecnologias trouxeram para mineração, reforçando o contexto atual representado pela Mineração 4.0, mostrando que tais ferramentas são passíveis de serem aplicadas e introduzidas tanto na média quanto na grande mineração, pois aumentos de produção aliados com a redução de custos ao longo da cadeia produtiva é o objetivo de qualquer empreendimento.

Conforme o citado no final do capítulo anterior é necessário que a validação da malha otimizada seja feita de maneira escalonada, para que se vá avaliando a evolução dos custos além dos abordados no trabalho, pois também são relevantes valores inerentes a perfuração, ao carregamento e ao transporte, junto com a fragmentação gerada com o intuito de avaliar os verdadeiros impactos que a melhoria do desmonte podem causar, quando empregado de uma maneira mais eficiente, mesmo que os custos para certas operações possam vir a aumentar.

Contudo se espera com o aumento gradual da malha a diminuição de finos pós detonação, o que implica no aumento da qualidade do ar, na maior qualidade do futuro pó de pedra a ser comercializado, pois a RP Minérios atende empresas de pavimentação que exigem

certas especificações tanto para o pó de pedra quanto para o pedrisco. Além de se esperar que a produção de brita 1 e brita 2 por exemplo também aumente já que esses são alguns dos produtos mais vendidos pela empresa

Com isso, sugere-se que para os trabalhos futuros sejam abordados os parâmetros citados, com o intuito de avaliar mais impactos que a melhoria no desmonte pode vir a causar, quando empregado de uma mais racional e eficiente, mesmo que os custos de determinadas operações unitárias venham a subir.

## REFERÊNCIAS

ADEBOLA, J. M.; AJAYI, O. D.; ELIJAH, P.O. **Rock Fragmentation Prediction using Kuz-Ram Model**. Journal of Environment and Earth Science. Ido Ekiti, Nigeria. V. 6, n. 5, p. 110 – 115, jan. 2018. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/322551080\\_Rock\\_Fragmentation\\_Prediction\\_using\\_Kuz-Ram\\_Model](https://www.researchgate.net/publication/322551080_Rock_Fragmentation_Prediction_using_Kuz-Ram_Model)>. Acesso em: 20/12/2022

Alpha geofísica. **Carlson New Ground**. 2017. Página inicial. Disponível em: <<https://alphageofisica.com.br/carlsonsw/boretrak/boretrak.htm>> Acesso em: 20/12/2022.

AZEVEDO, I. C. D.; MARQUES, E. A. G. **Introdução à Mecânica das Rochas**. 1. ed. Viçosa: Editora UFV, 2006

CUNHA, E. B. **Avaliação do Desmonte de Rochas com Explosivos por Análise de Imagens Digitais**. Monografia (trabalho de conclusão de curso) – Universidade Federal de Goiás. Catalão, 2014.

CUNNINGHAM, C.V.B. Fragmentation estimations and the Kuz-Ram model - four years on. In Proceedings 2nd Int. Symp on Rock Fragmentation by Blasting, Lulea, 1987. p. 475-487. In: Hustrulid, W. **Blasting Principles for Open Pit Mining** v. 1. Rotterdam: Balkema, 1999. 301p.

GHEIBIG, S.; HOSEINIE, S. H.; POURRAHIMIAN, Y.; AGHABABAEI, H. **Kuznetsov Model's Efficiency in Estimation of Mean Fragment Size at the Sungun Copper Mine**. ResearchGate, jan. 2009. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/208032942\\_Kuznetsov\\_model%27s\\_efficiency\\_in\\_estimation\\_of\\_mean\\_fragment\\_size\\_at\\_the\\_Sungun\\_copper\\_mine](https://www.researchgate.net/publication/208032942_Kuznetsov_model%27s_efficiency_in_estimation_of_mean_fragment_size_at_the_Sungun_copper_mine)>. Acesso em: 20/12/2022.

GOKHALE, B. V. **Rotary Drilling and Blasting in Large Surface Mines**. Taylor & Francis Group, London, UK, 2011. 777 p.

HUSTRULID, W. **Blasting Principles for Open Pit Mining**. Golden: A.A. Balkema, 1999. 379 p.

JIMENO, L. C. *et al.* **Manual de Perforacion y Voladura de Rocas**, 2. ed., Madri, Espanha, Instituto Tecnológico Geominero de España. 2004.

KULAIFF, Y. **Análise dos mercados de matérias-primas minerais: estudo de caso da indústria de pedras britadas do Estado de São Paulo.** 2002. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

MARINHO, J. P. M. **Otimização dos Custos de Desmonte com Recurso de Explosivos na Mineradora Goiáscal: Controle dos Parâmetros Geométricos do Plano de Fogo a Céu Aberto.** Monografia (trabalho de conclusão de curso) – Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA). Palmas, 2017

MARTINS, A. A. M. **Otimização da Fragmentação: Aplicando a Metodologia *Mine to Mill* para o Benefício da Cadeia Produtiva de Rocha Fosfática.** Monografia (trabalho de conclusão de curso) – Universidade Federal de Goiás. Catalão, 2019.

MORAIS, J. L.; GRIPP, M, F. A. **Fundamentos para simulação dos desmontes de rocha por explosivos.** REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto. V. 57, n. 4, p. 241 – 248, out/dez. 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rem/a/QsSd4jsLgMVMBcKhtYLyGnx/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 20/12/2022.

NEVES, S. L. **Modelagem de Desmonte de Rocha para Otimização da Metodologia *Mine to Mill*.** Monografia (trabalho de conclusão de curso) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG. Araxá, 2019.

QUARESMA; L. F. **Relatório Técnico 30: perfil de brita para construção civil.** J. Mendo Consultoria, 2009. Disponível em: [http://antigo.mme.gov.br/documents/36108/448620/P22\\_RT30\\_Perfil\\_de\\_brita\\_para\\_constru\\_xo\\_civil.pdf/0b657545-498a-46ee-b836-a974026d435a?version=1.0](http://antigo.mme.gov.br/documents/36108/448620/P22_RT30_Perfil_de_brita_para_constru_xo_civil.pdf/0b657545-498a-46ee-b836-a974026d435a?version=1.0) Acesso em: 28/01/2023.

RAMOS, A. L.; MAZZINGHY, D, B. **Software Livre para simulação de Desmonte de Rochas à Céu Aberto Em Python.** IBRAM, Belo Horizonte. Disponível em: <https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2021/04/T-70-Andre-L.-Ramos.pdf> Acesso em: 20/12/2022

SILVA, V. C. **Operações Mineiras.** Curso de Mineração 210 pela Escola de Minas (UFOP), 2009