

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**Escola de Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas**  
**Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional**

Renato Jácome Costa

**“MODELAMENTO DO DESMONTE COM EXPLOSIVOS EM ROCHAS  
GRANÍTICAS VISANDO A OTIMIZAÇÃO DOS PROCESSOS DE COMINUIÇÃO  
UTILIZANDO A METODOLOGIA KUZ-RAM”**

Belo Horizonte

2019

Renato Jácome Costa

**MODELAMENTO DO DESMONTE COM EXPLOSIVOS EM ROCHAS  
GRANÍTICAS VISANDO A OTIMIZAÇÃO DOS PROCESSOS DE COMINUIÇÃO  
UTILIZANDO A METODOLOGIA KUZ-RAM**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas da Universidade Federal de Minas Gerais como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Minas.

Orientador: Dr. Renan Collantes Candia

Coorientador: Dr. Douglas Batista Mazinghy

Belo Horizonte

2019

C837m	<p>Costa, Renato Jácome.  Modelamento do desmonte com explosivos em rochas graníticas visando a otimização dos processos de cominuição utilizando a metodologia KUZ-RAM [recurso eletrônico] / Renato Jácome Costa. -2019.  1 recurso eletrônico (202 f. : il., color.) : pdf.</p> <p>Orientador: Renán Collantes Candia.  Coorientador: Douglas Batista Mazzinghy.</p> <p>Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.</p> <p>Anexos: f. 73-202.</p> <p>Bibliografia: f. 72.</p> <p>1. Engenharia de minas - Teses. 2. Tecnologia mineral - Teses. 3. Cominuição (Beneficiamento de minério) - Teses. 4. Otimização - Teses. 5. Simulação (Computadores) - Teses. 6. Britagem (Beneficiamento de minério) - Teses. I. Candia, Renán Collantes. II. Mazzinghy, Douglas Batista. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. IV. Título.</p>
	CDU: 622(043)



## ATA DA DEFESA DA DISSERTAÇÃO DO ALUNO RENATO JÁCOME COSTA

Realizou-se, no dia 01 de novembro de 2019, às 14:00 horas, 2240 DEMET, da Universidade Federal de Minas Gerais, a defesa de dissertação, intitulada *MODELAMENTO DO DESMONTE COM EXPLOSIVOS EM ROCHAS GRANÍTICAS VISANDO A OTIMIZAÇÃO DOS PROCESSOS DE COMINUIÇÃO UTILIZANDO A METODOLOGIA KUZ-RAM*, apresentada por RENATO JÁCOME COSTA, número de registro 2017721306, graduado no curso de ENGENHARIA DE MINAS, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em ENGENHARIA METALÚRGICA, MATERIAIS E DE MINAS, à seguinte Comissão Examinadora: Prof(a). Renan Collantes Candia - Orientador (UFMG), Prof(a). Michel Melo Oliveira (UFMG), Prof(a). Douglas Batista Mazzinghy (UFMG), Prof(a). Jose Ildelfonso Gusmao Dutra (UFMG).

A Comissão considerou a dissertação:

Aprovada

Reprovada

Finalizados os trabalhos, lavrei a presente ata que, lida e aprovada, vai assinada por mim e pelos membros da Comissão.

Belo Horizonte, 01 de novembro de 2019.

Prof(a). Renan Collantes Candia ( Doutor )

Prof(a). Michel Melo Oliveira ( Doutor )

Prof(a). Douglas Batista Mazzinghy ( Doutor )

Prof(a). Jose Ildelfonso Gusmao Dutra ( Doutor )

Dedico este trabalho a todas as pessoas que contribuíram para mais esta conquista em especial a meu pai Alípio, minha mãe Therezinha (in memoriam), minha esposa Sued, minha irmã Christiani, meus sobrinhos Carolina e Márcio, meu cunhado Márcio além dos familiares e amigos que de alguma forma me incentivaram para mais esta etapa.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Dr. Douglas Mazzinghy pela oportunidade, motivação, ensinamentos e orientação.

Ao Professor Dr. Renan Candia pela motivação, ensinamentos e orientação.

Ao Engenheiro Marco Graciano pelo apoio, compartilhamento de experiências e patrocinador deste do trabalho na Mineração Taboca.

Aos professores do Mestrado Profissional por suas importantes contribuições para minha formação.

A UFMG pela infraestrutura e qualidade do ensino.

A UFOP pela minha graduação e qualidade no ensino.

## RESUMO

O modelamento do desmonte de rochas por explosivos considera parâmetros de entrada como dados de geologia, geotecnia da rocha, de perfuração e desmonte para realização de simulações visando obter a curva granulométrica do ROM. As simulações são fundamentais para obtenção de cenários e maior confiabilidade nas tomadas de decisões. O modelo de fragmentação pode ser utilizado comumente para obter a granulometria de alimentação da britagem primária em fase de projeto ou em uma operação e auxiliar na tomada decisões de quais equipamentos e quais processos serão mais adequados ao tipo de rocha e bem mineral. Neste trabalho as simulações foram conduzidas buscando a redução da dimensão do “*top size*” e consequentemente a redução do tempo de paradas por engaiolamentos e obstrução nas britagens primárias. A Mineração Taboca é uma operação mineira madura e este trabalho trouxe resultados os quais orientaram a operação quanto aos meios para obter melhores resultado na britagem primária.

**Palavras-chave:** Desmonte de rochas; fragmentação; simulações; foto análises; britagem.

## **ABSTRACT**

Explosive rock blasting modeling requires input parameters such as rock geology and geotechnical data and drilling and blasting to perform simulations to obtain the ROM particle size distribution. Simulations are critical for obtaining scenarios and greater reliability in decision making. The fragmentation model can be commonly used to obtain the result of fragmentation in the beneficiation plant in the design phase or in an operation and to help in deciding which equipment and processes will best suit the rock type and mineral asset. In this work simulations were conducted aiming to reduce the top size and consequently the reduction of the stop time due to cages and obstruction in the primary crushing. Taboca Mining is a mature mining operation and this work brought results that guided the operation as to the means to obtain better results in the comminution stages.

**Keywords:** Blasting; fragmentation; simulations; photo analysis; crusher.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da Mina de Pitinga - AM.....	14
Figura 2 – Mapa Geológico da Mina de Pitinga da mineração Taboca S/A .....	27
Figura 3 – Zonas de cisalhamento .....	28
Figura 4 – Distribuição espacial das estruturas rupteis observadas em campo.	29
Figura 5 – Visualização do grau de fraturamento da rocha da Mina de Pitinga	30
Figura 6 – Ar comprimido dissipado pelas fraturas durante a execução da perfuração .....	33
Figura 7 - Tipos de descontinuidades, suas combinações no maciço e foto ilustrando o fraturamento da rocha aberta .....	34
Figura 8 – Mapeamento de estruturas da rocha da Mina de Pitinga .....	35
Figura 9 – Mapeamento das descontinuidades por polígono indicando o melhor direcionamento para maximizar a fragmentação.....	36
Figura 10 – Desenho esquemático de um plano de perfuração para desmonte de rochas .....	38
Figura 11 – Distribuição de tamanho de fino e grosso de ROM.....	39
Figura 12 – Simulação malha baseline 3,40 m de afastamento por 8,85m de espaçamento.....	40
Figura 13 – Simulação malha baseline 2,85m de afastamento por 4,90m de espaçamento.....	41
Figura 14 - Simulação malha baseline 3,00 m de afastamento por 5,15m de espaçamento.....	41
Figura 15 – Variações de malhas de desmonte com variações de frações P80 e P100 .....	43

Figura 16 – Projeto de perfuração.....	47
Figura 17 – Execução do projeto de perfuração F01_150_007 em campo.....	48
Figura 18 –Desmonte utilizando a tecnica Smooth Blasting .....	48
Figura 19 – Desenho esquemático dos carregamentos dos furos de produção e dos furos de contorno dos poligonos .....	49
Figura 20 – Software wipfrag IOS utilizado para mensurar a fragmentação do desmonte de rochas.....	51
Figura 21 – Resultado de análise granulométrica utilizando Wipfrag.....	52
Figura 22 – Limpeza de frente e condição de face livre .....	53
Figura 23 – Projeto perfurado e condição face livre .....	53
Figura 24 – Pilha de material desmontado.....	54
Figura 25 – Pilha de material desmontado com malha antiga .....	55
Figura 26 – Análise granulométrica média do polígono F01_150_007 e médias anteriores .....	56
Figura 27 – Análise Granulométrica média do novo polígono F01_150_007 e média dos polígonos anteriores.....	56
Figura 28 – Projeto de perfuração polígono F001_150_010 .....	59
Figura 29 – Polígono F01_150_010 pronto para desmontar .....	60
Figura 30 – Polígono F01_150_010 antes do desmonte.....	60
Figura 31 – Polígono F01_150_010 desmontado.....	61
Figura 32 – Análise granulométrica média geral do polígono F01_150_010...	61
Figura 33 – Analise granulométrica detalhada e média do polígono F01_150_010 .....	62

Figura 34 – Análise granulométrica detalhada e média do polígono F01_150_010 .....	63
Figura 35 – Curva de custos de desmonte.....	64
Figura 36 – Evolução P80 .....	64
Figura 37 – Tempo médio de obstrução da britagem primária .....	65
Figura 38 – Perfuração de plano de carregamento para captação de campo curto .....	67
Figura 39 – Análise do plano de fogo.....	67
Figura 40 – Comparativo entre fragmentação utilizando iniciadores eletrônicos e pirotécnicos .....	69

## LISTA DE TABELAS

Tabela I – Fator utilizado para classificação do maciço rochoso.....	233
Tabela II – Fator utilizado para espaçamentos das descontinuidades .....	233
Tabela III – Fator utilizado segundo orientações das descontinuidades .....	244
Tabela IV – Cálculo de HF segundo módulo de elasticidade: .....	244
Tabela V – Parâmetros de desmonte utilizados .....	39
Tabela VI – Cenários simulados de malhas de desmonte de rochas com o modelamento das curvas granulométricas .....	42
Tabela VII – Dimensionamento de perfuração e desmonte para a malha de 2,85m de afastamento por 4,90 m de espaçamento .....	577
Tabela VIII – Dimensionamento de perfuração e desmonte para a malha de 3,00 m de afastamento por 5,15 m de espaçamento .....	59
Tabela IX – Nível de vibração conforme velocidade de partícula.....	598
Tabela X – Diferença entre iniciação convencional e eletrônica .....	598

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	12
1.1	Mina de Pitinga .....	13
1.2	Objetivos .....	16
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	17
2.1	Desmonte de rochas por explosivos .....	17
2.2	Modelamento matemático de desmonte – modelo Kuz Ram.....	20
2.3	Geologia.....	25
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	31
3.1	Definição do polígono .....	32
3.2	Caracterização geológica do polígono .....	32
3.3	Caracterização geomecânica do polígono .....	32
3.4	Definição dos parâmetros de desmonte de rochas .....	37
3.5	Definição das malhas de desmonte e simulações .....	37
3.6	Desenho da malha de desmonte de rochas e alocação dos furos..	44
3.7	Perfuração do polígono.....	44
3.8	Carregamento de explosivos e temporização dos furos .....	45
3.9	Detonação.....	45
3.10	Monitoramento e análises dos resultados .....	45
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	466
4.1	Caso base .....	46
4.2	1ª Malha teste: .....	544
4.3	2ª Malha teste: .....	58
4.4	Curvas de desmonte .....	62
<b>5</b>	<b>APLICAÇÃO DE MODELO DE GERAÇÃO DE ONDAS DE CAMPO CURTO DA FRAGMENTAÇÃO DE ROCHAS</b> .....	65
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	70
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	72
<b>8</b>	<b>ANEXOS</b> .....	73

## **1 INTRODUÇÃO**

### **1.1 Mina de Pitinga**

A área de estudo está localizada na porção norte do estado do Amazonas, município de Presidente Figueredo, cava da Mineração Taboca distante da cidade de Manaus (capital do estado do Amazonas), 350 km, para nordeste. Tem acesso terrestre, é feito pela rodovia federal BR 174, Figura 1, até o 260 km e posteriormente por uma estrada vicinal, mais 60 km, através da reserva indígena Waimiri-Atroari até a área do projeto da Mineração Taboca S/A. A Taboca é uma empresa brasileira, pertencente ao grupo peruano Minsur, líder na extração de estanho, fundada em 1969 e pioneira na mineração e metalurgia do estanho no Brasil. A história da exploração de estanho na Amazônia pela mineração taboca tem início nos anos 70, quando o conhecimento geológico sobre a região era incipiente e o acesso ainda mais difícil, os levantamentos geológicos disponíveis nas escalas 1:500.000 ou menores, estavam limitados a cursos fluviais (SILVA, 2018)

O primeiro registro de cassiterita aluvionar em Pitinga foi realizado durante o mapeamento do granito Água Boa, localizado a oeste do Rio Pitinga. Parte desta área foi requerida pela CPRM (Serviço Geológico do Brasil) e a subsidiária da empresa Paranapanema S.A. O depósito de cassiterita apresentou teores percentuais baixos, porém sendo um grande volume, o que viabilizaria a exploração quando se exaurissem os depósitos aluvionares. Com a implantação de trabalho de extração aluvionar de cassiterita na região em torno do Granito Madeira, Pitinga tornou-se a maior mina de estanho (Sn) do Brasil. Havia ainda ocorrências de nióbio, tântalo e elementos de terras raras utilizados nas indústrias de ligas metálicas pelas suas propriedades de alta resistência e alto ponto de fusão. Elementos de terras raras são considerados estratégicos porque são escassos na natureza, baixa concentração na crosta (SILVA, 2018).

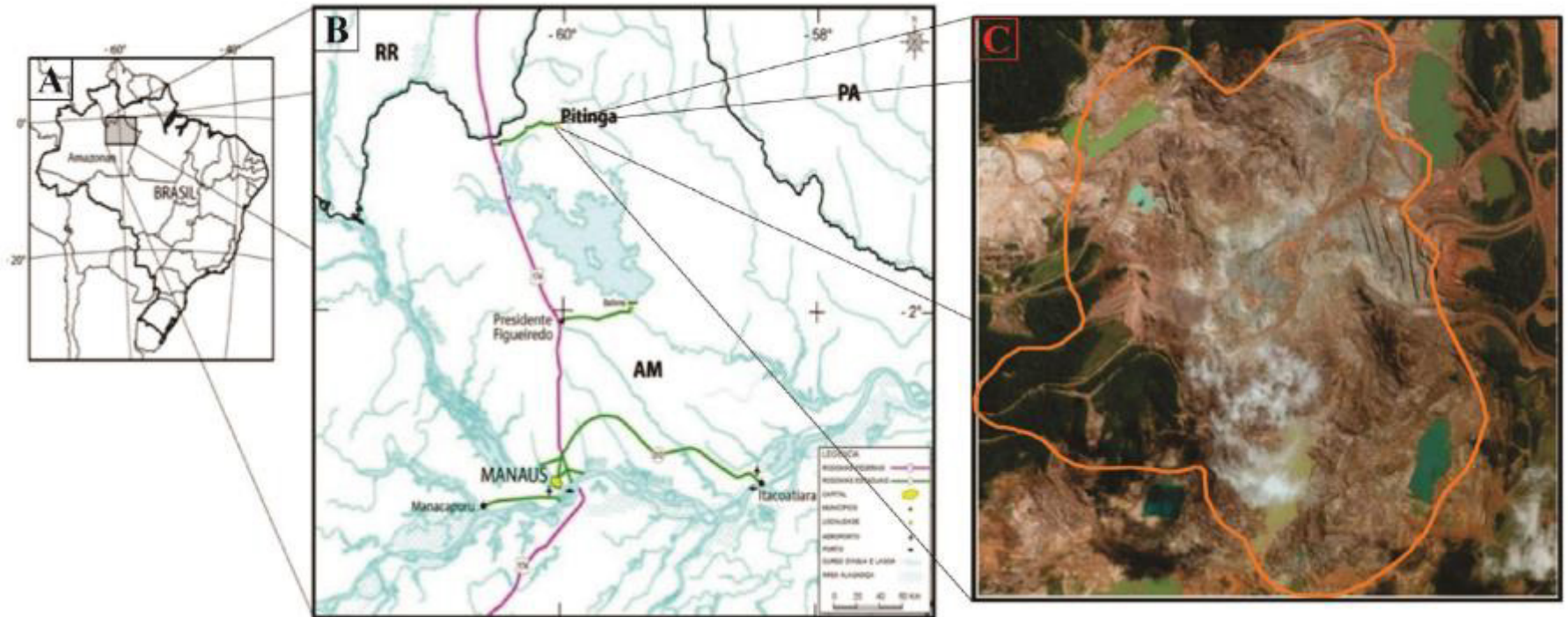


Figura 1: Localização da Mina de Pitinga – AM. A) Localização em território nacional. B) Localização no estado do Amazonas e vias de acesso. C) Área de lavra a Céu Aberto (SILVA, 2018).

A lavra da mina de Pitinga, Figura 1, em depósito primário para minério de estanho, é feita em uma rocha granítica de formação rochosa compacta, dura e abrasiva, com a presença de famílias de descontinuidades em várias direções, favorecendo a geração de blocos devido abertura destas fraturas, tornando-se a lavra complexa e de alto custo operacional.

Esta lavra tem característica por ser seletiva devido a separação de blocos na frente de lavra em função dos portes dos equipamentos e restrições da britagem primária para evitar engaiolamentos e obstruções por blocos, gerando assim refugos de blocos na mina ao entorno da frente de lavra. Em função destes refugos de blocos gerados na mina se faz necessária a utilização contínua de rompedor hidráulico e explosivos encartuchados para a redução dos mesmos em desmontes secundários. Observou-se que a medida que o material possui menor granulometria a lavra do material torna-se mais seletiva. Nota-se também que nem sempre os blocos maiores estão na “zona de “tampão”, mas também são provenientes das faces livres e meio das pilhas, sendo denominados “blocos pré-formados”, em função inclusive de danos provocados no maciço devido a abertura das fraturas pré-existentes e das interseções das famílias de descontinuidades presentes no maciço rochoso.

Neste projeto serão utilizados princípios de caracterização do maciço rochoso, identificação das famílias de descontinuidades associados aos conceitos gerais de desmontes de rochas por explosivos e cominuição de rochas visando o aumento da produtividade dos processos de mineração e a redução de custos de produção.

A pesquisa e a base teórica são fundamentais para associar o modelo Kuz-Ram de fragmentação de desmonte de rochas às práticas adotadas, caracterização do maciço rochoso e suas descontinuidades e associação das técnicas de cominuição que terão grande importância pela complexidade da operação.

Em função do exposto acima, iniciou-se o desenvolvimento de um projeto interno de avaliação de malhas de desmonte e seus efeitos na britagem primária. O efeito das alterações na malha de desmonte seriam avaliados em relação aos custos nos processos operacionais da mina à britagem primária, maximizando a fragmentação na mina para obter a redução de blocos, reduções dos tempos de obstruções nas britagens primárias.

Inicialmente utilizava-se uma malha de 3,40 metros de afastamento por 5,85 metros de espaçamento e foram testadas as malhas de 2,85 metros de afastamento por 4,90 metros de espaçamento e 3,00 metros de afastamento por 5,15 metros de

espaçamento. Foram mantidos os demais parâmetros de trabalho utilizados para avaliação dos custos nos processos de perfuração e desmonte de rochas, simulações de produtividade e estimativas de redução de custos na britagem primária. Após as análises e estudos iniciais decidiu-se por dar continuidade na opção de malha de 3,00 metros de afastamento por 5,15 metros de espaçamento, pois foi a malha que apresentou resultado positivo no estudo preliminar. A malha de 2,85 metros de afastamento por 4,90 metros de espaçamento não apresentou resultado positivo para operacionalizá-la.

Ao longo de 2018 foi sendo utilizada preferencialmente a malha de 3,00 metros de afastamento por 5,15 metros de espaçamento nos desmontes da Mina de Pitinga e monitorado os resultados.

Um trabalho de captação de onda elementar também foi realizado com a utilização de detonadores eletrônicos.

## **1.2 OBJETIVO**

Melhoria da fragmentação e redução do volume de blocos nos desmontes de rochas por explosivos na Mina de Pitinga, bem como a otimização dos processos de britagens primária e secundária buscando a redução de custos operacionais.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Desmonte de rochas com explosivos

As rochas são formadas por minerais de diferentes composições. Conseqüentemente, planos de fraqueza são criados durante o processo de formação. As fraturas com direção tangencial à propagação da onda permanecem praticamente inalteradas pela onda compressiva. A onda de compressão promove o cisalhamento dos planos orientados radialmente à sua direção de propagação, pois a resposta dos diferentes componentes da rocha difere, o que gera novas fraturas. À medida que se distancia do furo se reduz a intensidade do fraturamento resultante, isso ocorre devido à dissipação da energia da onda de compressão (GOKHALE, 2011).

A detonação do explosivo propicia a fragmentação da rocha segundo diversos mecanismos, sendo os principais deles a propagação das ondas de choque, a tensão exercida pelos gases, o estilhaçamento e a movimentação do maciço rochoso. O primeiro mecanismo de fragmentação a ocorrer, imediatamente após a detonação, é a propagação das ondas de choque através do maciço rochoso (MORAIS, 2004).

O modelo Kuz-Ram é possivelmente a abordagem mais ampla para fragmentação de desmonte de rochas e o renovado interesse no campo de controle de desmonte trouxe aumento de foco no modelo. A maior modificação tem sido na precisão da temporização, atualmente disponível nos detonadores eletrônicos. Vários modelos foram utilizados aos longos dos anos para prever as distribuições granulométricas resultantes de específicos desenhos de desmontes de rocha (CUNINGHAM, 2005).

Modelo empírico - Nesta modelagem há algumas deficiências que dificultam estimar a granulometria: Capacidade limitada de medir a fragmentação e dificuldades em dimensionar os efeitos das detonações. Entre os parâmetros não considerados estão: propriedades e estruturas das rochas (variações, relação ao padrão de perfuração, influências das descontinuidades), dimensões das detonações (números de furos por linhas e números de linhas), dimensões da bancada (altura do banco em relação ao comprimento da sub-perfuração e dimensão do tampão), tempos entre furos e a precisão dos tempos, resultado da detonação em função da VoD (*velocity of detonation*), influência dos “*Air Deck’s*”, água e tampão. A dificuldade de medir a

fragmentação em larga escala é um grande desafio nos desmontes para aferir o modelo de fragmentação (CUNINGHAM, 2005).

Modelo Mecanicista - O modelo mecanicista é capaz de ilustrar efeitos do mecanismo individual além dos modelos puramente empíricos, mas não é necessariamente mais preciso. Entretanto, é mais difícil aplicar o modelo no dia-a-dia, pois é limitado em escala, requer longo tempo de execução e há dificuldade de realizar adequada coleta de dados sobre as detonações, a rocha e resultados (CUNINGHAM, 2005).

Modelagem de fragmentação - O objetivo da fragmentação é alcançar produtividade e rentabilidade e há registros que uma alteração aumenta a produtividade em 30%, sendo esta uma das justificativas para fazer estas alterações, portanto, é ideal focar tanto nos efeitos da fragmentação quanto em suas frações granulométricas. Um modelo de fragmentação precisa estar em sintonia com as mudanças e é necessário entender a alteração da fragmentação quando se muda os parâmetros de entrada (CUNINGHAM, 2005).

Mudanças no Modelo Kuz-Ram - Dependendo do espaçamento entre as fraturas e as dimensões da malha, afastamento e espaçamento, o modelo pode ser bem confiável. Antes dos detonadores eletrônicos ficou evidente que os tempos mais curtos nos desmontes tornam a fragmentação mais uniforme e mais fina. Muitos artigos de pesquisadores renomados têm interpolado tempos ótimos de retardos de 3 a 6 ms (milissegundos) por metro de carga para reduzir a fragmentação. Isto pode estar ligado à rede de fraturas em torno dos furos. O tempo ótimo foi encontrado para correlacionar com o dobro do tempo para as trincas se propagarem através do afastamento. Segundo Bergmann et al. (1974) o granito tinha uma velocidade de ondas de compressão de 5,2 metros por segundo e a influência do retardo na fragmentação pode ser escalado em 3 metros por segundo. Com isto é possível estabelecer o TMax que é o tempo entre os furos em uma linha para obter a máxima fragmentação. Tempos mais curtos que o TMax suprime a fragmentação devido as interferências destrutivas do sistema de fraturas e mais tempos longos entre furos da rocha torna-se menos vulnerável ao mecanismo de fragmentação. Rochas mais brandas tem velocidades de onda mais lentas e requerem tempos maiores. Tempos curtos são necessários para criar uma forte movimentação da massa rochosa e dependendo da profundidade dos furos, as fraturas decorrentes da movimentação do

maciço rochoso podem resultar em boa fragmentação utilizando tempos ainda mais curtos (CUNINGHAM, 2005).

Quando se utilizava apenas a detonação por iniciação pirotécnica pouco se podia fazer para mitigar os efeitos da dispersão entre furos, mas é fato que existe. O preciso tempo de iniciação dos furos deve ser imperativo produzindo resultados consistentes das detonações e reduzindo ruídos, vibrações, ultralançamentos (*fly rock*), sobre-quebras (*back-break*) e fragmentação pobre. O resultado ruim de uma detonação pode estar diretamente relacionado ao problema do tempo que tendem a sobrecarregar outros parâmetros de detonação. Se de fato o tempo influencia nas detonações as dispersões de tempos também irão afetar a uniformidade das fragmentações nas detonações. Para um tempo mais preciso em qualquer tempo deve haver menos blocos (*oversize*) e menos finos, ou seja, quanto maior a taxa de dispersão (Cunningham et al. 1998) menos uniforme será a curva de fragmentação. Com ampla gama de parâmetros chaves de desmontes de rochas com explosivos é possível testar os prováveis efeitos nas fragmentações de várias opções. Os detonadores eletrônicos pela menor ou quase nula dispersão dos tempos torna-se possível melhor uniformidade da fragmentação, redução das porções grosseiras maior que 1 metro e diminuição das porções mais finas menor que 1 milímetro. (CUNINGHAM, 2005).

Modelo de Geração de Ondas para Fragmentação de Rocha - Minas modernas tem um alto nível de controle de fragmentação, controle de danos, taludes e impactos ambientais. A introdução e a extensiva utilização de iniciadores eletrônicos reforçam o foco nos resultados de desmonte de rochas, embora sistemas de otimização não estejam prontamente ou amplamente disponíveis devido ao valor do investimento, e são raramente utilizados de maneira rotineira nas operações mineiras. O modelamento da geração de ondas juntamente com os iniciadores eletrônicos permite identificar os melhores tempos para cada desmonte, melhorando os respectivos resultados. A fragmentação na zona de tampão pode ser maximizada em função da temporização a ser utilizada. Os danos nos taludes remanescentes ou nas bermas subsequentes podem ser minimizados pelos cuidados na temporização, geometria do polígono e são normalmente mais efetivos que pela redução de custos pelos diâmetros dos furos, permitindo gerar uma curva de probabilidade de dano. Impactos de vibração no meio ambiente podem ser minimizados com o cuidado na seleção dos tempos. O modelo de geração de ondas permite que esta seja uma ferramenta de uso

diário dos engenheiros de desmontes para tomada de decisão, buscando mitigar danos e ter o máximo controle sobre impactos nos desmontes de rochas (CUNINGHAM, 2005).

## 2.2 Modelamento de desmonte de rochas – Modelo KUZ-RAM

As propriedades das rochas, as propriedades dos explosivos e as variáveis geométricas do plano de fogo são combinadas usando cinco equações que compõem o modelo de fragmentação Kuz-Ram (MORAIS, 2004).

### Equação de Rosin Rammler (1933)

A equação 1 tem o objetivo de determinar a distribuição do tamanho das partículas da rocha fragmentada que pode ser determinada a partir do tamanho médio, se o modelo de quebra é conhecido. O tamanho característico é simplesmente um fator de escala. É a abertura da peneira na qual 63,2% das partículas passam. Se o tamanho característico ( $X_i$ ) e o índice de uniformidade ( $n$ ) são conhecidos, então é possível calcular toda a curva granulométrica da detonação (MORAIS, 2004).

$$P_i = 100 \left[ 1 - e^{-0,693 \left( \frac{x_i}{x_{50}} \right)^n} \right] \quad (1)$$

Sendo:

$X$  = tamanho da malha da peneira (mm);

$X_{50}$  = tamanho médio da partícula (mm);

$n$  = índice de uniformidade (mm);

$P_i$  = passante no tamanho  $X$  (%);

### Índice de uniformidade de Cunningham

O índice de Cunningham, equação 2, representa a correlação dos parâmetros do plano de fogo existe entre as várias configurações dos planos de fogo e o modelo de fragmentação de rocha (MORAIS, 2004).

$$n = 2,2 - 14 \left( \frac{B}{D} \right) \left[ \frac{1+S}{2} \right]^{0,5} \left[ \left( 1 - \frac{W}{B} \right) \frac{L}{H} \right] P \quad (2)$$

Sendo:

$B$  = afastamento (m);

$S$  = espaçamento (m);

$D$  = diâmetro do furo (mm);

$W$  = desvio de perfuração (m);

$L$  = comprimento total da carga (m);

$H$  = altura do banco (m);

Para malha de perfuração quadrada, assume-se  $P$  igual a 1,0 e para malha estagiada assume-se  $P$  igual a 1,1.

### **Equação de Kuznetsov**

A quantidade de quebra que ocorre com uma conhecida quantidade de energia de um explosivo pode ser estimada usando a equação 3 de Kuznetsov (Morais, 2004).  $X_{50}$  foi definido por Cunningham (1987).

$$X_{50} = A K^{-0,80} Q_e^{0,167} (115/E_r)^{0,633} \quad (3)$$

Sendo:

$X_{50}$  = tamanho médio da partícula (cm);

$A$  = índice de blastabilidade (fator da rocha);

$K$  = razão de carga ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$Q_e$  = massa do explosivo utilizado (kg);

$E_r$  = energia relativa em massa (RWS) do explosivo comparada ao ANFO (igual a 100).

### **Carga de Explosivo:**

A carga de explosivos no furo é calculada pela equação 4:

$$Q_e = 1000 \left( \frac{\pi D^2}{4} \right) L \rho_e \quad (4)$$

Sendo:

$Q_e$  = massa do explosivo no furo (kg);

$D$  = diâmetro do furo (m);

$L$  = comprimento da carga (m);

$\rho_e$  = densidade do explosivo ( $t/m^3$ )

### **Razão de Carga:**

A razão de carga é dada pela equação 5:

$$K = Q_e / BSH \quad (5)$$

Sendo:

$K$  = razão de carga ( $kg/m^3$ );

$B$  = afastamento (m);

$S$  = espaçamento entre furos (m);

$H$  = altura da bancada (m)

### **Equação de Tidman:**

A quantidade de energia liberada pelo explosivo, equação 6, é calculada usando a equação de Tidman na Teoria de detonação do explosivo. (Morais, 2004).

$$Er = \left( \frac{VOD_e}{VOD_n} \right)^2 RWS \quad (6)$$

Sendo:

$Er$  = energia relativa por massa efetiva do explosivo

$VOD_e$  = velocidade de detonação efetiva do explosivo medida em campo (m/s);

$VOD_n$  = velocidade de detonação nominal do explosivo (m/s);

$RWS$  = energia relativa por massa comparada ao ANFO.

### **Índice de Blastabilidade (Fator da Rocha):**

O fator da rocha é calculado pela equação 7 originalmente desenvolvida por

Lilly (1986) e modificada por Cunningham (1987). É usado para ajustar o tamanho médio dos fragmentos baseado no tipo de rocha, direção e mergulho das descontinuidades com relação à frentes livres do desmonte. O fator de rocha  $A$  é um índice de blastabilidade do maciço rochoso (Morais, 2004). O fator é obtido pela equação:

$$A = 0,06 (RMD + RDI + HF) \quad (7)$$

Sendo:

$RMD$  = descrição do maciço rochoso;

$RDI$  = índice de densidade de rocha;

$HF$  = fator de dureza.

O  $RMD$  determina a classificação do maciço rochoso como friável, fraturado ou maciço (compacto). Para isto determina-se os seguintes valores para  $RMD$

**Tabela I – Fator utilizado para classificação do maciço rochoso**

Friável	10
Fraturado	JF
Maciço	50

Para maciço fraturado o  $JF$  é dado pela equação 8:

$$JF = JPS + JPA \quad (8)$$

Para o espaçamento entre as descontinuidades ( $JPS$ ) observar Tabela II:

**Tabela II – Fator utilizado para espaçamentos das descontinuidades**

<b>Espaçamento das Descontinuidades</b>	<b><math>JPS</math></b>
< 0,10 m	10
Entre 0,10 m a 0,30 m	20
> P ;	50
0,30 m a 95% P	80

Onde:

$$P = \sqrt{(B S)} \quad (9)$$

A determinação do JPA (mergulho das descontinuidades) dar-se conforme:

**Tabela III – Fator utilizado segundo orientações das descontinuidades**

<b>Orientação das Descontinuidades</b>	<b>JPA</b>
Horizontal	10
Mergulhando para fora da face	20
Perpendicular à face livre	30
Mergulhando para dentro da face	40

**Cálculo do RDI:**

$$RDI = 25 \rho - 50 \quad (10)$$

Sendo:

$\rho$  = densidade da rocha “in situ”;

**Cálculo do HF:**

O HF é determinado em função do módulo de elasticidade da rocha, conforme tabela IV:

**Tabela IV – Cálculo de HF segundo módulo de elasticidade:**

E < 50 GPa	HF = E/3
E > 50 GPa	HF = UCS/5

Sendo:

UCS = Resistência a compressão uniaxial do maciço (MPa).

### Energia do Explosivos:

$$RWS = \left( \frac{AWS}{AWS\ Anfo} \right) \times 100 \quad (11)$$

$$RBS = \left( \frac{ABS}{ABS\ Anfo} \right) \times 100 \quad (12)$$

Sendo:

AWS: energia absoluta por unidade de peso do explosivo (cal/g);

ABS: energia absoluta por unidade de volume do explosivo (cal/cm<sup>3</sup>);

$$Pd = d v \quad (13)$$

Sendo:

$P_d$  = pressão de detonação;

$d$  = densidade média do explosivo;

$v$  = velocidade de propagação da detonação;

## 2.3 Geologia

O Distrito Mineiro de Pitinga está situado na porção sul do Escudo das Guianas entre as Provincias Geocronológicas Amazônia Central, a Leste, e Ventuari-Tapajós ou Tapajós-Parima, a oeste. Dentre as rochas que constituem esta unidade será dada ênfase no Granito Madeira que é um corpo que aflora como stock com forma alongada na orientação SW-NE, figura 5, constituído por quatro faces, diferenciadas em termos petrográficos, geoquímicos e metalogenéticos, figura 3 e 4.

A classificação de pegmatitos, figura 3, depende de uma variação de fatores como: composição química e mineralógica, textura, estrutura interna, forma e tamanho do corpo pegmatítico, relações com a rocha encaixante e gênese (Paludo, 2018).

A rocha é cinza claro a cinza rosado com textura porfirítica exibindo fenocristais de K-feldspato com tamanho de grão médio a grosso e matriz fina a média, figura 4. Sua composição modal é formada essencialmente por K-feldspato perítico e quartzo com proporções acessórias de biotita, fluorita, opacos e zircão.

As mineralizações de estanho (cassiterita), nióbio (columbita), tântalo (tantalita) e criolita estão presentes apenas na fácies Albita Granito (AG), com Sn, Nb e Ta ocorrendo em minerais disseminados em ambas as subfácies de borda e de núcleo. Atualmente no depósito de Pitinga são extraídos como produtos Sn do beneficiamento de cassiterita e como subproduto Nb a partir de columbita e Ta a partir da Tantalita. Ocorrem minerais portadores de elementos de transição como polititionita (Li), xenotima (Y), e de elementos de terras raras como torita (Th), e zircão (U), presentes na subfácies Albita Granito de Núcleo. Estes elementos são considerados estratégicos e potencialmente aplicados na indústria aeroespacial e na fabricação de aços especiais. Com produção mensal de aproximadamente 500 t de Sn a partir de minério com teor médio de 2,8 g/t. de Sn e de Nb e Ta de aproximadamente de 300 t mensais. A vida útil do depósito é estimada em aproximadamente 38 anos de exploração contínua (SILVA, 2018).

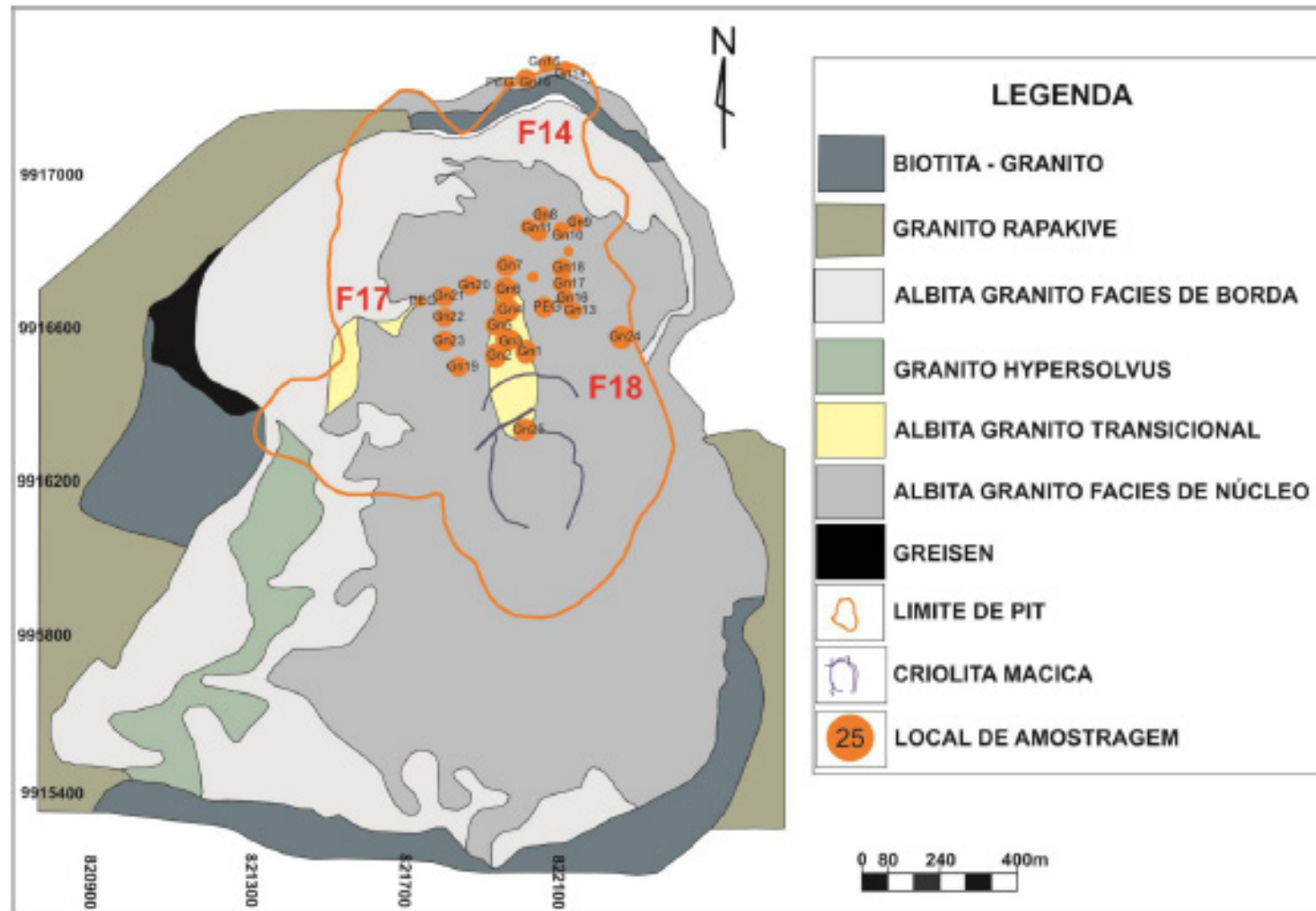


Figura 2: Mapa Geológico da Mina de Pitinga da Mineração Taboca S/A, (SILVA, 2018).

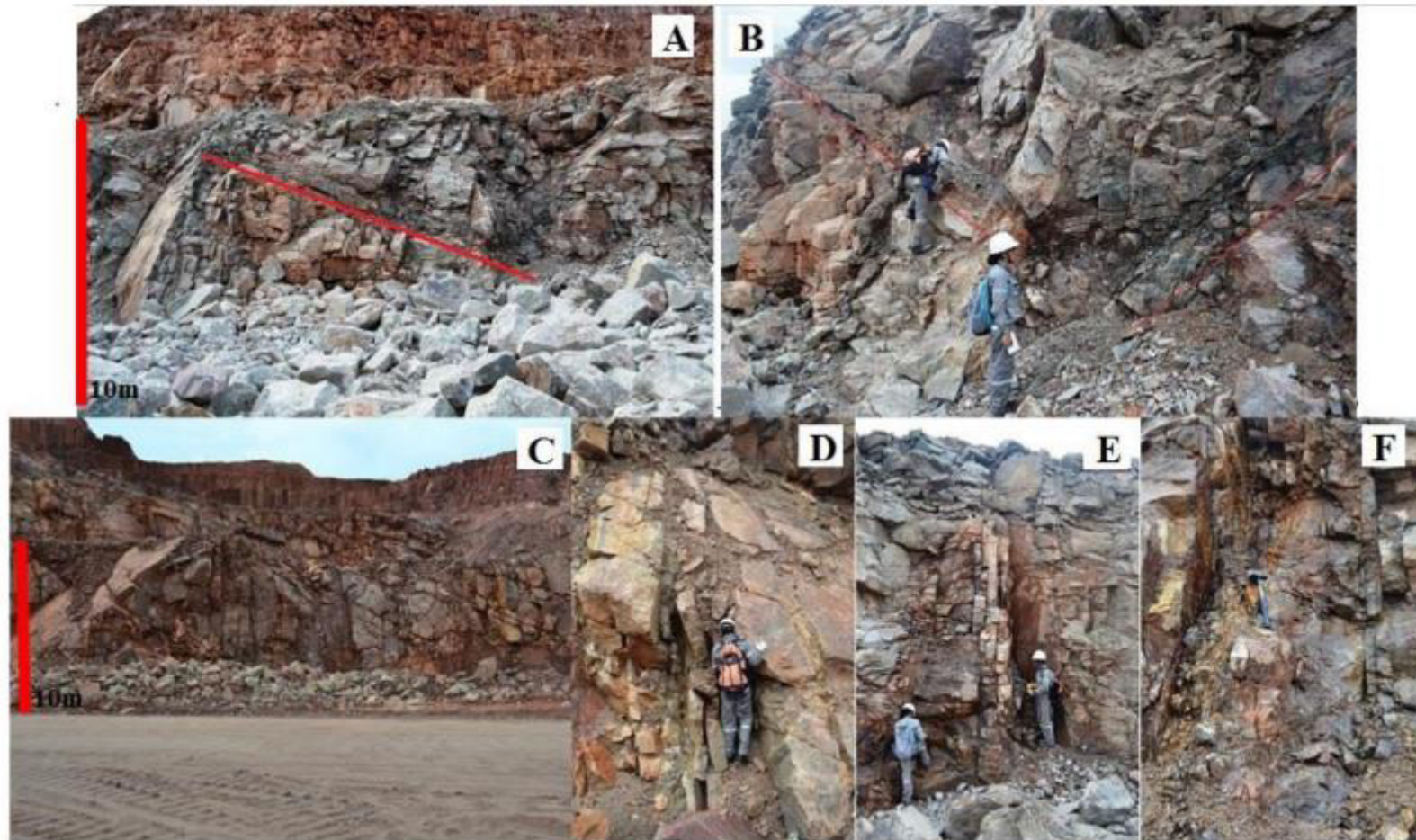


Figura 3: Zonas de cisalhamento. A) orientada para NE-SW (altura da banca 10m) com brecha não coesa associada (Gn 5). B) zona de cisalhamento em conjugado orientada NW-SE com deformação interna da rocha em brecha (Gn3). C, D, E, F) Estrutura vertical com atitude N-S, (Silva, 2018).

A distribuição espacial das estruturas rúpteis mapeadas na cava ativa da mina Pitinga, mostra um sistema de cisalhamento principal orientado SW-NE que possui uma zona de cisalhamento conjugada orientada SE-NW, sintética dextral, e uma conjugada com componente trativa, com espelho de falha estrias e steps com ângulo médio de mergulho, com atitude geral SENW dominante e mergulho alto para W (Figura 4).

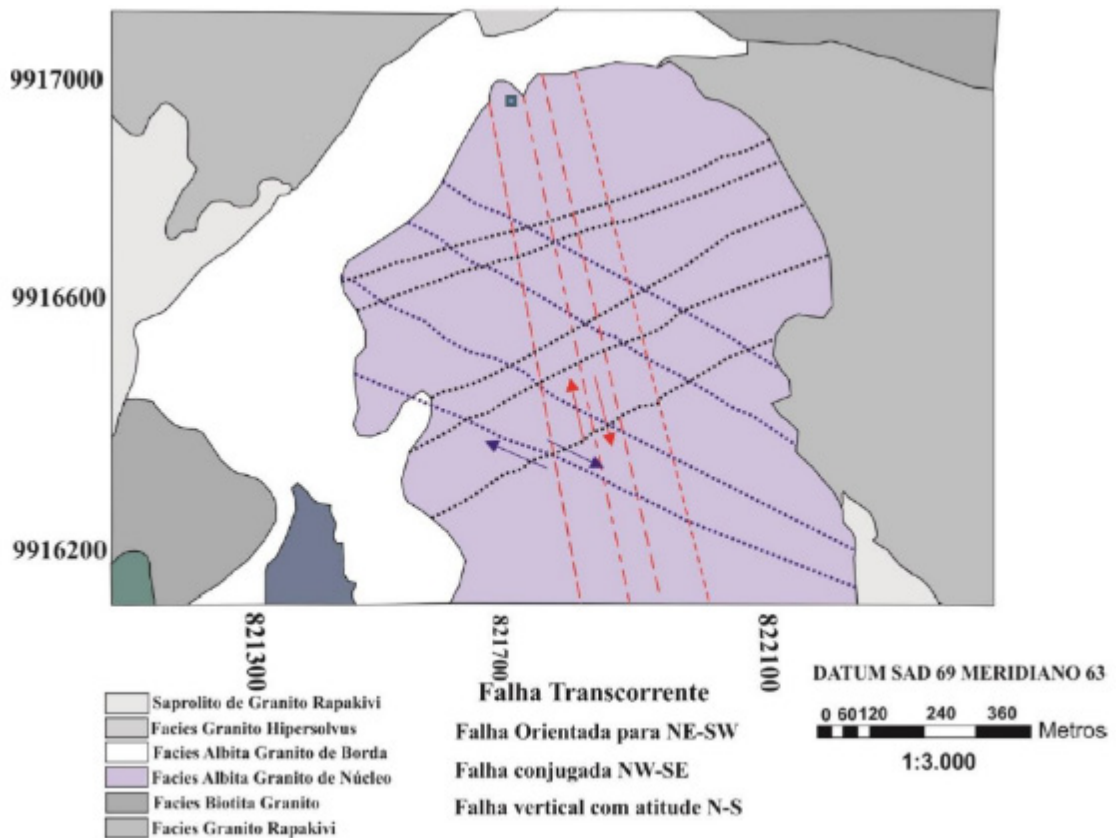


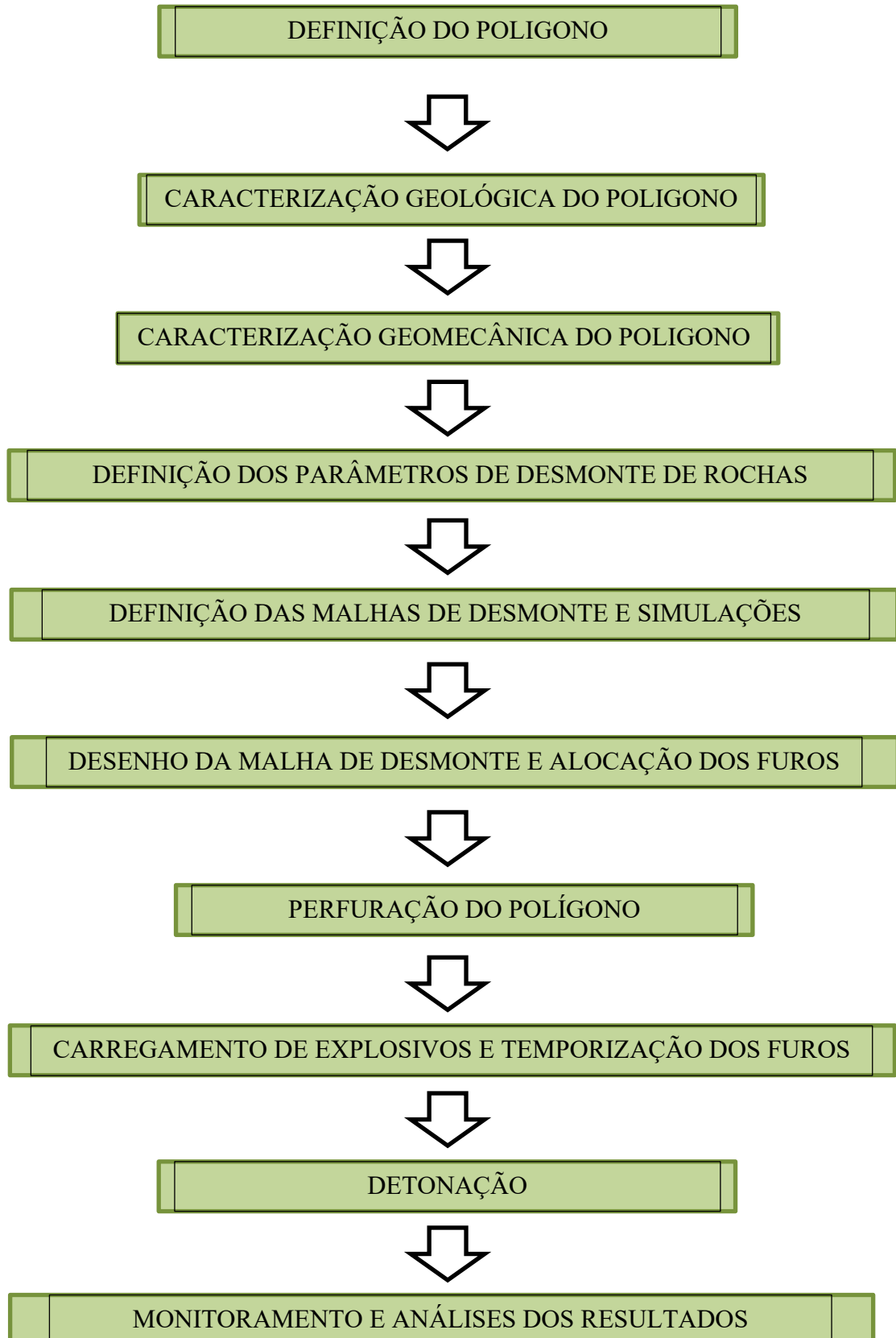
Figura 4: Distribuição espacial das estruturas rúpteis observadas em campo, (Silva, 2018).



Figura 5 – Visualização do grau de fraturamento da rocha da mina de Pitinga (contribuição do autor, 2019).

### 3 METODOLOGIA

Neste trabalho as seguintes etapas foram seguidas para a determinação dos planos de detonação e obtenção dos resultados:



### **3.1 Definição do polígono**

A definição da área de perfuração, denominada polígono, é para delimitar o perímetro ao qual deve-se realizar a alocação dos furos para perfurar e posteriormente desmontá-lo. Nesta etapa é fundamental que o profissional que esteja trabalhando neste planejamento determine os seguintes indicadores:

- Área a ser desmontada;
- Volume a ser desmontado;
- Determinar o tipo de material, se é minério ou estéril conforme modelo de blocos;
- Teor médio dos elementos aos quais interessam para o empreendimento mineiro;
- Data de necessidade do desmonte.

### **3.2 Caracterização geológica do polígono**

A caracterização geológica do polígono é importante para conhecer qual ou quais litologias estão presente naquele polígono e as características deste maciço do ponto de vista litológico. Uma vez caracterizado o maciço o mesmo será subdividido para o dimensionamento de uma malha, conforme parâmetros de desmonte de rochas para obtenção da fragmentação ótima.

### **3.3 Caracterização geomecânica do polígono**

A caracterização geomecânica do polígono, figuras 8 e 9, é fundamental para a identificação das famílias de descontinuidades presentes no maciço e no polígono em questão. As famílias de descontinuidades servirão de premissas na seleção do posicionamento da malha de perfuração e conseqüentemente obtenção da direção para lançamento do desmonte de modo a obter a melhor fragmentação possível conforme parâmetros utilizados.

As famílias de descontinuidades, figuras 6 e 7, podem ajudar ou prejudicar a fragmentação em um desmonte de rochas com explosivos. A partir da correta identificação das descontinuidades e correto posicionamento da malha a fragmentação pode ser melhor e até permitir o menor consumo de explosivos. Nesta

etapa também devem ser identificadas as informações da rocha e suas estruturas que serão pertinentes para determinar a malha para desmontar a rocha e realizar simulações para obter a curva granulométrica teórica ideal:



Figura 6 – Ar comprimido dissipado pelas fraturas durante a execução da perfuração

Family	DIP	AZ	Structure's dip	measurements	Spacing (m)
FL1	46	215	SW	27	10
FL2	58	328	NW	10	10
FR1	89	265	N-S (Subvertical)	211	0.4
FR2	38	216	SW	56	4
FR3	66	193	SW	113	0.4
FR4	42	338	NW	88	2
FR5	2	248	Sub-horizontal	80	0.42

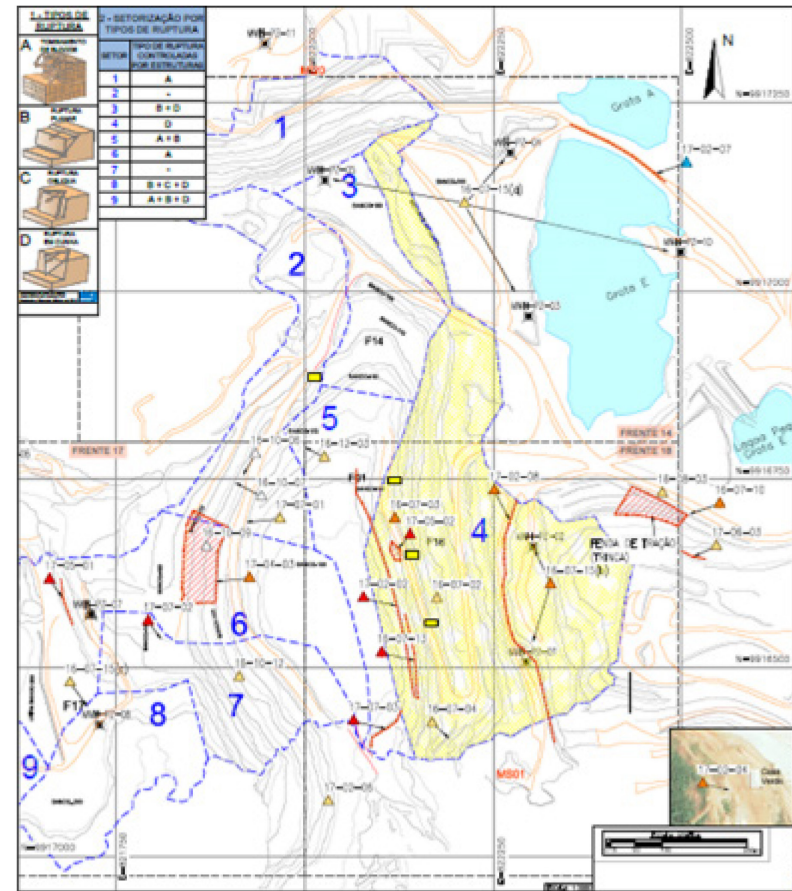


Figura 7: Tipos de discontinuidades, suas combinações no maciço e foto ilustrando o fraturamento aberto da rocha



Figura 8: Mapeamento de estruturas da rocha da Mina de Pitinga

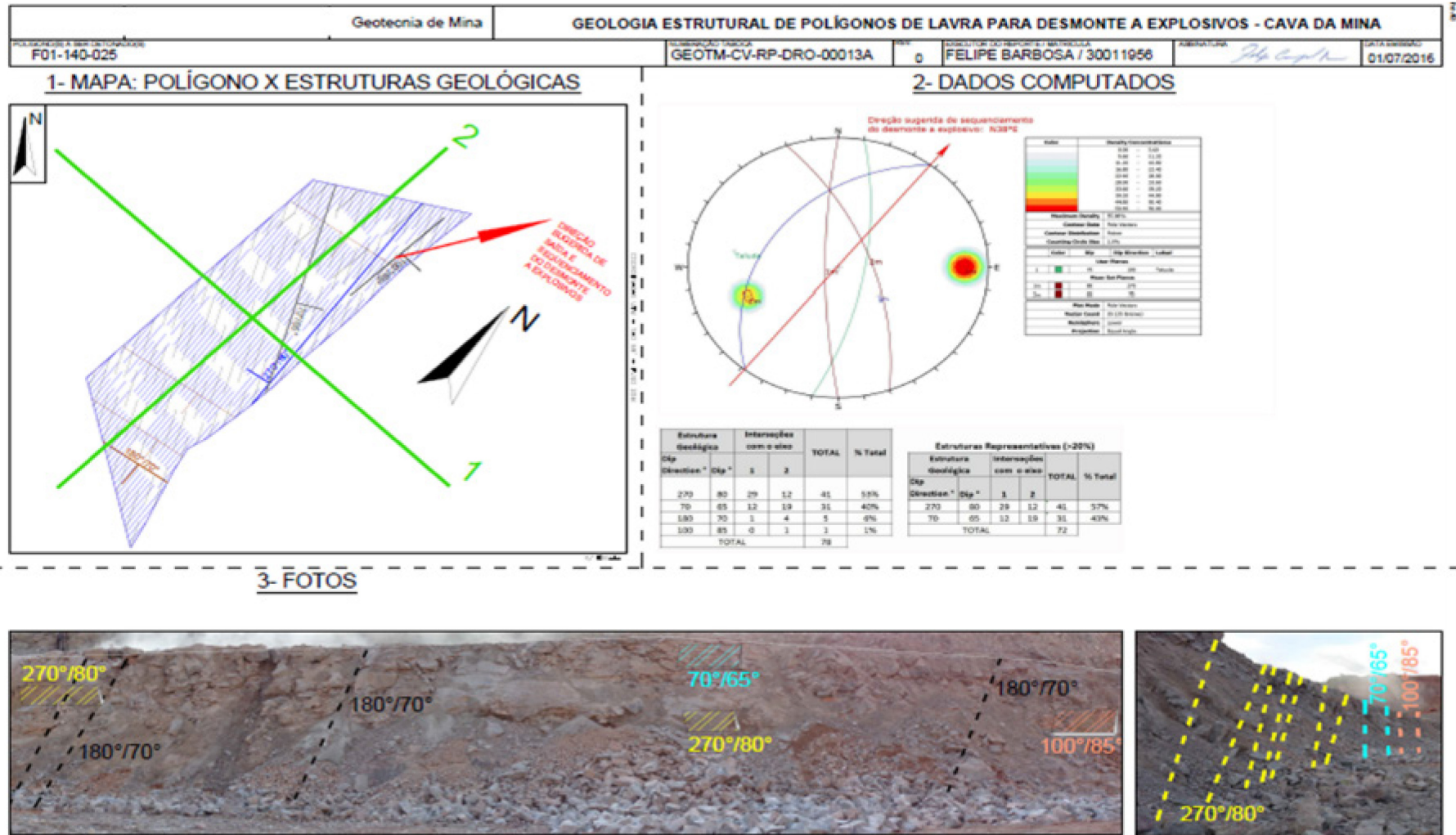


Figura 9: Mapeamento das descontinuidades por polígono indicando o melhor direcionamento para maximizar a fragmentação

### 3.4 Definição dos parâmetros de desmonte de rochas

A partir das características e premissas operacionais como tipo do bem mineral, altura de banco, porte dos equipamentos de lavra, abertura máxima da britagem primária e curva granulométrica ótima de alimentação, deve-se fazer a seleção dos parâmetros de perfuração e desmonte de rochas como:

- Diâmetro de perfuração;
- Seleção dos tipos de explosivos (explosivos principais, reforçadores, iniciadores etc.).

Em um novo projeto (*greenfield*) tem-se naturalmente mais liberdade para fazer o estudo dos diâmetros adequados, métodos e equipamentos de perfuração, bem como melhor seleção dos explosivos que darão um resultado adequado de fragmentação a um custo competitivo com o processo e bem mineral em questão. Já em um projeto em operação (*brownfield*) nem sempre se tem a oportunidade de trabalhar com os parâmetros mais adequados, pois há recursos disponíveis na operação que nem sempre serão os ideais e para mudar demandará algum nível de investimento. Neste caso, deverá ser feito um estudo para justificar a proposta de alteração e investimento no processo.

### 3.5 Definição das malhas de desmontes e simulações

De posse das informações deve-se nesta etapa, propor as possíveis malhas de desmonte e realizar simulações a partir do modelo Kuz-Ram. Nesta etapa é necessário definir os parâmetros, figura 10:

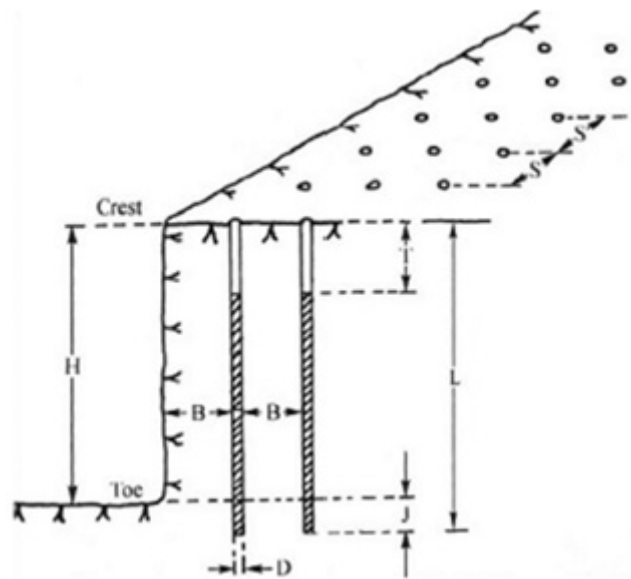


Figura 10 – Desenho esquemático de um plano de perfuração para desmonte de rochas

- Afastamento ( $B$ );
- Espaçamento ( $S$ );
- Altura do banco ( $H$ );
- Diâmetro do furo ( $D$ );
- Comprimento do Furo e sua inclinação ( $L$ );
- Sub-perfuração ( $J$ );
- Comprimento do tampão ( $T$ );
- Disposição da malha (quadrada, retangular ou estagiada e a relação  $E/A$ );
- Densidade do explosivo ( $t/m^3$ );
- Razão de Carga ( $kg/t$ );
- Sistema de iniciação (não-elétrica ou eletrônica);
- Temporização e sequenciamento de saída dos furos;
- Tipo de material para tamponamento dos furos.

Nas simulações realizadas neste trabalho foram usados os seguintes parâmetros, tabela V, aplicando as fórmulas mencionadas.

**Tabela V: Parâmetros de desmorte utilizados**

Índice de Uniformidade n :	Símbolo	Unidade	Valor
Tipo da Malha	P	-	1,1
Diâmetro do furo	D	mm	171,45
Afastamento	B	m	3,00
Espaçamento	S	m	5,15
Desvio da perfuração	W	m	0,1
Comprimento da carga	L	m	9
Altura da bancada	H	m	10
Índice de Uniformidade	n	-	2,18
RMD - JF Rocha fraturada			70
Densidade da Rocha	$\rho$	g/cm <sup>3</sup>	2,64
RDI			16
UCS			244
HF			48,8
Fator da Rocha	A	-	8,09
Densidade do Explosivo		t/m <sup>3</sup>	1,2
Massa do Explosivo	Qe	kg/furo	249,34
Razão de Carga	K	kg/m <sup>3</sup>	1,614
Razão de Carga	K	g/t	611,3
Velocidade de Detonação Efetiva	VODE	m/s	5716
Velocidade de Detonação Nominal	VODn	m/s	4975
RWS	RWS	%	99
Energia Relativa por Massa de Explosivo em relação ao ANFO	Er	%	130,69
Tamanho Médio	X50	cm	12,78
Tamanho Médio	X50	mm	127,84

Tendo por base as combinações dos modelos de fragmentação de rochas e utilizando as equações mencionadas é possível gerar uma representação gráfica da distribuição granulométrica de fragmentação, figura 11.

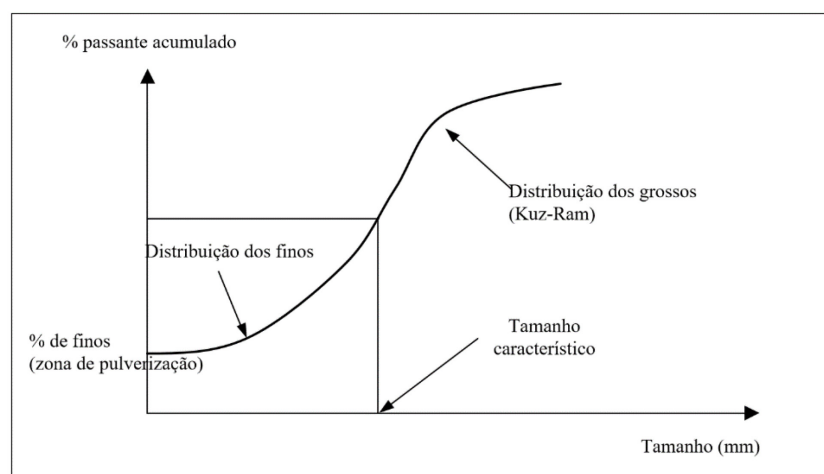


Figura 11 – Distribuição de tamanho de finos e grosso de ROM (MORAIS, 2004)

Na Figura 11 é possível identificar as áreas do gráfico que quantifica a distribuição de grossos e a distribuição de finos.

As figuras 12, 13 e 14 representam as simulações utilizando o modelo matemático conforme as variações das malhas de desmonte de rochas utilizadas neste trabalho.

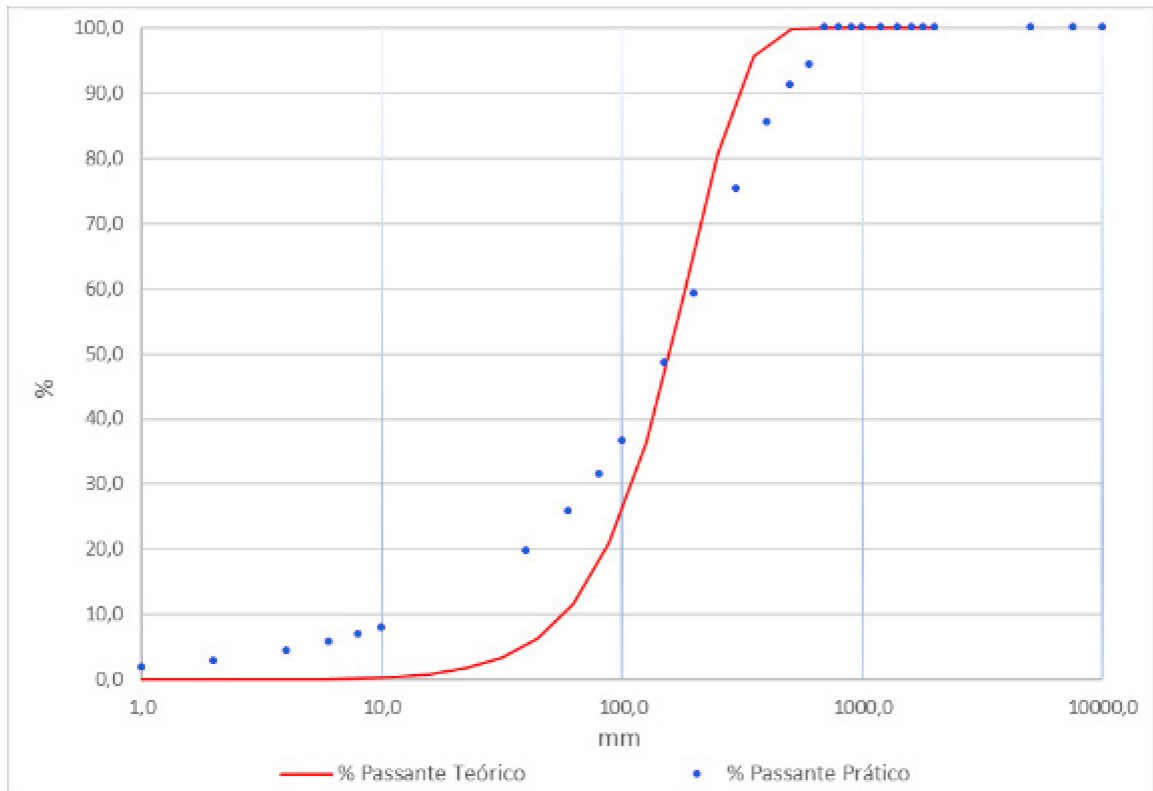


Figura 12: Simulação malha baseline 3,40 m de afastamento por 5,85 m de espaçamento

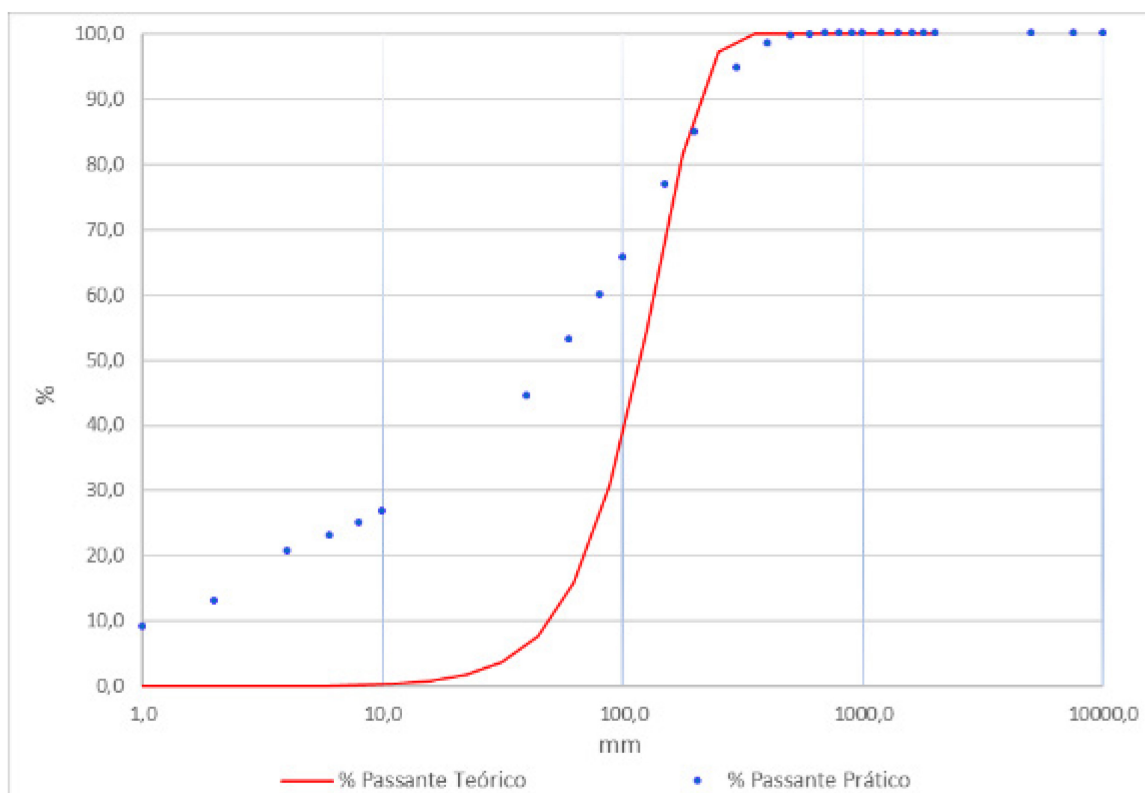


Figura 13: Simulação 2,85 m de afastamento por 4,90 m de espaçamento

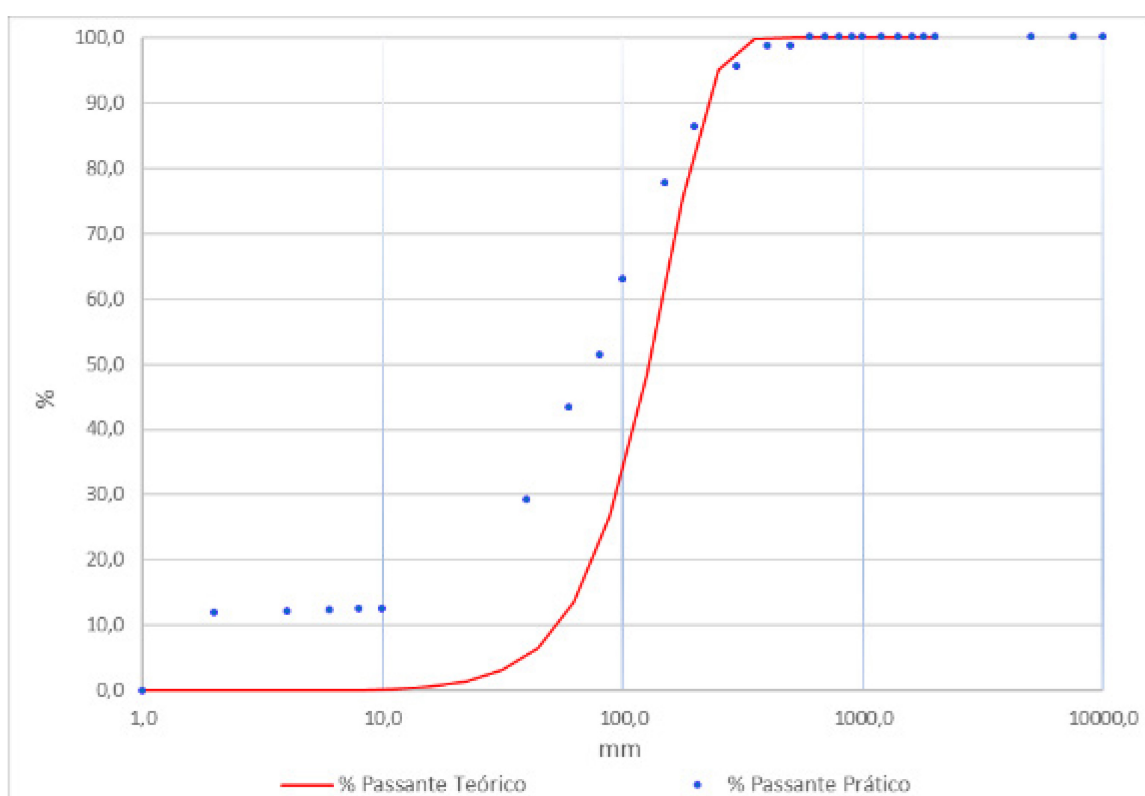


Figura 14: Simulação 3,00 m de afastamento por 5,15 m de espaçamento



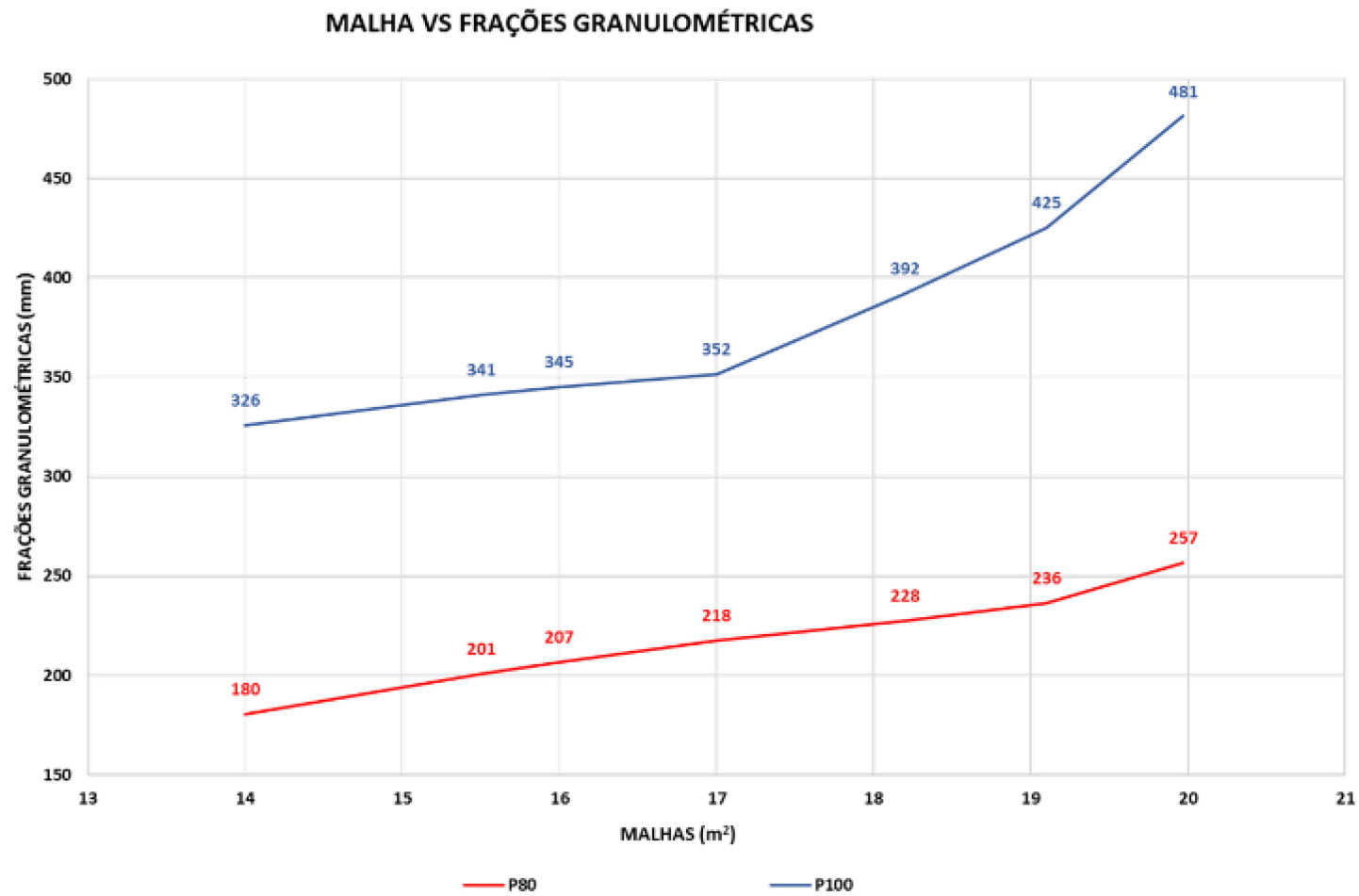


Figura 15: Variações de malhas de desmonte e comportamento do P80 e P100

A Tabela VI representa os vários cenários avaliados e constam as variações das curvas granulométricas obtidas utilizando o modelo matemático. Com base nestas simulações foi possível gerar uma curva demonstrando o comportamento do P80 e P100 conforme diferentes malhas utilizadas, figura 15.

Caso haja nos polígonos variações significativas em litologia e geomecânicas das rochas, deverão ser analisados quais e quantos tipos de malhas deverão ser trabalhados de forma a otimizar os custos e maximizar os resultados de fragmentação. Em operações que haja informações, dados confiáveis, aconselha-se realizar um estudo para estabelecer a curva de desmonte para a Mina de Pitinga.

A curva de desmonte da Mina de Pitinga é a uma análise gráfica a qual correlaciona os custos dos principais processos operacionais com as variações dos parâmetros de desmonte de afastamento ( $B$ ) e espaçamento ( $S$ ).

### **3.6 Desenho da malha de desmonte de rochas e alocação de furos**

Após cumprida as etapas anteriores a malha de perfuração deverá ser desenhada em algum software que permita obter informações de “X” e “Y” (colar do furo) e “Z” (profundidade objetiva do furo).

As alocações destes furos em campo devem ser feitas utilizando recursos como, topografia de alta precisão ou importado em sistemas embarcados de navegação de perfuração por GPS (*Global Position System*), o qual permite a visualização e posicionamento preciso dos furos.

### **3.7 Perfuração do polígono**

Uma vez marcado em campo ou disponibilizado o projeto de perfuração importado nos equipamentos deve-se iniciar a perfuração propriamente dita.

Nesta etapa devem-se coletar o máximo de informações durante a perfuração para identificar transições de rochas com diferentes resistências, conforme parâmetros de perfuração utilizados. No mercado há sistemas que permitem, de forma automática, a identificação e registro das diferentes transições de rochas e coleta destes dados como premissa para a elaboração do plano de fogo ou plano de carregamento de explosivos.

Uma reconciliação entre planejado e executado deve ser feita nesta etapa para verificação da aderência.

### **3.8 Carregamento de explosivos e tamponamento de furos**

Uma vez realizada a perfuração programada deve-se realizar a conferência de todas as profundidades dos furos e realizar o plano de carregamento. Neste plano deve-se contemplar todos os detalhes de carregamento com explosivos citados anteriormente e entregue ao *Blaster*, responsável pelo carregamento e detonação. Nos planos de fogos devem contemplar também as sequencias planejada de saída dos furos com as respectivas temporizações.

Quando determinado o plano de fogo deve-se iniciar o carregamento de explosivos com os recursos existentes e registrados os dados executados para serem feitas reconciliações entre planejado e executado nesta etapa. Após o carregamento dos explosivos devem ser feitos as conexões dos furos utilizando os acessórios iniciadores não-elétrico ou as temporizações utilizando acessórios iniciadores eletrônicos. Nesta etapa é fundamental que haja previamente o Estudo Elementar de Ondas, para orientar qual a melhor temporização para se obter reduzido dano ao maciço, menor vibração nas áreas adjacentes, comunidade, estruturas e melhor resultado de fragmentação.

### **3.9 Detonação**

Nesta etapa deve-se tomar todo o cuidado, pois é um momento de grande ansiedade das pessoas envolvidas muito em função dos riscos. Normas brasileiras específicas para desmonte de rochas devem ser seguidas para esta etapa.

### **3.10 Monitoramento e análise dos resultados**

Os parâmetros de desmontes de rochas deverão ser sempre analisados e testados, pois o mesmo é sempre empírico, ou seja, é necessário serem determinados e testados para confirmação dos resultados e para isto é fundamental o seu monitoramento.

Os monitoramentos mais importantes são:

- Perfilagens através de laser profile ou BoreTrack;
- Sismografia em pontos chaves;
- Medições de VOD (*velocity of detonation*);
- Análise de granulometria média do desmonte.

A partir destes monitoramentos, dentre outros, será possível obter e analisar os dados dos desmontes para propor novos testes, novos padrões e verificar qual será a melhor opção para a lavra em questão.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Caso base**

Em 2017 a Mina de Pitinga praticava uma malha de desmonte com os parâmetros de 3,40 metros de afastamento e 5,85 metros de espaçamento com a qual era possível obter um  $P_{80}$  de 400 a 450 mm. Buscando uma melhor fragmentação e diminuição das frações grosseiras foram planejados desmontes testes com malhas mais adensadas. O primeiro, realizado no mês de novembro de 2017, foi previsto utilizar uma malha de 14 metros quadrados com os parâmetros de 2,85 metros de afastamento por 4,90 metros de espaçamento. O segundo teste, realizado em dezembro de 2017, utilizou uma malha intermediária à primeira malha teste com 15 metros quadrados, sendo 3,0 metros de afastamento e 5,15 metros de espaçamento, mantendo o diâmetro de perfuração de 171 mm e demais parâmetros de desmonte de rochas constantes.

O modelo Kuz-Ram foi utilizado para simular as malhas de desmonte variando o afastamento e o espaçamento testados em campo. A partir de análises granulométricas dos desmontes, realizadas através de foto análises, utilizando software específico WipFrag, foi possível verificar a aderência do modelo aos dados experimentais.

Como de prática, para o desenvolvimento dos projetos de perfuração, primeiramente é definido a área de lavra, seu sequenciamento e a definição do polígono pela equipe de planejamento de lavra, o qual são utilizadas as premissas:

- A área do polígono (Área a ser detonada);

- Volume do polígono;
- Quantidade de furos;
- Massa total a ser desmontada;
- Teor médio.

Com o polígono definido é elaborado o projeto de perfuração, conforme as seguintes premissas de desmonte:

- Afastamento;
- Espaçamento;
- Sub-perfuração;
- *Over-break* estimado;
- *Smooth Blasting* adotado;

Na Taboca utilizam-se apenas uma malha para o desmonte de produção, exemplificado na figura 16.

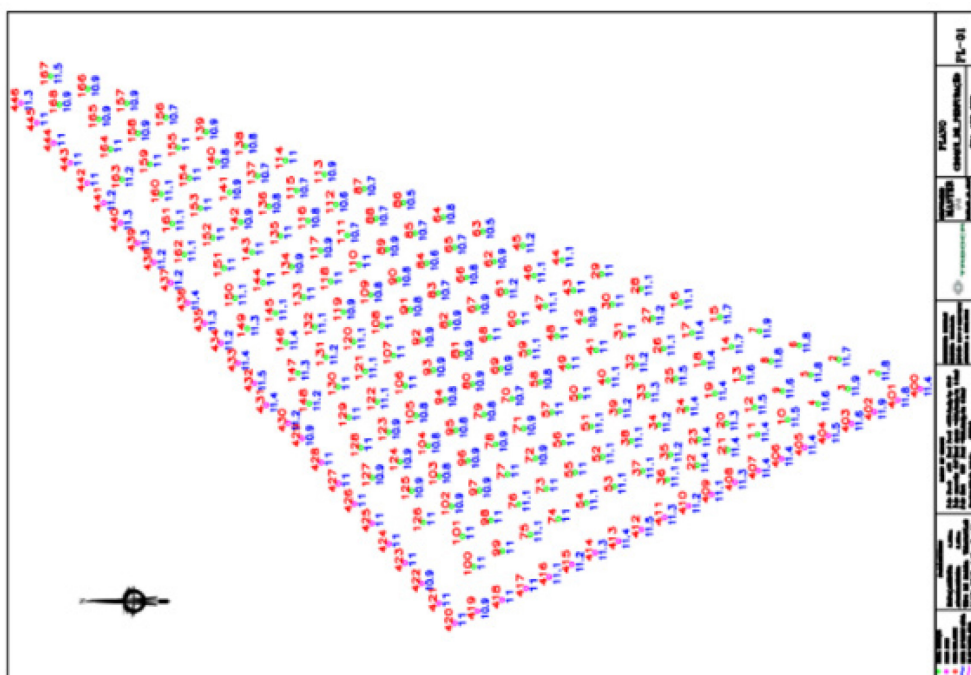


Figura 16 – Projeto de Perfuração

A figura 17 mostra a execução do projeto de perfuração F01\_150\_007.



Figura 17 - Execução do Projeto de perfuração F01\_150\_007 em campo

Nos desmontes em Pitinga é utilizada perfuração de 6  $\frac{3}{4}$ " de diâmetro, com carregamento de explosivos do tipo heavy ANFO, 70/30 a uma densidade de 1,20 t/m<sup>3</sup>. É utilizada uma malha estagiada e uma razão E/A de 1,72. Esta razão tem o objetivo de permitir o lançamento maior da pilha mitigando a geração de blocos e sobre-pisos nas praças.

Conforme figura 18, a operação de desmonte na Taboca encontrou na técnica de amortecimento dos impactos no talude, *Smooth Blasting*, uma boa opção para controle de sobre-quebra, "overbreak", em finais de desmonte, redução de danos e preservação de bermas. São parâmetros especiais utilizados sendo atualmente considerado 3,80 metros de afastamento e 3,04 metros de espaçamento, figuras 16.



Figura 18 - Desmonte utilizando a técnica *Smooth Blasting*

Quando o contorno é detonado depois dos furos de produção, espaçamento e afastamento podem ser calculados usando a equação 14 (Tamrock, 1988):

$$E = 15 \dots 20 d \quad (14)$$

Sendo:

E = espaçamento (mm);

d = diâmetro do furo (mm).

A figura 19 representa o perfil de carregamento de explosivos dos furos de produção e furos de contorno (*Smooth Blasting*).

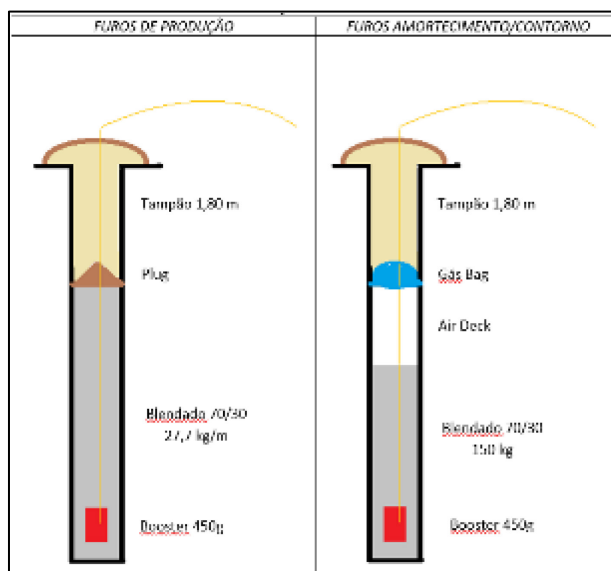


Figura 19 – Desenho esquemático dos carregamentos dos furos de produção e dos furos de contorno dos polígonos

Na utilização de detonadores pirotécnicos as temporizações são de 17 milissegundos (ms) entre furos e de 42 ms entre linhas. Esta temporização permitiu o melhor lançamento e formação de pilha dos desmontes. Para os furos da linha de contorno, (*smooth blasting*) são utilizados tempos individuais com 100 ms após a iniciação do furo anterior de produção mais próximos.

Buscando realizar os monitoramentos dos resultados dos desmontes a Taboca realiza continuamente as análises granulométricas dos fogos com as quais são acompanhadas as evoluções do  $P_{80}$ , tamanho do conjunto de partículas (em

milímetros) que corresponde a 80% passante nesta malha. Estas análises são realizadas através de softwares específicos de análise granulométrica realizados pelas análises de imagens (foto análises) com auxílio de referenciais que indicam um tamanho para servir como escala. Para realizar estas análises utilizam-se os softwares WipFrag desktop e WipFrag IOS através de um tablet.

Este é um método de análise bem conhecido e utilizado no mercado, porém possui erros no processo de obtenção e tratamento das imagens, que são inerentes ao processo e técnicas são adotadas durante o processo de fotografia e análises para mitigar estes erros. Apesar dos erros, é um método bastante utilizado mundialmente, relativamente de baixo custo e que permite rapidamente correlacionar os resultados obtidos, comparar os diferentes padrões e tomar decisões, figuras 20 e 21.

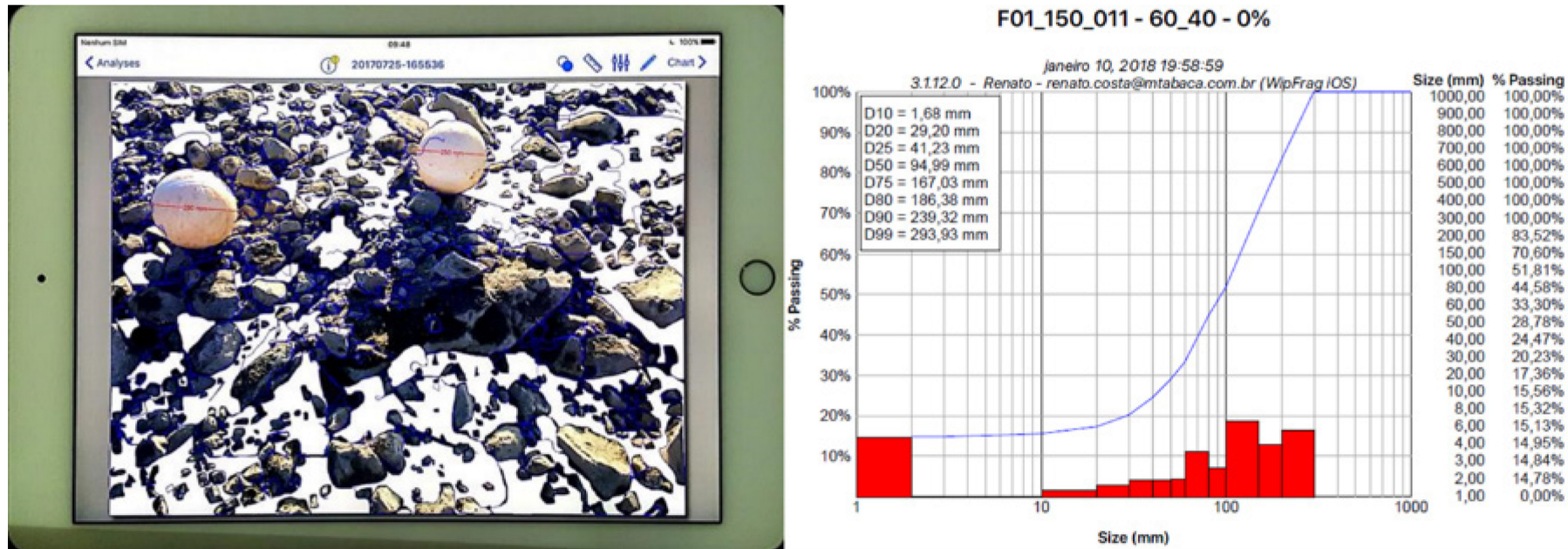


Figura 20 - Software Wipfrag IOS utilizado para mensurar a fragmentação do desmorte de rochas

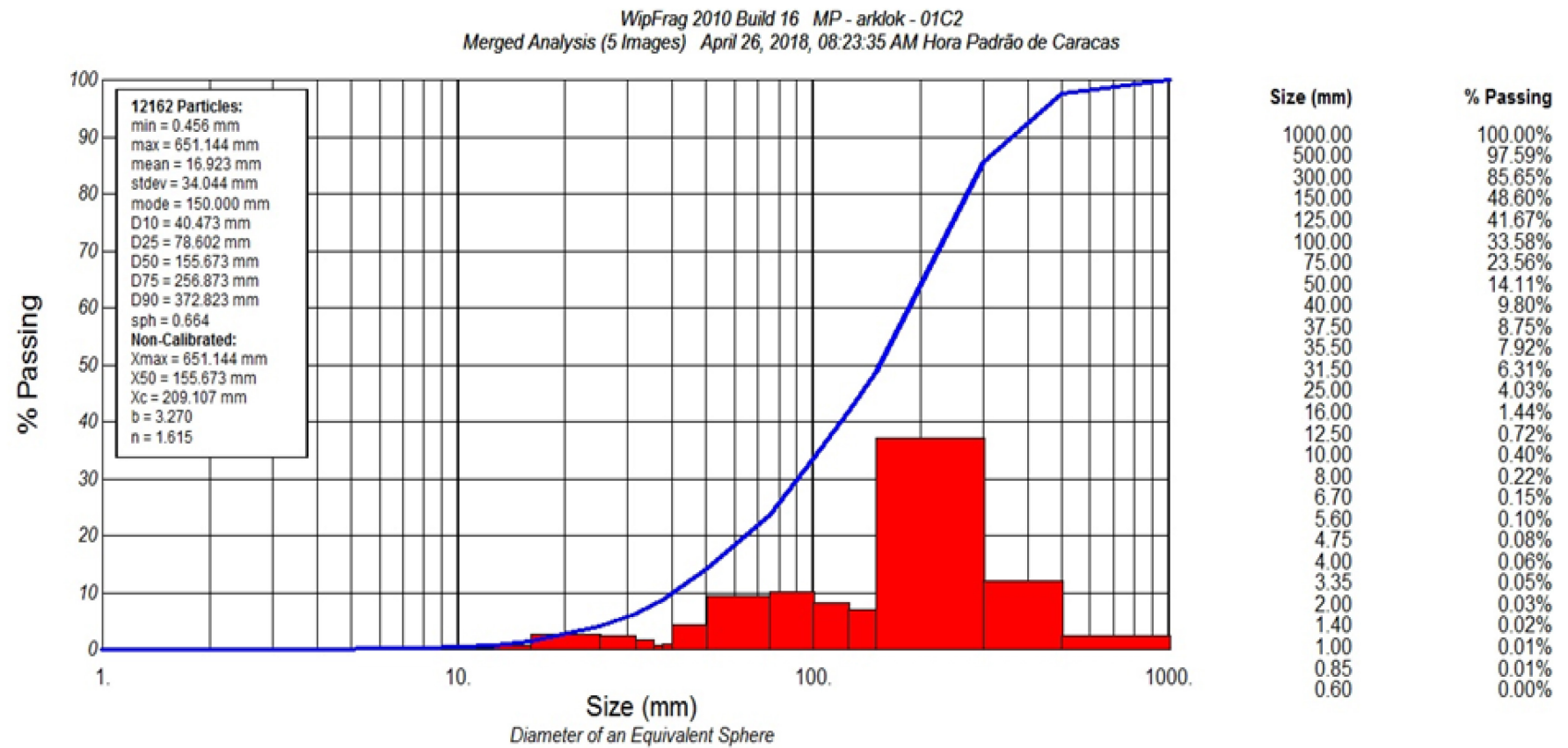


Figura 21 - Resultado de análise granulométrica utilizando WipFrag

Nos desmontes testes foram realizadas todas as preparações dos polígonos e áreas desmontadas com a adequada limpeza da frente, figuras 22 e 23, incluindo o pé, irregularidade do piso, evidenciando uma boa condição de face livre para projeção do material.



Figura 22 - Limpeza de frente e condição de face livre



Figura 23 - Projeto perfurado e condição de face livre

Com estes resultados de granulometria do material foi possível realizar simulações de custos, ganhos operacionais de mina e produtividade dos processos de britagens e rebitagens.

Conforme evolução dos custos obtidos nas simulações do desmonte chega-se à conclusão que entre as malhas de 2,85 metros de afastamento por 4,90 metros de espaçamento e a malha de 3,00 metros de afastamento por 5,15 metros de espaçamento é o ponto ótimo. Nesta fração estabelece-se o limite entre compensar financeiramente ou não a alteração de malha, visando a compensação dos custos nos processos subsequentes em função do aumento de custos em perfuração e desmonte.

Realizando simulações em função das curvas granulométricas obtidas pode-se elevar a produtividade da rebitagem em até 27%. Em função dos resultados obtidos nas simulações e estudos decidiu-se operacionalizar a malha de 3,0 metros de afastamento e 5,15 metros de espaçamento para apurar os ganhos.

#### 4.2 1ª Malha teste:

Primeiramente foi realizado um teste com a malha de com 2,85 metros de afastamento por 4,90 metros de espaçamento em um polígono denominado F01\_150\_007.

A direção projetada da face livre, coincidentemente é a direção em geral que se obtém resultados satisfatórios de fragmentação e preservação da parede do banco em função do conjunto das famílias de descontinuidades.

Neste desmante foi realizada a temporização padrão da Mina de Pitinga com iniciadores não-elétricos, utilizando tempos de 17 milissegundos (ms) entre furos, 42 ms entre linhas e 100 ms entre a linha de produção e a linha de amortecimento de ondas (*Smooth Blast*).

Pelo comparativo das fotos das figuras 24 e 25, é possível verificar uma boa formação de pilha no desmante, bom lançamento, bom descolamento da parede final, boa granulometria do desmante e melhor homogeneidade de fragmentação em relação aos desmontes anteriores.



Figura 24 - Pilha de material desmontado



Figura 25 - Pilha de material desmontado com malha antiga

Para registro da granulometria do material deste desmonte foram utilizados dois softwares com o mesmo método de análise, o WipFrag IOS pela Taboca e o Split Desktop pela Enaex Britanite, ambos utilizando o método de foto análise. No total foram realizadas 23 análises, conforme anexos, o que possibilitou gerar a curva média do desmonte com  $P_{80} = 166$  mm e  $P_{100} = 619$  mm, figuras 26 e 27.

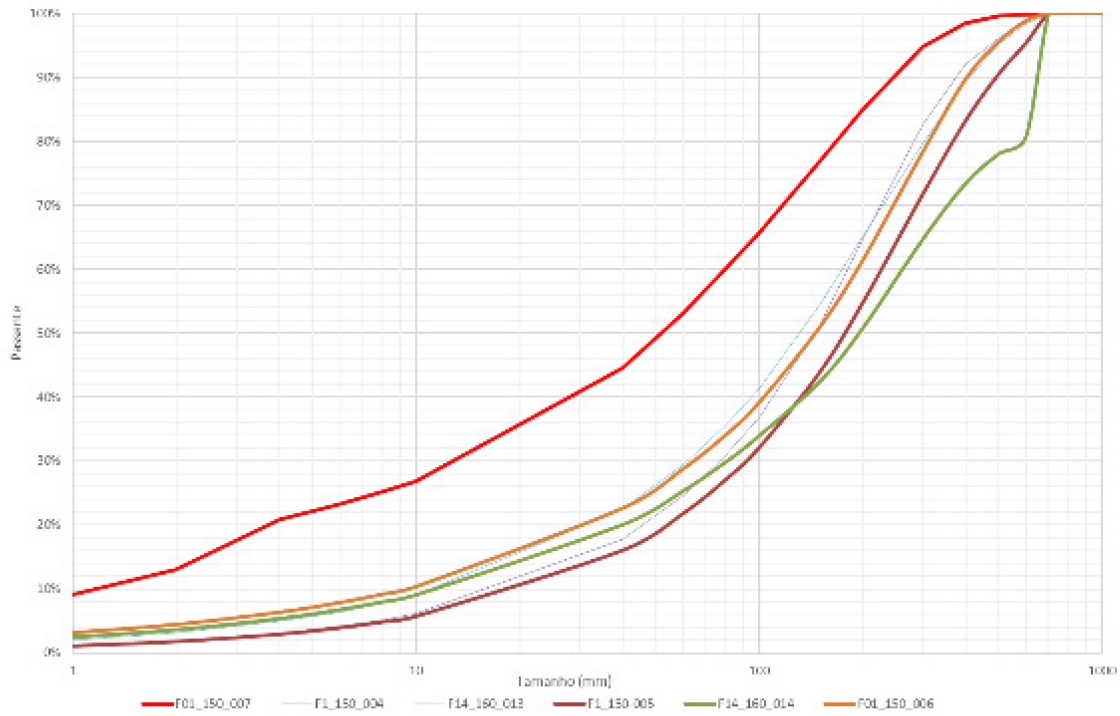


Figura 26- Análise Granulométrica média do polígono F01\_150\_007 e médias anteriores

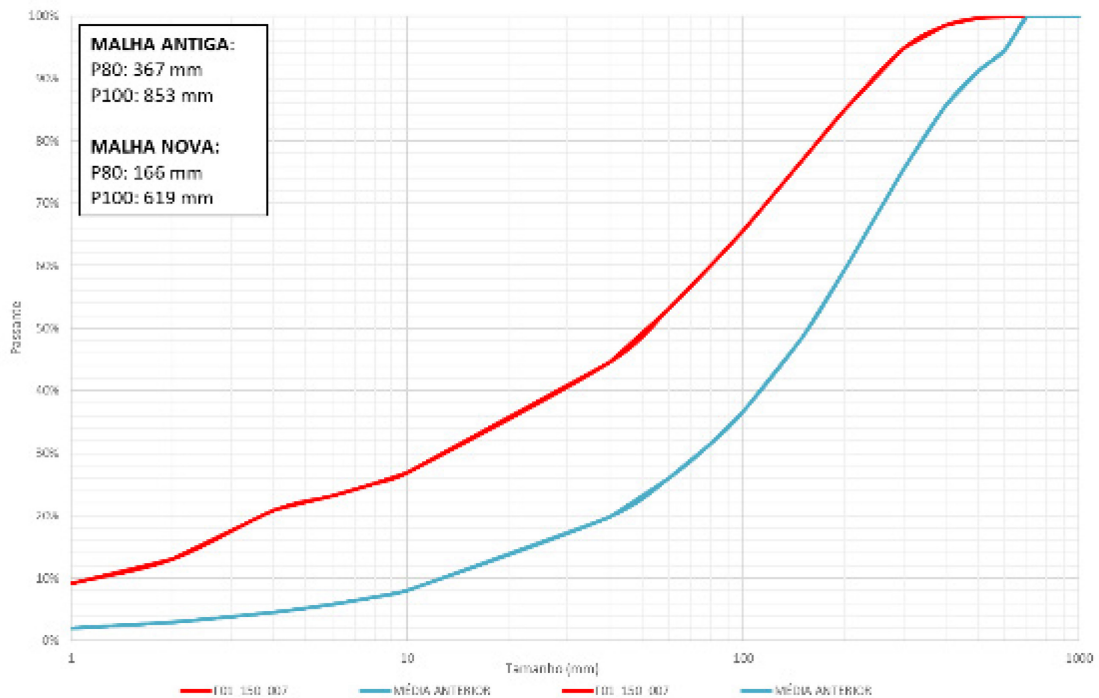


Figura 27 - Análise Granulométrica média do novo polígono F01\_150\_007 e média dos polígonos anteriores

A malha de perfuração no primeiro teste representa a redução de 30% em área para desmonte de produção e o mesmo percentual de decréscimo da massa desmontada por furo conforme Tabela VII.

**Tabela VII – Dimensionamento de perfuração e desmonte para a malha de 2,85 m de afastamento por 4,90 m de espaçamento**

DIMENSIONAMENTO DE PERFURAÇÃO E DESMONTE				
	Und.	Malha Atual	Malha Nova	Dif. %
Dias	dia	365	365	
Horas Calendário	h	8760	8760	
Equip.	Nº	2	2	
DF	%	75%	75%	
UF	%	46%	65%	42%
TX	m/h	24	24	
Prod.	m	144.105	205.244	42%
<b>Afast.</b>	<b>m</b>	<b>3,4</b>	<b>2,85</b>	
<b>Espaç.</b>	<b>m</b>	<b>5,85</b>	<b>4,9</b>	
Sub-Perf.	m	0,5	0,5	
Alt. Banco	m	10	10	
Área Malha	m <sup>2</sup>	19,89	13,97	-30%
Volume	m <sup>3</sup>	198,90	139,65	
Dens. Rocha	t/m <sup>3</sup>	2,64	2,64	
M. Desm. Furo	t	525	369	-30%
M. Desm. Total Ano	t	7.206.543	7.206.543	
Furos	Nº	13.724	19.547	42%

Realizando o dimensionamento de perfuração para um cenário de um ano a utilização física deverá ser aumentada para ser mantida a mesma disponibilidade física para desmontar aproximadamente 7.200.000 toneladas.

Este foi o passo inicial para melhoria do desmonte de rochas na mina de Pitinga. Por ser uma mina com alta complexidade para desmonte de rochas, análises, coletas de dados são importantes para embasar melhor o trabalho de fragmentação de rochas que serve para registrar resultados ao longo de toda cadeia produtiva.

O desmonte do polígono F01\_150\_007 teve uma redução de granulometria de 54,4% no  $P_{80}$  e 27,4% no  $P_{100}$ . Não foi possível avaliar estes ganhos ao longo dos processos subsequentes por ter sido apenas um desmonte, entretanto, foi importante

e possível identificar ganhos pontuais em menor tempo de escavação, menor geração de blocos, aumento de taxa na britagem primária e necessidade de menor enchimento das caçambas dos caminhões.

#### **4.3 2ª Malha teste:**

Após o teste da 1ª nova malha com 14 metros quadrados e apurados os resultados decidiram-se por realizar uma malha intermediária à primeira com 3,00 metros de afastamento e 5,15 metros de espaçamento, e também realizar a verificação dos resultados.

Para esta malha foi desenvolvido o projeto F01\_150\_010, figura 29, e mantido todos os demais parâmetros, conforme tabela VIII.

**Tabela VIII – Dimensionamento de perfuração e desmonte para a malha de 3,0 m de afastamento por 5,15 m de espaçamento**

DIMENSIONAMENTO DE PERFURAÇÃO E DESMONTE				
	Und.	Malha Atual	Malha Nova	Dif. %
Dias	dia	365	365	
Horas Calendário	h	8760	8760	
Equip.	Nº	2	2	
DF	%	75%	75%	
UF	%	46%	59%	29%
TX	m/h	24	24	
Prod.	m	144.105	185.517	29%
<b>Afast.</b>	<b>m</b>	<b>3,4</b>	<b>3,0</b>	
<b>Espaç.</b>	<b>m</b>	<b>5,85</b>	<b>5,15</b>	
Sub-Perf.	m	0,5	0,5	
Alt. Banco	m	10	10	
Área Malha	m <sup>2</sup>	19,89	15,45	-22%
Volume	m <sup>3</sup>	198,90	154,50	
Dens. Rocha	t/m <sup>3</sup>	2,64	2,64	
M. Desm. Furo	t	525	408	-22%
M. Desm. Total Ano	t	7.206.543	7.206.543	
Furos	Nº	13.724	17.668	29%

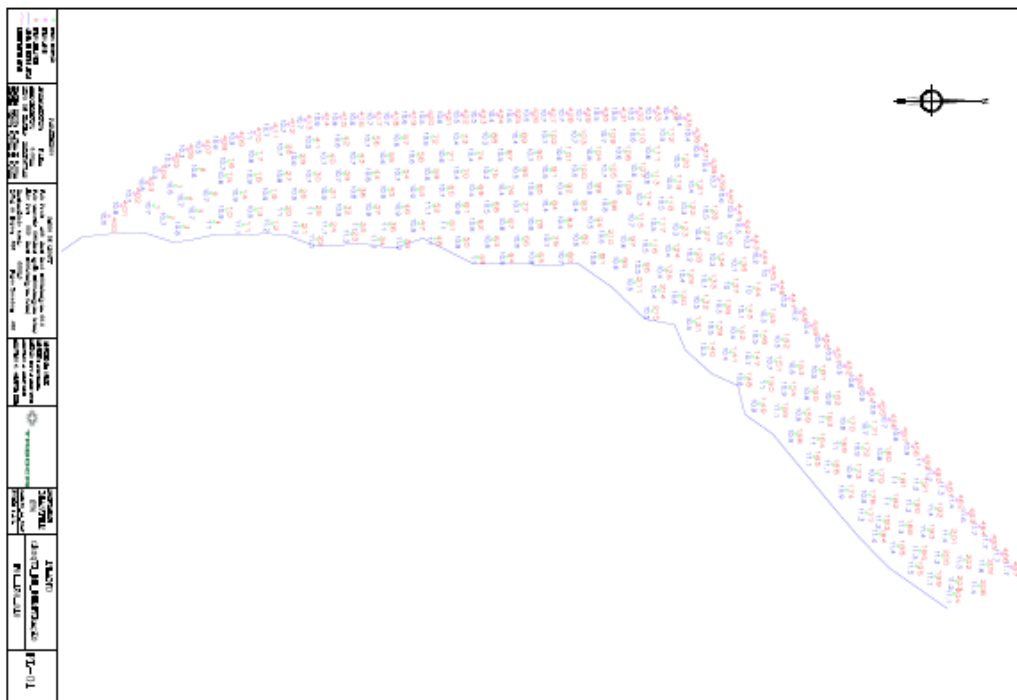


Figura 28 - Projeto de Perfuração polígono F01\_150\_010

Conforme mostrado nas Figura 29 e 30 segue a condição de face livre do polígono de desmonte F01\_150\_010 perfurado e carregado para desmontar. O projeto de desmonte deste plano é correspondente a figura 28.



Figura 29 - Polígono F01\_150\_010 pronto para desmontar



Figura 30 - Polígono F01\_150\_010 antes do desmonte

A figura 31 mostra a o polígono F01\_150\_010 desmontado.



Figura 31 - Polígono F01\_150\_010 desmontado

As curvas granulométricas geradas com base nas fotos análises destes desmonte estão representadas nas figuras 32 e 33.

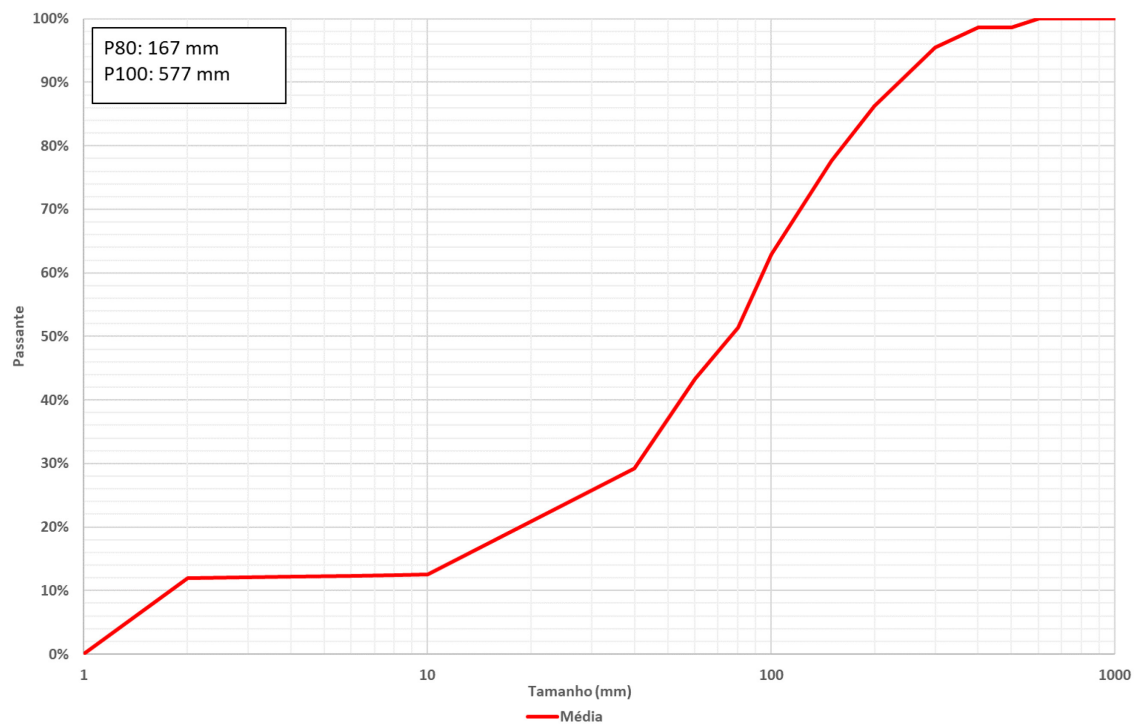


Figura 32 - Análise granulométrica média geral do polígono F01\_150\_010

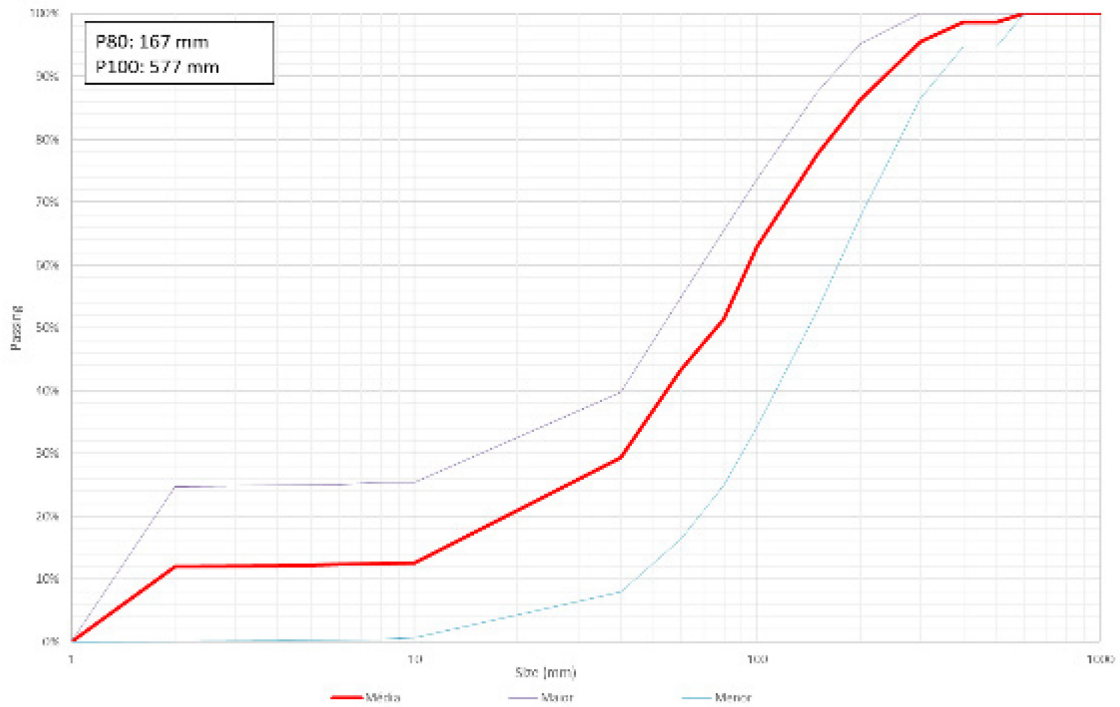


Figura 33 - Análise granulométrica detalhada e média do polígono F01\_150\_010

#### 4.4 Curvas de Desmonte

Após os testes realizados foram apurados os resultados, Figura 36,  $P_{80} = 167$  mm e  $P_{80} = 168$  mm, respectivamente, para a primeira e segunda malha proposta. Os resultados das malhas foram semelhantes às porções maiores de 65%, mas para granulometria menores que este percentual a malha de 2,85 metros de afastamento por 4,90 metros de espaçamento apresentou maior percentual de finos, conforme figura 34.

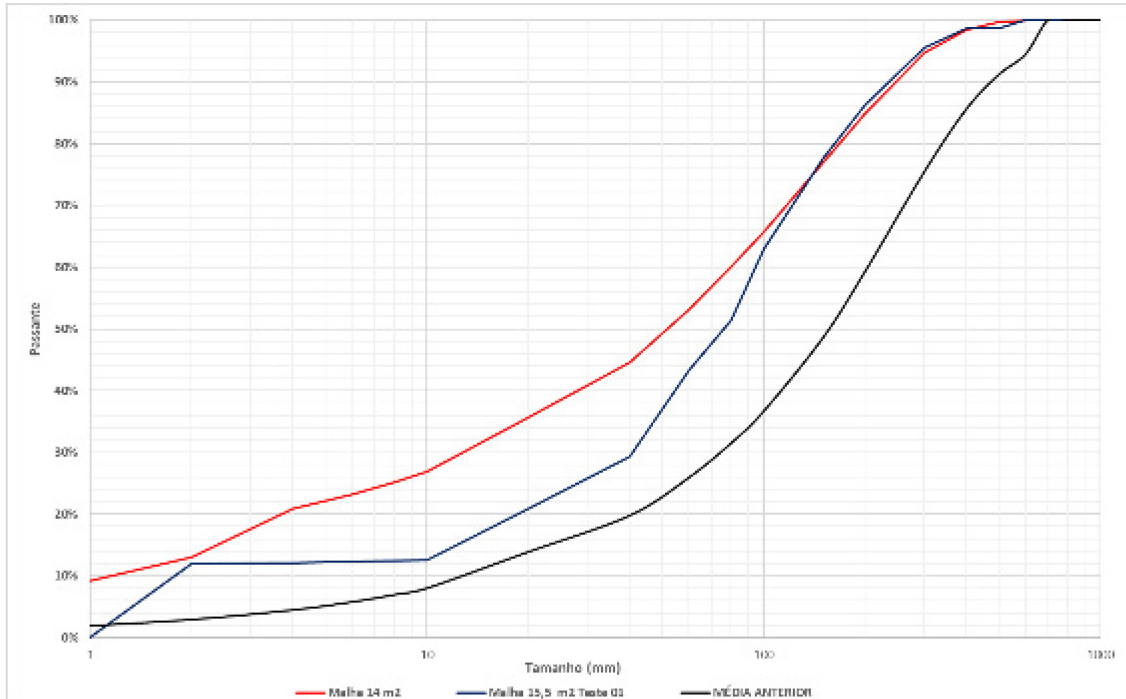


Figura 34 - Análise Granulométrica detalhada e média do polígono F01\_150\_010

Com estes resultados de granulometria do material foi possível realizar simulações de custos e estimar ganhos operacionais de mina e produtividades dos processos de britagens e rebritagens.

Praticando a malha de 2,85 metros de afastamento por 4,90 metros de espaçamento estimou-se um acréscimo de aproximadamente 23% ao ano nos custos dos processos de perfuração e desmonte e estimou-se um retorno de 12% abaixo dos gastos previstos. Praticando a malha de 3,0 metros de afastamento por 5,15 metros de espaçamento calculou-se um acréscimo anual de aproximadamente 16,2% nos custos dos processos de perfuração e desmonte e estimou-se um retorno em outros processos de 10% acima deste valor por ano.

Abaixo segue, figura 35, mostra o comparativo da evolução dos custos operacionais dos principais processos operacionais conforme alteração das malhas de desmonte de rochas.

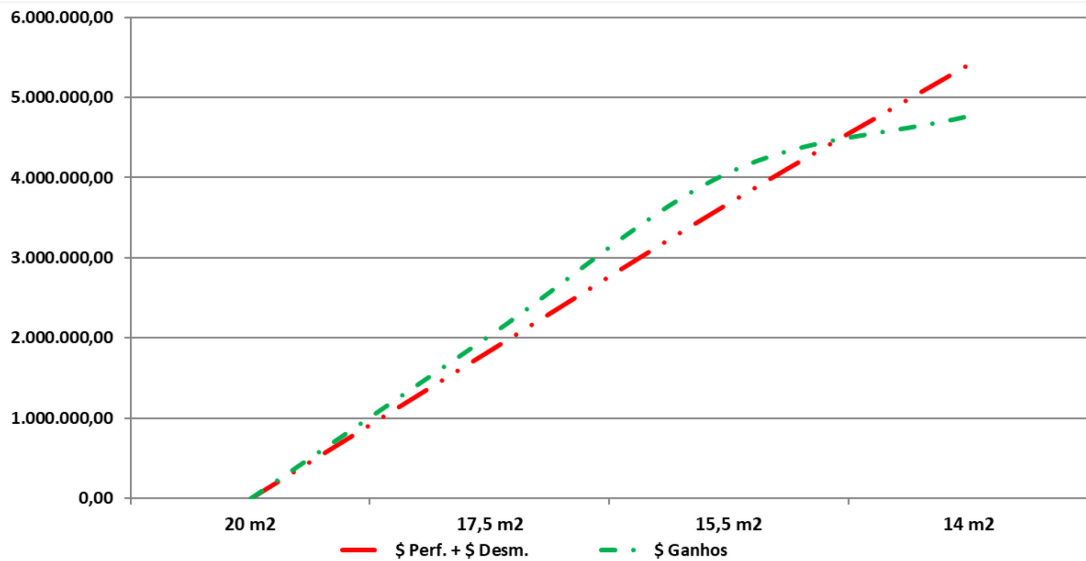


Figura 35 - Curva custos de desmorte

A figura mostra a evolução dos custos conforme variação de malhas e concluiu-se que entre a primeira e segunda malha proposta um ponto intermediário entre elas é o ponto ótimo que estabelece o limite entre compensar financeiramente ou não o adensamento de malhas, figura 35, visando a compensação dos custos nos processos subsequentes em função do aumento de custos em perfuração e desmorte.

Em função dos resultados obtidos nas simulações e testes iniciais decidiu-se operacionalizar a malha do 2º teste e  $15\frac{1}{2}$  m<sup>2</sup>, 3,00 metros de afastamento por 5,15 metros de espaçamento entre furos e apurar os resultados.

A malha foi operacionalizada inicialmente por 3 meses e confirmou-se os resultados em fragmentação de 54,4% no  $P_{80}$  e 27,4% no  $P_{100}$ .

Ao longo de 2018 a malha do 2º teste 3,00 metros de afastamento por 5,15 metros de espaçamento entre furos foi realizada por várias vezes permitindo um resultado satisfatório de  $P_{80}$ , conforme mostrado na figura 36:

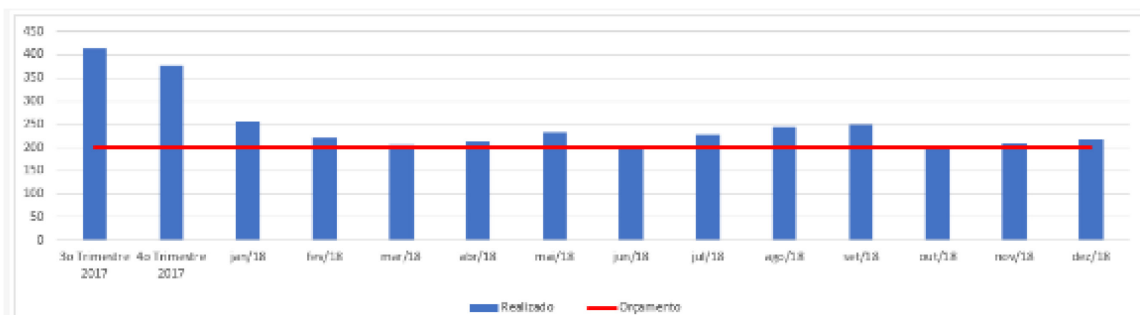


Figura 36 - Evolução P80

Praticando a malha mais fechada que 3,00 metros de afastamento por 5,15 metros de espaçamento mesmo havendo algumas variações durante o período, o  $P_{80}$  médio obtido através das análises granulométricas, pelo método de foto análise, permaneceu entre 197 e 249 mm.

Neste período avaliado o tempo de obstrução da britagem primária diminuiu em relação ao tempo obtido com a malha anterior no período de baseline, figura 37.

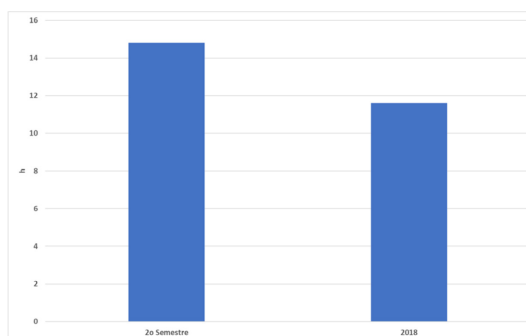


Figura 37 --- Tempo médio de obstrução da britagem primária

Inicialmente praticava-se uma malha de desmorte de 3,40 metros de afastamento por 5,85 metros de espaçamento a qual entregava um  $P_{80}$  de aproximadamente 400 mm. Buscando uma fragmentação melhor, inclusive com diminuição da porção mais grosseira foram planejados desmontes testes com as malhas mais adensadas.

O primeiro teste realizado utilizou-se uma malha de 2,85 metros de afastamento por 4,90 metros e o segundo teste realizou-se com uma malha intermediária à primeira malha teste mantendo o diâmetro de perfuração de 6  $\frac{3}{4}$ ".

## 5 APLICAÇÃO DE MODELO DE GERAÇÃO DE ONDAS DE CAMPO CURTO PARA FRAGMENTAÇÃO DE ROCHAS

Minas modernas tem um alto nível de controle de fragmentação, controle de danos, taludes e impactos ambientais. A introdução e a extensiva utilização de iniciadores eletrônicos reforçam o foco nos resultados de desmorte de rochas embora sistemas de otimização não prontamente ou amplamente disponíveis e são raramente utilizados de maneira rotineira nas operações mineiras. O modelamento da geração de ondas juntamente com os iniciadores eletrônicos permite identificar os melhores tempos para cada desmorte melhorando os respectivos resultados. A fragmentação

na zona de tampão pode ser maximizada em função da temporização a ser utilizada. Os danos nos taludes remanescentes ou nas bermas subsequentes podem ser minimizados pela cuidados na temporização e é normalmente mais efetivo que pela redução de custos pelos diâmetros dos furos permitindo gerar uma curva de probabilidade de dano. Impactos de vibração no meio ambiente podem ser minimizados com o cuidado na seleção dos tempos. O modelo de geração de ondas permite que esta seja uma ferramenta de uso diário dos engenheiros de desmontes para tomada de decisão para mitigar danos e ter o máximo controle sobre impactos nos desmontes de rochas (MCKENZIE, 2013).

O modelamento de ondas é baseado no princípio de superposição linear de ondas que é resultado da detonação de múltiplas cargas que pode ser encontrada simplesmente pelo somatório linear de ondas geradas por cada carga individual (MCKENZIE, 2013).

A aplicação do modelo de ondas para a previsão de níveis de vibração mesmo altos e complicadas detonações tem sido bem demonstrado (Hinzen et al 1987, Blair 1999, Yang 2007, Yang & Scovira, 2010). Esta habilidade demonstrada se torna a base para adicionar uma rotina de pesquisa para os modelos, assim que o modelo pode ser repetido por muitas diferentes combinações de tempos. Os dados de Bernard (2012) sugerem que através da cuidadosa seleção dos tempos, níveis de vibração provavelmente serão reduzidos em 30% em média relativo aos tempos alcançado com iniciação não-elétrica convencional (MCKENZIE, 2013).

Modelos de aplicações de ondas em campo curto são comumente encontrados em literaturas (Mckenzie & Holley 2004, Blair & Minchinton 2006, Villalba & Mckenzie 2006, Yang 2007, Yang 2007, Yang & Scovira 2010, Adamson et al 2011). Das aplicações de modelamento de ondas encontrados apenas a que utilizam a equação de Holmberg-Persson são capazes de estimar a variabilidade na intensidade da vibração em função da altura da bancada. Outros modelos são, portanto, incapazes de lidar com a vibração de campo curto a partir de interações entre várias cargas no volume da bancada (MCKENZIE, 2013).

Buscando maximizar a fragmentação de rochas da Mina de Pitinga e aplicar os melhores tempos objetivando a melhor fragmentação de rocha foram aplicados os detonadores eletrônicos. Manteve-se a mesma malha de 3,00 metros de afastamento por 5,15 metros de espaçamento.

Para determinar as temporizações mais adequadas para a rocha desta mina foi aplicada a metodologia de campo curto demonstrado na figura 38:

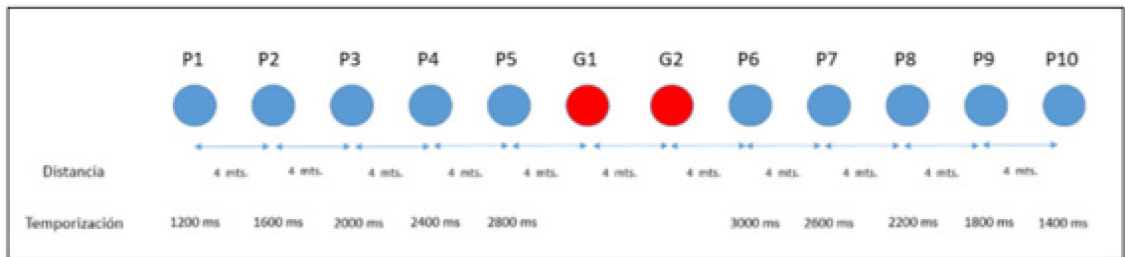


Figura 38: Perfuração e plano de carregamento para captação de campo curto

Foram perfurados 12 furos com 4 metros de espaçamento sendo que os 02 centrais foram instalados geofones para a captação das ondas e os demais furos carregados e detonados a cada 400 milissegundos da extremidade para o centro em direção dos geofones.

Utilizando software específico foi realizado o planejamento do desmonte de rochas conforme figura 39.

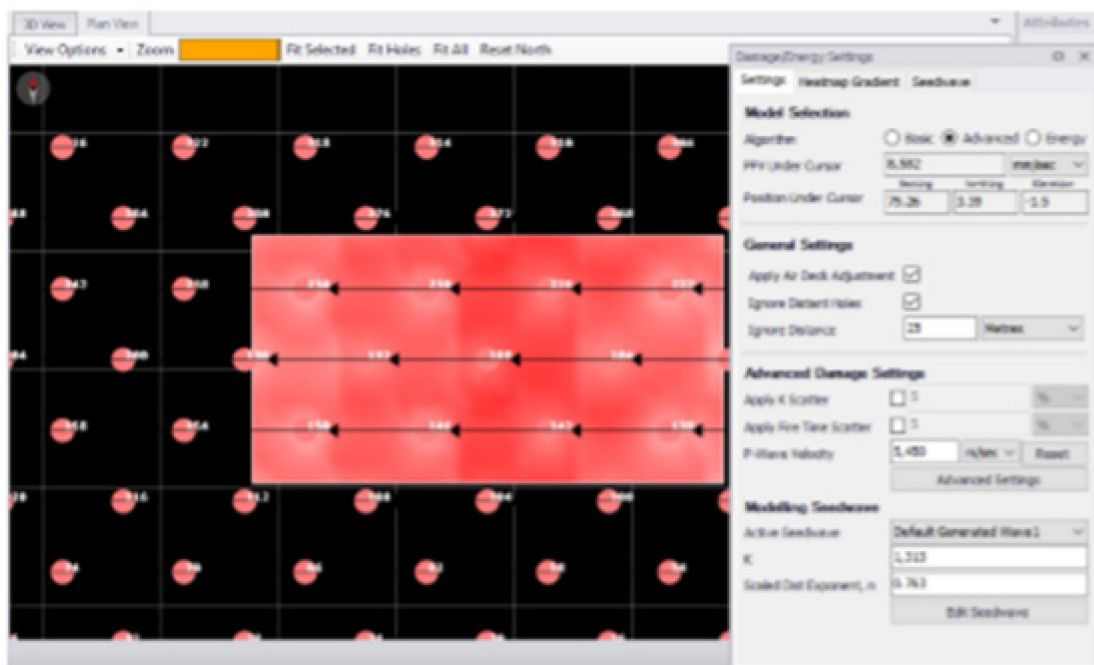


Figura 39: Análise do plano de fogo

Após a detonação, demonstrado na Tabela IX, de acordo com a captação das ondas pelos geofones foi possível identificar a relação de velocidade de partícula (PVV) e vibração.

**Tabela IX: Nível de vibração conforme velocidade de partícula**

Nível de Pertubação	Vibração (mm/s)	Relação PPV	Zona
Pulverização	13353	8*PPV Crítico	1
Dano notorio (Fraturamento intenso)	6676	4*PPV Crítico	2-3
Apriação de novas gretas	1.699	PPV Crítico	4
Dilatação de fracturas	417	¼ PPV Crítico	5

Na tabela X é possível identificar o tipo de iniciação com o nível de velocidade de partícula em PPV.

**Tabela X: Diferença entre iniciação convencional e eletrônica**

Iniciação	PPV (mm/s) Setor tampão (1,5m)	PPV (mm/s) Setor centro (6m)
Pirotécnica ( 17ms/42 ms)	4825	6227
Electrônica (4ms/42 ms)	8582	10282

Percebe-se conforme tabela X a diferença entre a velocidade de partícula da iniciação pirotécnica e a iniciação eletrônica. Esta diferença é expressiva para níveis de fragmentação de rocha, mas é importante identificar corretamente as variações do maciço rochoso.

Abaixo na figura 40 representa a diferença entre os resultados entre a fragmentação eletrônica e a pirotécnica representando uma melhoria na fragmentação em 18%.

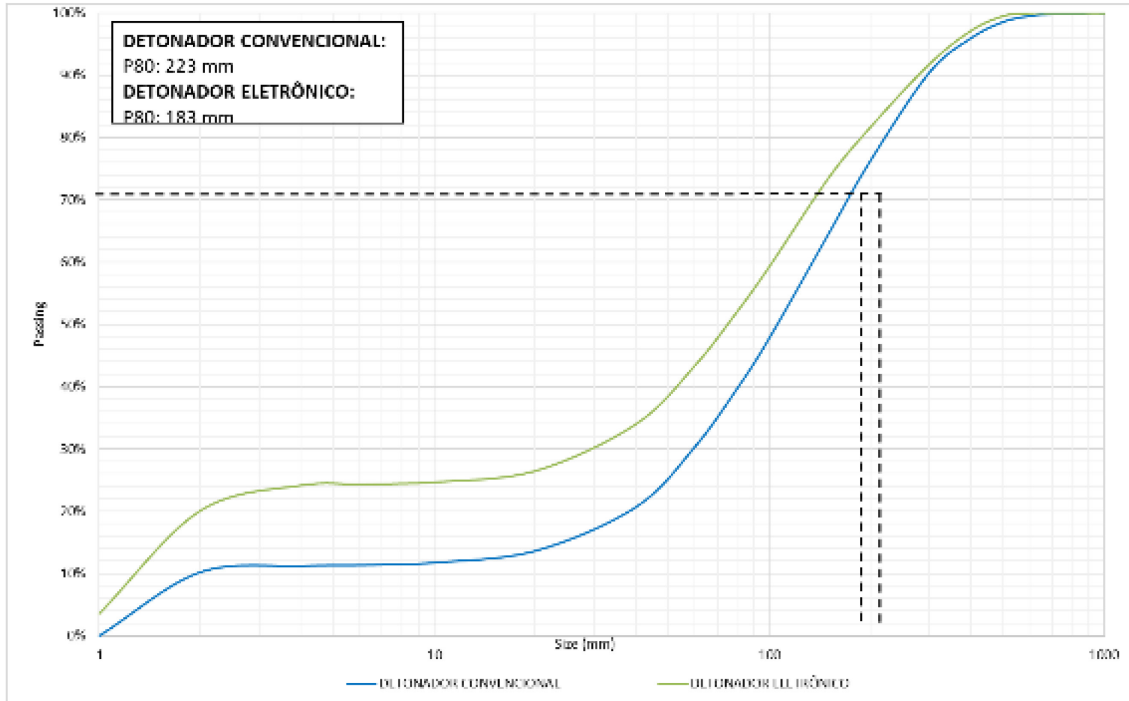


Figura 40 : Comparativo entre fragmentação utilizando iniciadores eletrônicos e pirotécnicos

## 6 CONCLUSÕES

A alteração da malha foi um passo importante para melhoria dos desmontes de rochas na mina de Pitinga, A geração de blocos maiores que 80% da fração granulométrica acima de 400 milímetros também são influenciados por fatores além da malha do polígono sendo os principais: conjunto de fraturamento da rocha, geometria do polígono, direcionamento da face livre, condições das faces livre, temporização dos furos, qualidade da perfuração e qualidade do desmonte.

A alteração da malha para 3,00 metros de afastamento por 5,15 metros de espaçamento visivelmente gerou blocos de menores dimensões que os blocos utilizando a malha de 3,40 metros de afastamento por 5,85 metros de espaçamento, mas também se percebeu que a lavra ficou mais seletiva e blocos que anteriormente eram transportados para a britagem passaram a permanecer na mina. Além da influência na dimensão dos blocos houve também aumento do percentual de finos.

O conceito de otimização do desmonte de rochas para fases dos processos de cominuição é muito aplicável para minas de rochas compactas e fraturadas. Mostram-se normalmente ganhos ao longo dos processos de mineração como redução dos custos de desmonte secundários, redução do consumo de energia elétrica nos processos de britagens e moagens, aumento de produtividade de equipamentos de escavação e transporte. Também há aumento de vida útil de revestimento de básculas de caminhão e conchas de escavadeiras, aumento da vida útil da câmara da britagem primária, aumento da vida útil do revestimento da moagem, aumento da taxa de alimentação da britagem e moagem.

O resultado inicial foi a redução das dimensões dos blocos na mina e aumento do percentual de finos na alimentação da usina de concentração.

Como este é um trabalho que necessita maior estabilidade do processo, é necessário continuar as avaliações de desempenho para certificar qual será o impacto no consumo de energia elétrica e no desempenho da vida útil dos materiais de revestimento da britagem primária e britagem secundária.

O principal impacto até o presente momento é a redução das dimensões dos blocos na mina, aumento do percentual de finos na alimentação da usina de concentração e redução de paradas por “engaiolamento” e obstrução da câmara da britagem primária.

O trabalho de campo curto foi muito importante para identificar a evolução do iniciador convencional e iniciador eletrônico. Muitas aplicações dos detonadores eletrônicos não serão levadas em consideração e assim não maximiza o resultado no modelo.

## 7 REFERÊNCIAS

Bergmann, O. R., Wu. F.C. & Edl, J. W. Model rock blasting measures effect of delay and hole patterns on rock fragmentation, 1974.

Cunningham, C.V.B., Bedser, G. & Bosman H. G., Production blasting with electronic delay detonators at Peak quarry, 1998.

Cunningham, C.V.B. The effect of timing precision on control of blasting effects, 2000.

Cunningham, C.V.B. The Kuz-Ram fragmentation model – 20 years on: Brighton Conference Proceedings, 2005

Gokhale, B. V. Rotary Drilling and Blasting in Large Surface Mines. London, UK, 2011.

Hustrulid, W. Blasting Principles for Open Pit Mining. Vol 1. Rotterdam: Balkema, 1999.

Hustrulid, W. Blasting Principles for Open Pit Mining. Vol 2. Rotterdam: Balkema, 1999.

JKMRC. Mine-to-Mill: Increasing Mine-Site Profitability through Optimization of Mining and Processing Operations, 2002.

Mckenzie, C. K. Seed Wave Modeling Applications for Fragmentation, Damage, and Environmental Impact Control, 2013

Morais, J. L. Simulação da Fragmentação dos Desmontes de Rochas por Explosivos. Universidade Federal de Minas Gerais, 2004. (Tese de Doutorado em Engenharia de Minas).

Paludo, C. M. Mineralogia e Geoquímica dos NTF-Pegmatitos da Mina de Pitinga (Amazonas-Brasil), 2018

Reis, P. A. S, Otimização de Parâmetros Geométricos em Diagramas de Fogo para Desmonte a Céu Aberto, Porto, Portugal, 2016.

Silva, A. C. Estilo de Ocorrências de Minerais Portadores de ETRs no Albita Granito da Suíte Madeira: Pitinga, AM, 2018.

Silva, V. C. Curso MIN 112 – Operações Mineiras. Ouro Preto, 2011.

Silva, V. C. Desmonte de Rochas com Explosivos. Ietec, Belo Horizonte, 1998. Dados das Curvas Granulométricas Realizadas.

Tamrock Trackdrills. Surface Drilling and Blasting, Southeast Europe. 1988.

## 8 ANEXOS

Plano	F14_160_013
Frações	Tamanho
(%)	Passante
	(mm)
P50	242,32
P75	377,86
P80	410,81
P95	720,09
P100	827,0

Tamanho	Percentual
Passante	Passante
(%)	(%)
0,10	0,00%
0,15	0,00%
0,22	0,00%
0,32	0,00%
0,46	0,00%
0,68	0,00%
1,00	0,00%
1,47	0,00%
2,15	2,67%
3,16	2,68%
4,64	2,71%
6,81	2,78%
10,00	2,94%
14,70	3,28%
21,50	3,67%
31,60	4,35%
46,40	5,42%
68,10	7,94%
100,00	13,40%

147,00	24,29%
215,00	44,21%
316,00	65,61%
464,00	88,07%
681,00	94,30%
1000,00	100,00%

Plano F01\_150\_007

Frações (%)	Tamanho Passante (mm)
P20	55,26
P25	68,1
P50	130,47
P75	227,15
P80	250,57
P90	297,4
P100	413

Tamanho Passante (%)	Percentual Passante (%)
2	0,00%
4	1,74%
6	1,93%
8	2,18%
10	2,39%
40	9,72%
60	17,18%
80	26,62%
100	37,41%
150	57,08%
200	68,68%
300	97,89%

400	98,08%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_150\_007

Frações Tamanho  
(%) Passante  
(mm)

P20	3,8
P25	3,96
P50	29,93
P75	152,33
P80	184,97
P90	289,35
P100	619

Tamanho Percentual

Passante Passante

(%)	(%)
1	0,00%
2	0,00%
4	46,21%
6	46,32%
8	46,46%
10	46,62%
40	52,76%
60	58,64%
80	63,65%
100	67,10%

150	74,93%
200	82,96%
300	90,34%
400	94,46%
500	94,46%
600	97,85%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_150\_007

Frações (%)	Tamanho Passante (mm)
P20	27,54
P25	38,59
P50	88,22
P75	184,82
P80	214,5
P90	275,58
P100	382

Tamanho Passante (%)	Percentual Passante (%)
----------------------	-------------------------

1	0,00%
2	0,00%
4	12,11%
6	12,48%
8	12,86%
10	13,36%
40	25,64%

60	36,77%
80	46,83%
100	54,53%
150	68,80%
200	77,93%
300	94,00%
400	100,00%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_150\_007

Frações Tamanho  
(%) Passante  
(mm)

P10	2,43
P20	2,86
P25	3,07
P50	21,28
P75	74,91
P80	93,57
P90	158,38
P100	254

Tamanho Percentual  
Passante Passante  
(%) (%)

1	0,00%
2	0,00%
4	46,63%

6	46,82%
8	46,98%
10	47,18%
40	60,05%
60	69,82%
80	76,77%
100	81,53%
150	89,22%
200	95,25%
300	100,00%
400	100,00%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_150\_007

Frações  
(%) Tamanho  
Passante  
(mm)

P10	1,52
P20	1,71
P25	1,8
P50	21,91
P75	47,48
P80	55,88
P90	123,63
P100	254

Tamanho	Percentual
Passante	Passante
(%)	(%)

1	0,00%
2	35,63%
4	36,01%
6	36,40%
8	36,95%
10	37,80%
40	68,84%
60	82,05%
80	86,82%
100	88,50%
150	91,67%
200	95,40%
300	100,00%
400	100,00%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano	F01_150_007
Frações	Tamanho
(%)	Passante
	(mm)
% Passing	Size[mm]
P1	0,02
P5	0,1
P10	0,21
P20	1,69

P25	3,53
P50	35,29
P75	114,84
P80	136,72
P90	189,6
P95	228,27
P99	306,98
Topsize (99.95%)	339,61

Tamanho Passante (%)	Percentual Passante (%)
1	17,15
2	21,05
4	25,97
6	29,38
8	32,07
10	34,33
40	52,22
60	60,31
80	66,44
100	71,46
150	82,86
200	91,54
300	98,78
400	100
500	100
600	100

Plano	F01_150_007
Frações	Tamanho
(%)	Passante
% Passing	(mm)
	Size[mm]
P1	0,02
P5	0,08
P10	0,17
P20	0,84
P25	1,84
P50	19,53
P75	79,39
P80	96,88
P90	148,85
P95	194,83
P99	266,33
Topsize	
(99.95%)	296,61

Tamanho	Percentual
Passante (%)	Passante
	(%)
1	21,01
2	25,6
4	31,35
6	35,33
8	38,46
10	41,07
40	61,66
60	68,89
80	75,19
100	80,81
150	90,15

200	95,39
300	100
400	100
500	100
600	100

Plano	F01_150_007
Frações	Tamanho Passante
(%)	(mm)
P1	0,03
P5	0,14
P10	0,42
P20	3,57
P25	6,93
P50	54,77
P75	175,78
P80	202,78
P90	277,3
P95	334,65
P99	415,43
Topsize	
(99.95%)	453,8

Tamanho	Percentual
Passante (%)	Passante
	(%)
1	13,12
2	16,47
4	20,77
6	23,82
8	26,24
10	28,29
40	45,03

60	51,54
80	56,43
100	60,18
150	70,06
200	79,49
300	92,15
400	98,38
500	100
600	100
Plano	F01_150_007
Frações (%)	Tamanho Passante (mm)
P1	1,12
P5	6,29
P10	13,22
P20	27,81
P25	35,34
P50	74,37
P75	121,3
P80	134,92
P90	177,09
P95	216,34
P99	273,3
Topsize (99.95%)	320,38

Tamanho	Percentual
Passante (%)	Passante (%)
1	0,9
2	1,71
4	3,27
6	4,78
8	6,26
10	7,7
40	28,06
60	40,65
80	53,62
100	65,18
150	84,37
200	93,18
300	99,57
400	100
500	100
600	100
Plano	F01_150_007
Frações (%)	Tamanho Passante (mm)
P1	0,07
P5	0,5
P10	2,12
P20	8,54
P25	13,39
P50	54,99
P75	131,49
P80	168,33

P90	274,37
P95	342,82
P99	431,34
Topsize	
(99.95%)	457,06

Tamanho	Percentual
Passante (%)	Passante
	(%)

1	6,91
2	9,71
4	13,71
6	16,78
8	19,36
10	21,63
40	42,56
60	52,5
80	61,52
100	68,16
150	77,74
200	83,39
300	91,91
400	97,7
500	100
600	100

Plano	F01_150_007
	Tamanho
Frações (%)	Passante
	(mm)

P1	0,01
P5	0,05

P10	0,1
P20	0,2
P25	0,24
P50	12,32
P75	96,2
P80	126,58
P90	228,55
P95	287,98
P99	363,41
Topsize	
(99.95%)	386,22

Tamanho	Percentual
Passante (%)	Passante (%)
1	31,71
2	35,82
4	40,64
6	43,78
8	46,17
10	48,11
40	61,86
60	66,87
80	71,59
100	75,71
150	82,84
200	87,59
300	95,82
400	100
500	100
600	100

Plano	F01_150_007
	Tamanho
Frações (%)	Passante (mm)
P1	0,13
P5	1,31
P10	3,9
P20	11,65
P25	16,59
P50	50,71
P75	98,02
P80	112,23
P90	149,68
P95	185,09
P99	243
Topsize (99.95%)	283,54

Tamanho	Percentual
Passante (%)	Passante (%)
1	4,22
2	6,54
4	10,16
6	13,14
8	15,77
10	18,16
40	43,27
60	55,9
80	67,13
100	75,75
150	90,06
200	96,55

300	100
400	100
500	100
600	100
Plano	F01_150_007
	Tamanho
Frações (%)	Passante
	(mm)
P1	0,11
P5	1,05
P10	3,39
P20	10,91
P25	15,93
P50	51,74
P75	118,87
P80	138,11
P90	193,28
P95	251,21
P99	327,69
Topsize	
(99.95%)	353,53

Tamanho	Percentual
Passante (%)	Passante
	(%)
1	4,85
2	7,3
4	11,03
6	14,03
8	16,64
10	18,99
40	42,64
60	54,43

80	62,75
100	69,48
150	82,63
200	90,8
300	97,84
400	100
500	100
600	100

Plano F01\_150\_007

Tamanho

Frações (%) Passante  
(mm)

P1	0,03
P5	0,17
P10	0,65
P20	4,63
P25	8,63
P50	57,4
P75	128,36
P80	143,36
P90	179,25
P95	202,99
P99	240,17

Topsize

(99.95%) 264,91

Tamanho Percentual  
Passante (%) Passante  
(%)

1	11,62
2	14,81
4	18,98

6	21,95
8	24,33
10	26,35
40	43,04
60	50,97
80	57,91
100	64,65
150	82,06
200	94,48
300	100
400	100
500	100
600	100

Plano F01\_150\_007

Tamanho

Frações (%) Passante  
(mm)

P1	0,03
P5	0,15
P10	0,48
P20	3,37
P25	6,16
P50	40,82
P75	137,23
P80	163,65
P90	234,67
P95	298,8
P99	364,81

Topsize

(99.95%) 383,7

Tamanho

Passante (%)

	Percentual Passante (%)
1	12,85
2	16,51
4	21,31
6	24,76
8	27,54
10	29,9
40	49,62
60	57,16
80	62,36
100	67,02
150	77,47
200	85,8
300	95,08
400	100
500	100
600	100

Plano F01\_150\_007

Tamanho

Frações (%) Passante  
(mm)

P1	0,03
P5	0,16
P10	0,67
P20	5,45
P25	10,54
P50	91,36
P75	235,66
P80	264,58
P90	343,92

P95	396,84
P99	468,5
Topsize (99.95%)	509,88

Tamanho	Percentual
Passante (%)	Passante (%)

1	11,36
2	14,27
4	18,01
6	20,66
8	22,77
10	24,56
40	39,15
60	44,83
80	48,55
100	51,18
150	59,37
200	68,55
300	85,11
400	95,22
500	99,74
600	100

Plano	F01_150_007
-------	-------------

Frações (%)	Tamanho Passante (mm)
-------------	-----------------------------

P1	0,03
P5	0,14
P10	0,41
P20	3,87

P25	7,74
P50	71,48
P75	216,64
P80	242,87
P90	301,83
P95	343,5
P99	435,37
Topsize	
(99.95%)	474,98

Tamanho	Percentual
Passante (%)	Passante
	(%)
1	13,03
2	16,19
4	20,21
6	23,03
8	25,27
10	27,16
40	42,36
60	48,19
80	51,21
100	54,16
150	62,5
200	71,89
300	89,72
400	98,03
500	100
600	100

Plano	F01_150_007
	Tamanho
Frações (%)	Passante
	(mm)
P1	0,01
P5	0,05
P10	0,11
P20	0,22
P25	0,44
P50	16,51
P75	109,22
P80	134,79
P90	207,95
P95	278,44
P99	353,32
Topsize	
(99.95%)	383,52

Tamanho	Percentual
Passante (%)	Passante
	(%)
1	28,95
2	33,01
4	37,79
6	40,93
8	43,33
10	45,28
40	59,53
60	64,15
80	68,69
100	73,07
150	82,57
200	89,2

300	96,44
400	100
500	100
600	100

Plano F01\_150\_007

Tamanho

Frações (%) Passante  
(mm)

P1	0,08
P5	0,75
P10	3,04
P20	12,09
P25	18,91
P50	74,81
P75	169,05
P80	221,85
P90	343,62
P95	408,58
P99	469,58
Topsize (99.95%)	486,33

Tamanho Percentual

Passante (%) Passante  
(%)

1	5,75
2	8,11
4	11,49
6	14,08
8	16,27
10	18,19
40	36,26

60	44,14
80	51,98
100	59,14
150	71,98
200	78,27
300	86,56
400	94,37
500	100
600	100

Plano F01\_150\_007

Tamanho

Frações (%) Passante  
(mm)

P1	0,04
P5	0,19
P10	0,96
P20	6,57
P25	12,12
P50	87,93
P75	233,24
P80	265,47
P90	361,91
P95	443,3
P99	535,52
Topsize (99.95%)	571,95

Tamanho Percentual

Passante (%) Passante  
(%)

1	10,14
2	12,97

4	16,68
6	19,34
8	21,49
10	23,31
40	38,53
60	44,58
80	48,92
100	51,71
150	60,13
200	69,36
300	84,11
400	92,44
500	97,96
600	100

Plano F01\_150\_007

Tamanho

Frações (%) Passante  
(mm)

P1	0,15
P5	1,37
P10	3,86
P20	10,89
P25	15,22
P50	43,84
P75	82,65
P80	93,7
P90	132,39
P95	205,62
P99	300,88
Topsize	
(99.95%)	329,36

Tamanho	Percentual
Passante (%)	Passante (%)
1	4,05
2	6,43
4	10,24
6	13,43
8	16,28
10	18,89
40	47,13
60	61,84
80	73,67
100	82,4
150	91,75
200	94,76
300	98,97
400	100
500	100
600	100

Plano	F01_150_007
Frações (%)	Tamanho Passante (mm)
P1	0,08
P5	0,67
P10	2,92
P20	12,36
P25	19,73
P50	91,33
P75	185,28
P80	208,6

P90	295,62
P95	369,31
P99	458,19
Topsize (99.95%)	501,03

Tamanho Passante (%)	Percentual Passante (%)
1	6,02
2	8,35
4	11,64
6	14,15
8	16,24
10	18,07
40	34,97
60	42,36
80	47,7
100	51,95
150	65,71
200	78,26
300	90,33
400	96,64
500	99,93
600	100

Plano	F01_150_007
Frações (%)	Tamanho Passante (mm)
P1	0,06
P5	0,42
P10	2,01

P20	9,01
P25	14,62
P50	66,56
P75	156,77
P80	178,43
P90	238,37
P95	299,72
P99	381,79
Topsize (99.95%)	423,56

Tamanho Passante (%)	Percentual Passante (%)
1	7,28
2	9,97
4	13,74
6	16,57
8	18,93
10	20,99
40	39,65
60	47,69
80	54,13
100	59,67
150	73,3
200	84,3
300	95,02
400	99,44
500	100
600	100

Plano	F01_150_010
Frações	Tamanho
(%)	Passante
	(mm)
P10	44,84
P20	68,31
P25	80,04
P50	139,94
P75	234,28
P80	262,77
P90	340,22
P100	577,00

Tamanho	Percentual
Passante	Passante
(%)	(%)
1	0,00%
2	0,06%
4	0,19%
6	0,30%
8	0,43%
10	0,60%
40	7,94%
60	16,33%
80	24,98%
100	34,30%
150	52,77%
200	67,63%
300	86,53%
400	94,73%
500	94,73%
600	100,00%
700	100,00%

800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_150\_010

Frações  
(%)

Tamanho  
Passante  
(mm)

P10	1,40
P20	1,81
P25	5,75
P50	53,77
P75	104,86
P80	123,57
P90	169,55
P100	259,00

Tamanho  
Passante  
(%)

Percentual  
Passante  
(%)

1	0,00%
2	24,74%
4	24,88%
6	25,02%
8	25,42%
10	25,42%
40	39,67%
60	54,55%
80	65,54%
100	73,70%
150	87,06%
200	94,57%
300	100,00%

400	100,00%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_150\_010

Frações Tamanho  
(%) Passante  
(mm)

P10	23,11
P20	30,08
P25	37,05
P50	62,73
P75	107,51
P80	150,26
P90	169,05
P100	254,82

Tamanho Percentual

Passante Passante  
(%) (%)

1	0,21%
2	0,31%
4	0,59%
6	0,84%
8	0,84%
10	0,84%
40	35,05%
60	54,91%
80	54,91%

100	72,62%
150	87,51%
200	95,19%
300	100,00%
400	100,00%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_150\_010

Frações  
(%)

Tamanho  
Passante  
(mm)

P10	1,44
P20	1,88
P25	18,98
P50	63,88
P75	115,67
P80	135,01
P90	224,92
P100	378,00

Tamanho Percentual

Passante Passante  
(%) (%)

1	0,00%
2	22,81%
4	22,93%
6	23,04%
8	23,16%

10	23,35%
40	34,47%
60	47,54%
80	60,23%
100	70,95%
150	83,10%
200	87,71%
300	95,61%
400	100,00%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano	P1_150_004
Frações (%)	Tamanho Passante (mm)
P1	0,87
P5	7,72
P10	19,12
P20	46,46
P25	61,57
P50	145,73
P75	249,73
P80	280,5
P90	370,75
P95	458,56
P99	602,58
Topsize (99.95%)	673,24

Tamanho Passante (%)	Percentual Passante (%)
1	1,11%
2	1,83%
4	3,05%
6	4,14%
8	5,14%
10	6,09%
40	17,77%
60	24,49%
80	30,82%
100	36,81%
150	51,23%
200	64,55%
300	82,63%
400	92,10%
500	96,25%
600	98,94%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano	P14_160_013
Frações (%)	Tamanho Passante (mm)
P1	0,31
P5	4,1
P10	11,81
P20	33,67
P25	47,07
P50	131,78

P75	261,24
P80	303,47
P90	409,53
P95	492,4
P99	633,84
Topsize (99.95%)	726,11

Tamanho	Percentual
Passante (%)	Passante (%)
1	2,02%
2	3,14%
4	4,92%
6	6,41%
8	7,74%
10	8,97%
40	22,43%
60	29,40%
80	35,57%
100	41,31%
150	54,44%
200	65,07%
300	79,61%
400	89,28%
500	95,31%
600	98,35%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano	P1_150-005
Frações (%)	Tamanho Passante (mm)
P1	0,89
P5	8,32
P10	21,26
P20	53,57
P25	71,91
P50	176,97
P75	324,11
P80	367,04
P90	491,42
P95	590,79
P99	755,2
Topsize (99.95%)	839,86

Tamanho	Percentual
Passante (%)	Passante (%)
1	1,09%
2	1,78%
4	2,93%
6	3,93%
8	4,86%
10	5,72%
40	16,05%
60	21,79%
80	27,11%
100	32,07%
150	43,83%
200	54,64%
300	71,71%
400	83,21%

500	90,54%
600	95,37%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano	P14_160_014
Frações (%)	Tamanho Passante (mm)
P1	0,2
P5	3,51
P10	11,84
P20	39,8
P25	58,73
P50	195,76
P75	426,21
P80	571,89
P90	887,62
P95	1088,27
P99	1280,35
Topsize (99.95%)	1334,05

Tamanho	Percentual
Passante (%)	Passante (%)
1	2,48%
2	3,64%
4	5,39%
6	6,79%
8	8,00%
10	9,08%

40	20,06%
60	25,31%
80	29,86%
100	33,94%
150	42,37%
200	50,70%
300	64,67%
400	73,39%
500	78,05%
600	80,72%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano	P01_150_006
Frações (%)	Tamanho Passante (mm)
P1	0,15
P5	2,55
P10	9,4
P20	32,39
P25	47,46
P50	145,97
P75	277,92
P80	312,08
P90	402,92
P95	485,79
P99	607,42
Topsize (99.95%)	691,81

Tamanho  
Passante (%)

	Percentual Passante (%)
1	3,12%
2	4,42%
4	6,33%
6	7,85%
8	9,16%
10	10,34%
40	22,61%
60	28,74%
80	34,09%
100	39,14%
150	50,88%
200	61,31%
300	78,34%
400	89,75%
500	95,59%
600	98,84%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_140\_059

Frações (%)	Tamanho Passante (mm)
P10	29,47
P20	53,49
P25	63,2

P50	111,99
P75	192,64
P80	234,41
P90	358,42
P99	486,27

Tamanho Passante (%)	Percentual Passante (%)
1	0,00%
2	4,79%
4	4,95%
6	5,08%
8	5,23%
10	5,44%
20	6,93%
40	13,42%
60	23,18%
80	34,54%
100	45,33%
150	64,82%
200	76,76%
300	86,18%
400	92,72%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%
1200	100,00%
1400	100,00%
1600	100,00%

1800	100,00%
2000	100,00%
5000	100,00%
7500	100,00%
10000	100,00%

Plano F01\_140\_059

Frações Tamanho  
(%) Passante  
(mm)

P10	1,18
P20	1,37
P25	1,46
P50	1,92
P75	84,2
P80	120,02
P90	263,58
P99	563,53

Tamanho Percentual

Passante Passante  
(%) (%)

1	0,00%
2	54,17%
4	54,25%
6	54,33%
8	54,41%
10	54,52%
20	55,86%
40	63,30%
60	69,42%
80	74,28%
100	77,71%

150	83,43%
200	86,92%
300	91,76%
400	95,17%
500	97,26%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%
1200	100,00%
1400	100,00%
1600	100,00%
1800	100,00%
2000	100,00%
5000	100,00%
7500	100,00%
10000	100,00%

Plano F01\_140\_061

Tamanho

Frações Passante

(%) (mm)

P10 1,76

P20 25,25

P25 33,93

P50 75,48

P75 146,31

P80 175,33

P90 276,98

P99 387,7

Tamanho Passante (%)	Percentual Passante (%)
1	0,00%
2	13,23%
4	13,46%
6	13,67%
8	13,90%
10	14,19%
20	16,98%
40	28,49%
60	42,44%
80	52,21%
100	60,49%
150	76,16%
200	83,74%
300	93,63%
400	100,00%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%
1200	100,00%
1400	100,00%
1600	100,00%
1800	100,00%
2000	100,00%
5000	100,00%
7500	100,00%
10000	100,00%

Plano F01\_110\_024

Tamanho

Frações Passante

(%) (mm)

P10 38,83

P20 62,17

P25 73,06

P50 133,69

P75 229,19

P80 252,18

P90 298,15

P99 477,72

Tamanho Percentual

Passante Passante

(%) (%)

1 0,00%

2 1,44%

4 1,55%

6 1,72%

8 1,88%

10 2,10%

20 3,99%

40 10,37%

60 19,00%

80 28,19%

100 34,86%

150 57,33%

200 68,65%

300 90,40%

400 95,51%

500 100,00%

600 100,00%

700 100,00%

800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_110\_024

Tamanho

Frações Passante

(%) (mm)

P10 23,23

P20 56,19

P25 69,02

P50 141,81

P75 252,41

P80 276,75

P90 342,61

P99 466,27

Tamanho Percentual

Passante Passante

(%) (%)

1 0,00%

2 7,34%

4 7,48%

6 7,61%

8 7,72%

10 7,89%

20 9,12%

40 14,58%

60 21,28%

80 29,53%

100 37,11%

150 52,52%

200 64,23%

300	84,78%
400	97,03%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_110\_024

Tamanho

Frações Passante

(%) (mm)

P10 1,32

P20 1,64

P25 1,80

P50 70,70

P75 136,51

P80 152,90

P90 194,89

P99 371,61

Tamanho Percentual

Passante Passante

(%) (%)

1 0,00%

2 31,12%

4 31,20%

6 31,32%

8 31,43%

10 31,55%

20 32,53%

40	36,25%
60	43,98%
80	55,23%
100	63,34%
150	79,31%
200	91,22%
300	96,48%
400	100,00%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_110\_024

Tamanho

Frações Passante

(%) (mm)

P10 2,41

P20 2,82

P25 3,03

P50 23,37

P75 135,81

P80 172,4

P90 273,41

P99 461,06

Tamanho Percentual

Passante Passante

(%) (%)

1 0,00%

2 0,00%

4	48,52%
6	48,59%
8	48,69%
10	48,78%
20	49,41%
40	52,92%
60	57,94%
80	62,94%
100	68,16%
150	77,71%
200	82,82%
300	92,60%
400	97,43%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_110\_024

Tamanho

Frações (%)	Passante (mm)
P10	0,78
P20	0,85
P25	0,88
P50	27,43
P75	85,92
P80	102,9
P90	162,28
P99	284,9

Tamanho Percentual

Passante Passante

(%)

(%)

1 43,38%

2 43,43%

4 43,57%

6 43,76%

8 43,99%

10 44,29%

20 46,89%

40 55,27%

60 65,75%

80 73,13%

100 79,45%

150 88,90%

200 93,38%

300 100,00%

400 100,00%

500 100,00%

600 100,00%

700 100,00%

800 100,00%

900 100,00%

1000 100,00%

Plano F01\_150\_014

Tamanho

Frações Passante

(%)

(mm)

P10 56,22

P20 92,28

P25 108,98

P50 203,66

P75	277,08
P80	291,76
P90	355,54
P99	476,41

Tamanho Passante	Percentual Passante
---------------------	------------------------

(%)	(%)
1	0,00%
2	0,03%
4	0,20%
6	0,33%
8	0,48%
10	0,73%
20	2,29%
40	5,85%
60	10,97%
80	16,19%
100	22,39%
150	36,93%
200	48,75%
300	82,80%
400	95,76%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_150\_014

Tamanho

Frações Passante

(%) (mm)

P10 20,87

P20 38,79

P25 45,24

P50 82,14

P75 144,99

P80 164,96

P90 218,57

P99 291,86

Tamanho Percentual

Passante Passante

(%) (%)

1 0,00%

2 5,20%

4 5,41%

6 5,62%

8 5,91%

10 6,29%

20 9,51%

40 20,67%

60 37,18%

80 48,84%

100 59,69%

150 76,70%

200 87,72%

300 100,00%

400 100,00%

500 100,00%

600 100,00%

700 100,00%

800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_150\_014

Tamanho

Frações Passante

(%) (mm)

P10 23,12

P20 34,94

P25 40,93

P50 74,05

P75 127,6

P80 141,86

P90 210,09

P99 356,93

Tamanho Percentual

Passante Passante

(%) (%)

1 0,00%

2 2,55%

4 2,84%

6 3,07%

8 3,35%

10 3,73%

20 7,36%

40 24,28%

60 39,63%

80 54,39%

100 65,32%

150 82,85%

200 89,14%

300	97,68%
400	100,00%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_150\_014

Tamanho

Frações Passante

(%) (mm)

P10 31,35

P20 47,81

P25 54,75

P50 91,95

P75 144,64

P80 158,45

P90 192,04

P99 286,89

Tamanho Percentual

Passante Passante

(%) (%)

1 0,00%

2 0,28%

4 0,53%

6 0,74%

8 1,00%

10 1,37%

20 4,27%

40 14,37%

60	28,79%
80	43,58%
100	54,32%
150	77,48%
200	92,37%
300	100,00%
400	100,00%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_140\_050

Tamanho

Frações Passante

(%) (mm)

P10 31,35

P20 47,81

P25 54,75

P50 91,95

P75 144,64

P80 158,45

P90 192,04

P99 286,89

Tamanho Percentual

Passante Passante

(%) (%)

1 0,00%

2 0,28%

4 0,53%

6	0,74%
8	1,00%
10	1,37%
20	4,27%
40	14,37%
60	28,79%
80	43,58%
100	54,32%
150	77,48%
200	92,37%
300	100,00%
400	100,00%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_150\_016

Tamanho

Frações Passante

(%) (mm)

P10 3,92

P20 44,36

P25 56,32

P50 123,10

P75 199,94

P80 236,60

P90 332,69

P99 686,07

## Tamanho Percentual

## Passante Passante

(%)

(%)

1	0,00%
2	10,13%
4	10,28%
6	10,43%
8	10,59%
10	10,78%
20	12,45%
40	18,18%
60	26,54%
80	34,73%
100	41,52%
150	59,88%
200	75,02%
300	88,63%
400	92,82%
500	92,82%
600	92,82%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_150\_016

Tamanho

Frações Passante

(%)

(mm)

P10	1,93
P20	40,64
P25	48,77
P50	95,59

P75	170,89
P80	203,98
P90	286,15
P99	469,70

Tamanho Passante	Percentual Passante
---------------------	------------------------

(%)	(%)
1	0,00%
2	10,78%
4	10,93%
6	11,05%
8	11,18%
10	11,33%
20	12,70%
40	19,61%
60	31,90%
80	43,46%
100	51,85%
150	71,76%
200	79,52%
300	91,69%
400	96,70%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano	F01_140_052
	Tamanho
Frações	Passante
(%)	(mm)
P10	33,49
P20	52,57
P25	61,75
P50	118,08
P75	201,8
P80	234,86
P90	302,28
P99	472,73

Tamanho	Percentual
Passante	Passante
(%)	(%)
1	0,00%
2	0,72%
4	0,96%
6	1,15%
8	1,40%
10	1,70%
20	4,14%
40	12,83%
60	24,24%
80	32,92%
100	43,48%
150	61,52%
200	74,73%
300	89,85%
400	96,33%
500	100,00%
600	100,00%

700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_140\_052

Tamanho

Frações Passante

(%) (mm)

P10 31,15

P20 83,07

P25 103,56

P50 191,01

P75 321,91

P80 363,70

P90 535,31

P99 884,12

Tamanho Percentual

Passante Passante

(%) (%)

1 0,00%

2 0,00%

4 7,65%

6 7,77%

8 7,84%

10 7,94%

20 8,65%

40 11,07%

60 15,03%

80 19,26%

100 24,11%

150 36,67%

200	52,92%
300	72,38%
400	84,34%
500	87,98%
600	93,70%
700	93,70%
800	93,70%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_140\_053

Tamanho

Frações Passante

(%) (mm)

P10 38,07

P20 64,15

P25 75,90

P50 133,41

P75 234,48

P80 258,94

P90 337,22

P99 680,06

Tamanho Percentual

Passante Passante

(%) (%)

1 0,00%

2 2,96%

4 3,10%

6 3,25%

8 3,41%

10 3,58%

20 5,28%

40	10,50%
60	18,24%
80	26,74%
100	37,31%
150	56,30%
200	67,95%
300	88,40%
400	92,71%
500	94,99%
600	94,99%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_140\_053

Tamanho

Frações Passante

(%) (mm)

P10 35,76

P20 71,06

P25 89,41

P50 186,34

P75 313,58

P80 346,32

P90 415,26

P99 491,53

Tamanho Percentual

Passante Passante

(%) (%)

1 0,00%

2 4,47%

4	4,64%
6	4,77%
8	4,89%
10	5,05%
20	6,30%
40	11,00%
60	16,63%
80	22,72%
100	27,56%
150	38,10%
200	54,47%
300	72,93%
400	88,20%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_140\_054

Tamanho

Frações Passante

(%) (mm)

P10 1,29

P20 1,58

P25 1,73

P50 59,98

P75 121,01

P80 140,08

P90 222,76

P99 367,59

Tamanho Passante (%)	Percentual Passante (%)
----------------------------	-------------------------------

1	0,00%
2	34,22%
4	34,30%
6	34,39%
8	34,46%
10	34,57%
20	35,45%
40	41,20%
60	50,01%
80	59,58%
100	69,49%
150	82,60%
200	87,96%
300	96,91%
400	100,00%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano	F01_140_054
-------	-------------

Tamanho
---------

Frações (%)	Passante (mm)
P10	1,38
P20	1,76
P25	1,95

P50	96,33
P75	250,29
P80	287,11
P90	395,74
P99	586,30

Tamanho	Percentual
---------	------------

Passante	Passante
----------	----------

(%)	(%)
-----	-----

1	0,00%
2	26,19%
4	26,29%
6	26,42%
8	26,54%
10	26,71%
20	28,09%
40	33,03%
60	39,65%
80	45,78%
100	50,95%
150	60,88%
200	68,17%
300	81,75%
400	90,37%
500	92,70%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_180\_042

Tamanho

Frações Passante

(%) (mm)

P10 24,72

P20 54,26

P25 68,63

P50 150,36

P75 255,84

P80 284,06

P90 357,2

P99 478,41

Tamanho Percentual

Passante Passante

(%) (%)

1 0,00%

2 0,00%

4 6,50%

6 6,63%

8 6,77%

10 6,96%

20 8,56%

40 14,66%

60 22,15%

80 28,76%

100 34,51%

150 49,89%

200 65,10%

300 82,83%

400 95,37%

500 100,00%

600 100,00%

700 100,00%

800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_180\_042

Tamanho

Frações Passante

(%) (mm)

P10	19,13
P20	44,95
P25	53,32
P50	103,59
P75	167,19
P80	187,91
P90	248,85
P99	361,27

Tamanho Percentual

Passante Passante

(%) (%)

1	0,00%
2	7,64%
4	7,82%
6	7,99%
8	8,17%
10	8,38%
20	10,15%
40	17,04%
60	28,99%
80	39,11%
100	48,39%
150	70,85%
200	82,92%

300	97,42%
400	100,00%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F17\_180\_044

Tamanho

Frações Passante

(%) (mm)

P10 39,54

P20 66,7

P25 79,15

P50 138,07

P75 214

P80 242,71

P90 300,23

P99 390,02

Tamanho Percentual

Passante Passante

(%) (%)

1 0,00%

2 0,73%

4 0,94%

6 1,17%

8 1,44%

10 1,75%

20 3,99%

40 10,14%

60	17,31%
80	25,34%
100	33,73%
150	55,10%
200	72,56%
300	89,98%
400	100,00%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F17\_180\_044

Tamanho

Frações Passante

(%) (mm)

P10 15,94

P20 31,78

P25 38,59

P50 81,02

P75 160,89

P80 196,4

P90 262,36

P99 376,58

Tamanho Percentual

Passante Passante

(%) (%)

1 0,00%

2 6,83%

4 7,11%

6	7,34%
8	7,63%
10	8,02%
20	11,35%
40	26,04%
60	37,92%
80	49,69%
100	55,73%
150	73,47%
200	80,51%
300	95,73%
400	100,00%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_180\_045

Tamanho

Frações Passante

(%) (mm)

P10 43,5

P20 66,34

P25 76,20

P50 127,15

P75 218,44

P80 254,08

P90 326,25

P99 392,62

## Tamanho Percentual

## Passante Passante

(%)

(%)

1	0,00%
2	0,67%
4	0,79%
6	0,87%
8	0,96%
10	1,09%
20	2,26%
40	8,56%
60	16,78%
80	26,93%
100	37,86%
150	60,21%
200	72,41%
300	86,44%
400	100,00%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_140\_060

Tamanho

Frações Passante

(%)

(mm)

P10	1,29
P20	1,57
P25	1,72
P50	39,59

P75	86,99
P80	106,55
P90	196,57
P99	289,73

Tamanho Percentual  
Passante Passante

(%)	(%)
1	0,00%
2	34,86%
4	35,03%
6	35,15%
8	35,32%
10	35,56%
20	37,52%
40	50,26%
60	64,17%
80	72,04%
100	79,04%
150	86,37%
200	90,27%
300	100,00%
400	100,00%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_150\_017

Tamanho

Frações Passante

(%) (mm)

P10 1,19

P20 1,38

P25 1,48

P50 1,95

P75 144,36

P80 175,54

P90 321,5

P99 574,83

Tamanho Percentual

Passante Passante

(%) (%)

1 0,00%

2 52,54%

4 52,59%

6 52,64%

8 52,69%

10 52,73%

20 53,13%

40 55,25%

60 58,82%

80 63,33%

100 67,65%

150 75,94%

200 83,89%

300 89,10,%

400 93,28%

500 96,03%

600 100,00%

700 100,00%

800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_130\_043

Tamanho

Frações Passante

(%) (mm)

P10 1,16

P20 1,33

P25 1,41

P50 1,82

P75 60,11

P80 78,79

P90 162,47

P99 364,65

Tamanho Percentual

Passante Passante

(%) (%)

1 0,00%

2 60,88%

4 60,96%

6 61,02%

8 61,11%

10 61,22%

20 62,44%

40 68,53%

60 74,97%

80 80,33%

100 83,18%

150 89,05%

200 92,85%

300	97,17%
400	100,00%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_130\_044

Tamanho

Frações Passante

(%) (mm)

P10 15,95

P20 45,32

P25 56,46

P50 126,69

P75 214,38

P80 242,55

P90 298,91

P99 472,18

Tamanho Percentual

Passante Passante

(%) (%)

1 0,00%

2 8,14%

4 8,31%

6 8,46%

8 8,62%

10 8,83%

20 10,80%

40 17,61%

60	26,59%
80	33,22%
100	42,00%
150	56,99%
200	72,45%
300	90,19%
400	96,41%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_130\_045

Tamanho

Frações Passante

(%) (mm)

P10 27,7

P20 49,97

P25 59,62

P50 134,72

P75 257,09

P80 283,63

P90 460,5

P99 587,19

Tamanho Percentual

Passante Passante

(%) (%)

1 0,00%

2 4,46%

4 4,64%

6	4,75%
8	4,91%
10	5,11%
20	6,97%
40	14,83%
60	25,20%
80	35,03%
100	41,82%
150	53,60%
200	64,24%
300	83,09%
400	86,64%
500	92,20%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_130\_045

Tamanho

Frações (%)	Passante (mm)
P10	44,584
P20	68,52
P25	92,456
P50	213,042
P75	371,445
P80	432,93
P90	494,421
P99	651,14

## Tamanho Percentual

## Passante Passante

(%)

(%)

1	0,01%
2	2,83%
4	2,86%
6	2,92%
8	2,97%
10	3,06%
20	5,85%
40	8,63%
60	15,90%
80	23,17%
100	27,66%
150	38,19%
200	52,24%
300	66,29%
400	78,49%
500	90,68%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F18\_220\_004

Tamanho

Frações Passante

(%)

(mm)

P10	36,824
P20	51,31
P25	65,80
P50	124,96

P75	228,243
P80	262,4915
P90	296,74
P99	328,201

Tamanho Percentual  
Passante Passante

(%)	(%)
1	0,01%
2	0,32%
4	0,33%
6	0,37%
8	0,41%
10	0,56%
20	0,0612
40	11,68%
60	20,07%
80	28,46%
100	40,58%
150	57,87%
200	74,29%
300	90,71%
400	95,36%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F18\_220\_004

Tamanho

Frações Passante

(%) (mm)

P10 39,699

P20 58,639

P25 77,579

P50 154,012

P75 227,006

P80 248,904

P90 270,802

P99 292,73

1 0,01%

2 1,27%

4 1,30%

6 1,33%

8 1,36%

10 1,46%

20 0,05805

40 10,15%

60 16,77%

80 23,40%

100 33,73%

150 48,63%

200 74,32%

300 100,00%

400 100,00%

500 100,00%

600 100,00%

700 100,00%

800 100,00%

900 100,00%

1000 100,00%

Plano	F18_220_004
	Tamanho
Frações	Passante
(%)	(mm)
P10	55,557
P20	79,3
P25	103,043
P50	178,786
P75	262,412
P80	308,5485
P90	354,685
P99	431,153

Tamanho	Percentual
Passante	Passante
(%)	(%)
1	0,01%
2	0,36%
4	0,38%
6	0,44%
8	0,49%
10	0,60%
20	0,03265
40	5,93%
60	9,87%
80	13,81%
100	23,91%
150	41,39%
200	63,82%
300	86,24%
400	93,12%
500	100,00%
600	100,00%

700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F18\_220\_004

Tamanho

Frações Passante

(%) (mm)

P10	1,179
P20	7,7595
P25	14,34
P50	61,565
P75	139,01
P80	193,624
P90	248,238
P99	337,572

Tamanho Percentual

Passante Passante

(%) (%)

1	0,02%
2	22,31%
4	22,38%
6	22,61%
8	22,83%
10	23,30%
20	0,31475
40	39,65%
60	47,81%
80	55,97%
100	65,96%
150	77,74%

200	87,10%
300	96,46%
400	98,23%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_130\_046

Tamanho

Frações Passante

(%) (mm)

P10 1,4

P20 1,81

P25 7,91

P50 96,81

P75 225,29

P80 261,85

P90 342,59

P99 471,86

Tamanho Percentual

Passante Passante

(%) (%)

1 0,00%

2 24,69%

4 24,82%

6 24,91%

8 25,00%

10 25,14%

20 26,29%

40 31,21%

60	38,44%
80	44,30%
100	51,08%
150	64,26%
200	71,54%
300	85,22%
400	96,45%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_140\_063

Tamanho

Frações Passante  
(%) (mm)

P10 63,525

P20 83,934

P25 104,34

P50 209,32

P75 326,511

P80 378,56

P90 430,604

P99 489,254

Tamanho Percentual

Passante Passante

(%) (%)

1 0,01%

2 0,13%

4 0,14%

6	0,16%
8	0,18%
10	0,21%
20	1,82%
40	3,43%
60	9,77%
80	16,11%
100	24,13%
150	36,15%
200	53,67%
300	71,18%
400	85,59%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_140\_063

Tamanho

Frações Passante

(%) (mm)

P10 3,71

P20 44,65

P25 49,57

P50 132,79

P75 266,23

P80 295,56

P90 374,39

P99 455,04

Tamanho	Percentual
Passante	Passante
(%)	(%)
1	0,00%
2	0,00%
4	11,70%
6	11,79%
8	11,87%
10	11,97%
20	12,84%
40	17,93%
60	26,85%
80	34,38%
100	41,60%
150	54,23%
200	63,87%
300	83,48%
400	89,63%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_130\_048

Tamanho

Frações	Passante
(%)	(mm)
P10	72,14
P20	118,79
P25	138,10
P50	261,54

P75	528,75
P80	543,00
P90	571,5
P99	597,15

Tamanho Passante	Percentual Passante
------------------	---------------------

(%)	(%)
1	0,00%
2	0,00%
4	0,14%
6	0,23%
8	0,33%
10	0,47%
20	1,24%
40	4,26%
60	7,67%
80	11,51%
100	15,13%
150	28,08%
200	36,47%
300	58,46%
400	64,91%
500	64,91%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano	F01_130_048
	Tamanho
Frações	Passante
(%)	(mm)
P10	4,01
P20	7,01
P25	8,51
P50	52,00
P75	109,64
P80	132,84
P90	227,95
P99	307,2

Tamanho	Percentual
Passante	Passante
(%)	(%)
1	0,00%
2	0,00%
4	29,41%
6	29,53%
8	29,71%
10	29,94%
20	31,64%
40	43,67%
60	55,96%
80	64,73%
100	72,92%
150	83,67%
200	88,53%
300	10,00%
400	10,00%
500	10,00%

600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_130\_049

Tamanho

Frações Passante

(%) (mm)

P10	8,18
P20	25,32
P25	30,40
P50	57,64
P75	104,34
P80	124,76
P90	173,55
P99	282,49

Tamanho Percentual

Passante Passante

(%) (%)

1	0,00%
2	8,94%
4	9,29%
6	9,56%
8	9,96%
10	10,43%
20	14,76%
40	34,46%
60	52,08%
80	64,20%
100	73,94%

150	86,18%
200	94,29%
300	100,00%
400	100,00%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_130\_049

Tamanho

Frações Passante

(%) (mm)

P10 1,97

P20 24,83

P25 30,19

P50 59,53

P75 117,17

P80 131,50

P90 176,1

P99 285,2

Tamanho Percentual

Passante Passante

(%) (%)

1 0,00%

2 10,26%

4 10,60%

6 10,86%

8 11,19%

10 11,61%

20	15,50%
40	34,15%
60	50,38%
80	61,91%
100	69,01%
150	86,46%
200	93,24%
300	100,00%
400	100,00%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_110\_002

Tamanho

Frações Passante

(%) (mm)

P10 1,381

P20 35,5715

P25 69,76

P50 123,38

P75 234,3

P80 287,218

P90 340,136

P99 431,153

Tamanho Percentual

Passante Passante

(%) (%)

1 0,01%

2	10,50%
4	10,54%
6	10,58%
8	10,62%
10	10,70%
20	12,49%
40	14,28%
60	19,69%
80	25,10%
100	38,47%
150	58,97%
200	73,23%
300	87,49%
400	93,75%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_140\_065

Tamanho

Frações Passante

(%)

(mm)

P10 64,561

P20 100,4515

P25 136,34

P50 259,52

P75 486,335

P80 637,802

P90 789,269

P99 976,7068061

## Tamanho Percentual

## Passante Passante

(%)

(%)

1	0,00%
2	1,62%
4	1,64%
6	1,67%
8	1,70%
10	1,78%
20	3,56%
40	5,33%
60	7,89%
80	10,44%
100	17,50%
150	29,33%
200	43,49%
300	57,64%
400	66,96%
500	76,27%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_140\_065

Tamanho

## Frações Passante

(%)

(mm)

P10	7,46
P20	47,85
P25	59,69
P50	120,01

P75	206,09
P80	235,98
P90	295,75
P99	582,62

Tamanho Passante	Percentual Passante
------------------	---------------------

(%)	(%)
1	0,00%
2	0,00%
4	9,67%
6	9,88%
8	10,04%
10	10,24%
20	11,67%
40	16,69%
60	25,13%
80	34,36%
100	43,62%
150	59,57%
200	73,98%
300	90,71%
400	94,24%
500	94,24%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano	F01_140_065
	Tamanho
Frações	Passante
(%)	(mm)
P10	19,53
P20	47,38
P25	59,73
P50	119,31
P75	216,29
P80	239,2
P90	285,02
P99	470,92

Tamanho	Percentual
Passante	Passante
(%)	(%)
1	0,00%
2	0,00%
4	7,82%
6	7,98%
8	8,14%
10	8,35%
20	10,08%
40	17,02%
60	25,11%
80	35,17%
100	43,37%
150	60,54%
200	71,45%
300	93,27%
400	96,56%
500	100,00%
600	100,00%

700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_140\_065

Tamanho

Frações Passante

(%) (mm)

P10	15,71
P20	32,94
P25	40,42
P50	78,18
P75	127,58
P80	140,77
P90	199,54
P99	373,27

Tamanho Percentual

Passante Passante

(%) (%)

1	0,00%
2	7,14%
4	7,34%
6	7,52%
8	7,75%
10	8,09%
20	11,43%
40	24,67%
60	40,06%
80	51,00%
100	64,54%
150	83,50%

200	90,06%
300	96,26%
400	100,00%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_110\_003

Tamanho

Frações Passante

(%) (mm)

P10 2,85

P20 3,69

P25 30,48

P50 148,65

P75 263,22

P80 292,35

P90 385,27

P99 672,21

Tamanho Percentual

Passante Passante

(%) (%)

1 0,00%

2 0,00%

4 23,63%

6 23,67%

8 23,72%

10 23,79%

20 24,27%

40	25,66%
60	28,44%
80	32,04%
100	36,43%
150	50,38%
200	64,15%
300	81,31%
400	91,50%
500	96,40%
600	96,40%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_140\_066

Tamanho

Frações Passante

(%) (mm)

P10 29,34

P20 51,93

P25 61,37

P50 104,26

P75 168,03

P80 183,48

P90 231,75

P99 293,18

Tamanho Percentual

Passante Passante

(%) (%)

1 0,00%

2 3,75%

4	4,00%
6	4,19%
8	4,44%
10	4,66%
20	6,81%
40	13,64%
60	24,30%
80	34,52%
100	48,21%
150	69,16%
200	85,35%
300	100,00%
400	100,00%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_120\_029

Tamanho

Frações Passante

(%) (mm)

P10 23,9

P20 47,26

P25 56,38

P50 104,34

P75 170,19

P80 189,11

P90 265,23

P99 467,76

## Tamanho Percentual

## Passante Passante

(%)

(%)

1	0,00%
2	6,09%
4	6,30%
6	6,45%
8	6,59%
10	6,84%
20	8,54%
40	16,02%
60	26,98%
80	37,80%
100	48,13%
150	69,66%
200	82,88%
300	93,80%
400	100,00%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_120\_033

Tamanho

Frações Passante

(%)

(mm)

P10	23,39
P20	55,59
P25	68,24
P50	136,10

P75	253,3
P80	280,31
P90	350,4
P99	472,16

Tamanho Passante	Percentual Passante
------------------	---------------------

(%)	(%)
1	0,00%
2	0,00%
4	7,47%
6	7,67%
8	7,81%
10	7,97%
20	9,19%
40	13,96%
60	21,71%
80	29,70%
100	38,18%
150	54,55%
200	64,31%
300	83,49%
400	96,41%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano	F01_120_033
	Tamanho
Frações	Passante
(%)	(mm)
P10	2,85
P20	3,69
P25	17,64
P50	89,12
P75	179,66
P80	208,33
P90	279,4
P99	477,24

Tamanho	Percentual
Passante	Passante
(%)	(%)
1	0,00%
2	0,00%
4	23,64%
6	23,78%
8	23,91%
10	24,06%
20	25,29%
40	31,10%
60	39,06%
80	46,73%
100	53,90%
150	69,40%
200	78,84%
300	92,89%
400	95,61%
500	100,00%
600	100,00%

700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_120\_033

Tamanho

Frações Passante

(%) (mm)

P10	42,99
P20	61,84
P25	69,82
P50	120,93
P75	213,53
P80	272,31
P90	359,41
P99	479,06

Tamanho Percentual

Passante Passante

(%) (%)

1	0,00%
2	0,00%
4	2,85%
6	2,90%
8	2,95%
10	3,02%
20	3,57%
40	8,44%
60	18,85%
80	31,38%
100	43,50%
150	59,03%

200	73,85%
300	82,36%
400	95,22%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_120\_037

Tamanho

Frações (%)	Passante (mm)
P10	18,42
P20	44,66
P25	52,63
P50	95,94
P75	190,5
P80	216,63
P90	272,11
P99	465,49

Tamanho Percentual

Passante (%)	Passante (%)
1	0,00%
2	0,00%
4	8,45%
6	8,61%
8	8,76%
10	8,93%
20	10,20%

40	17,08%
60	29,62%
80	41,06%
100	52,28%
150	66,47%
200	77,00%
300	95,03%
400	97,10%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_130\_054

Tamanho

Frações Passante

(%) (mm)

P10 1,65

P20 21,43

P25 28,19

P50 63,89

P75 119,95

P80 137,57

P90 205,18

P99 290,52

Tamanho Percentual

Passante Passante

(%) (%)

1 0,00%

2 15,31%

4	15,64%
6	15,91%
8	16,21%
10	16,56%
20	18,94%
40	33,75%
60	47,83%
80	59,01%
100	69,34%
150	83,53%
200	89,45%
300	100,00%
400	100,00%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_130\_054

Tamanho

Frações (%)	Passante (mm)
P10	30,46
P20	53,25
P25	63,51
P50	122,20
P75	215,58
P80	238,62
P90	284,96
P99	385,03

## Tamanho Percentual

## Passante Passante

(%)

(%)

1	0,00%
2	0,00%
4	3,83%
6	4,06%
8	4,27%
10	4,50%
20	6,41%
40	13,28%
60	23,42%
80	32,42%
100	40,97%
150	61,30%
200	71,62%
300	93,32%
400	100,00%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F17\_170\_038

Tamanho

Frações Passante

(%)

(mm)

P10	2,49
P20	2,99
P25	3,24
P50	48,32

P75	144,28
P80	172,63
P90	256,62
P99	424

Tamanho Passante	Percentual Passante
------------------	---------------------

(%)	(%)
1	0,00%
2	0,00%
4	40,47%
6	40,53%
8	40,61%
10	40,71%
20	46,73%
40	46,73%
60	54,59%
80	61,85%
100	66,71%
150	76,07%
200	84,75%
300	94,02%
400	97,85%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano	F01_110_010
	Tamanho
Frações	Passante
(%)	(mm)
P10	24,59
P20	42,55
P25	52,00
P50	89,04
P75	164,13
P80	199,27
P90	249,74
P99	294,97

Tamanho	Percentual
Passante	Passante
(%)	(%)
1	0,00%
2	0,89%
4	1,15%
6	1,47%
8	1,84%
10	2,43%
20	7,42%
40	18,65%
60	29,23%
80	43,67%
100	57,66%
150	72,99%
200	80,10%
300	100,00%
400	100,00%
500	100,00%
600	100,00%

700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F17\_160\_041

Tamanho

Frações Passante

(%) (mm)

P10	20,87
P20	32,73
P25	38,65
P50	71,37
P75	124,88
P80	140,60
P90	193,48
P99	288,83

Tamanho Percentual

Passante Passante

(%) (%)

1	0,00%
2	3,08%
4	3,29%
6	3,62%
8	4,03%
10	4,65%
20	9,26%
40	26,14%
60	43,06%
80	55,27%
100	67,08%
150	82,99%

200	91,05%
300	100,00%
400	100,00%
500	1000,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_110\_011

Tamanho

Frações Passante

(%) (mm)

P10 28,4

P20 49,82

P25 60,48

P50 112,09

P75 205,53

P80 221,42

P90 259,29

P99 295,93

Tamanho Percentual

Passante Passante

(%) (%)

1 0,00%

2 2,31%

4 2,51%

6 2,71%

8 3,02%

10 3,37%

20 6,09%

40	15,40%
60	24,77%
80	34,31%
100	45,42%
150	64,36%
200	73,29%
300	100,00%
400	100,00%
500	1000,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F17\_160\_042

Tamanho

Frações Passante

(%) (mm)

P10 24,03

P20 41,08

P25 48,96

P50 97,81

P75 186,49

P80 211,76

P90 255,88

P99 295,59

Tamanho Percentual

Passante Passante

(%) (%)

1 0,00%

2 1,61%

4	1,83%
6	2,14%
8	2,53%
10	3,12%
20	7,65%
40	19,32%
60	32,00%
80	42,71%
100	50,90%
150	68,69%
200	77,33%
300	100,00%
400	100,00%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_110\_012

Tamanho

Frações (%)	Passante (mm)
P10	23,15
P20	39,7
P25	46,88
P50	106,55
P75	187,68
P80	205,49
P90	252,74
P99	295,27

Tamanho Percentual

Passante Passante

(%)

(%)

1

0,00%

2

3,20%

4

3,41%

6

3,68%

8

4,14%

10

4,57%

20

8,10%

40

20,18%

60

31,28%

80

39,53%

100

48,00%

150

63,26%

200

78,84%

300

100,00%

400

100,00%

500

100,00%

600

100,00%

700

100,00%

800

100,00%

900

100,00%

1000

100,00%

Plano

F01\_110\_025

Tamanho

Frações

Passante

(%)

(mm)

P10

1,93

P20

35,53

P25

48,18

P50

109,30

P75	229,23
P80	260,33
P90	326,58
P99	392,66

Tamanho Passante (%)	Percentual Passante (%)
----------------------	-------------------------

1	0,00%
2	10,80%
4	10,97%
6	11,14%
8	11,30%
10	11,58%
20	14,03%
40	21,72%
60	29,74%
80	36,52%
100	47,60%
150	60,51%
200	70,30%
300	86,38%
400	100,00%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F17\_160\_044

Tamanho

Frações Passante

(%) (mm)

P10 39,54

P20 66,7

P25 79,15

P50 138,07

P75 214

P80 242,71

P90 300,23

P99 390,02

Tamanho Percentual

Passante Passante

(%) (%)

1 0,00%

2 0,73%

4 0,94%

6 1,17%

8 1,44%

10 1,75%

20 3,99%

40 10,14%

60 17,31%

80 25,34%

100 33,73%

150 55,10%

200 72,56%

300 89,98%

400 100,00%

500 100,00%

600 100,00%

700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F17\_160\_044

Tamanho

Frações Passante

(%) (mm)

P10	15,94
P20	31,78
P25	38,59
P50	81,02
P75	160,89
P80	196,4
P90	262,36
P99	376,58

Tamanho Percentual

Passante Passante

(%) (%)

1	0,00%
2	6,83%
4	7,11%
6	7,34%
8	7,63%
10	8,02%
20	11,35%
40	26,04%
60	37,92%
80	49,69%
100	55,73%
150	73,47%

200	80,51%
300	95,73%
400	100,00%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_110\_027

Tamanho

Frações Passante

(%) (mm)

P10 16,03

P20 28,17

P25 33,19

P50 57,89

P75 102,14

P80 124,59

P90 244,15

P99 383,49

Tamanho Percentual

Passante Passante

(%) (%)

1 0,00%

2 5,40%

4 5,72%

6 6,07%

8 6,52%

10 7,17%

20 11,86%

40	31,78%
60	52,15%
80	64,41%
100	74,52%
150	85,66%
200	86,88%
300	93,94%
400	100,00%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_110\_027

Tamanho

Frações Passante

(%) (mm)

P10 1,23

P20 1,47

P25 1,59

P50 24,99

P75 71,19

P80 85,99

P90 180,62

P99 288,65

Tamanho Percentual

Passante Passante

(%) (%)

1 0,00%

2 42,71%

4	42,88%
6	43,05%
8	43,32%
10	43,71%
20	46,52%
40	60,47%
60	70,39%
80	78,63%
100	83,20%
150	88,12%
200	91,19%
300	100,00%
400	100,00%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_120\_028

Tamanho

Frações Passante

(%) (mm)

P10 66,746

P20 102,6875

P25 138,63

P50 269,37

P75 418,686

P80 499,396

P90 580,106

P99 673,8599653

Tamanho Percentual

Passante Passante

(%)

(%)

1

0,01%

2

0,50%

4

0,53%

6

0,59%

8

0,64%

10

0,69%

20

2,63%

40

4,57%

60

7,55%

80

10,52%

100

16,87%

150

27,05%

200

41,47%

300

55,89%

400

71,99%

500

88,09%

600

100,00%

700

100,00%

800

100,00%

900

100,00%

1000

100,00%

Plano

F01\_150\_018

Tamanho

Frações

Passante

(%)

(mm)

P10

53,43

P20

81,92

P25

98,44

P50

169,94

P75	254,44
P80	274,27
P90	345,93
P99	571,63

Tamanho Passante	Percentual Passante
------------------	---------------------

(%)	(%)
1	0,00%
2	0,28%
4	0,34%
6	0,44%
8	0,54%
10	0,70%
20	1,68%
40	6,14%
60	11,89%
80	19,42%
100	25,47%
150	42,52%
200	61,28%
300	86,49%
400	94,14%
500	96,47%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano	F01_150_018
	Tamanho
Frações	Passante
(%)	(mm)
P10	1,46
P20	1,91
P25	24,59
P50	75,93
P75	138,37
P80	156,07
P90	221,33
P99	292,13

Tamanho	Percentual
Passante	Passante
(%)	(%)
1	0,00%
2	21,97%
4	22,07%
6	22,16%
8	22,26%
10	22,40%
20	23,71%
40	29,32%
60	40,17%
80	52,52%
100	61,83%
150	78,99%
200	87,29%
300	100,00%
400	100,00%
500	100,00%
600	100,00%

700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_150\_019

Tamanho

Frações Passante

(%) (mm)

P10 1,98

P20 38,48

P25 53,36

P50 108,95

P75 177,19

P80 192,96

P90 243,72

P99 294,37

Tamanho Percentual

Passante Passante

(%) (%)

1 0,00%

2 10,19%

4 10,29%

6 10,39%

8 10,55%

10 10,81%

20 13,00%

40 20,57%

60 27,20%

80 37,50%

100 46,43%

150 66,38%

200	82,23%
300	100,00%
400	100,00%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_150\_019

Tamanho

Frações Passante

(%) (mm)

P10 1,41

P20 1,82

P25 10,67

P50 87,16

P75 174,89

P80 195,21

P90 261,12

P99 377,21

Tamanho Percentual

Passante Passante

(%) (%)

1 0,00%

2 24,53%

4 24,60%

6 24,66%

8 24,76%

10 24,89%

20 26,51%

40	31,86%
60	39,29%
80	46,57%
100	56,15%
150	68,88%
200	81,18%
300	95,61%
400	100,00%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_150\_019

Tamanho

Frações Passante

(%) (mm)

P10 13,93

P20 48,97

P25 63,36

P50 125,23

P75 219,09

P80 241,11

P90 285,16

P99 384,92

Tamanho Percentual

Passante Passante

(%) (%)

1 0,00%

2 8,44%

4	8,58%
6	8,75%
8	8,96%
10	9,19%
20	11,25%
40	16,87%
60	23,85%
80	30,71%
100	40,43%
150	59,40%
200	70,67%
300	93,37%
400	100,00%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_110\_030

Tamanho

Frações Passante

(%) (mm)

P10 32,12

P20 62,73

P25 78,04

P50 149,98

P75 288,73

P80 321,15

P90 520,15

P99 664,92

## Tamanho Percentual

## Passante Passante

(%)

(%)

1	0,00%
2	2,37%
4	2,46%
6	2,53%
8	2,64%
10	2,77%
20	4,21%
40	9,47%
60	15,94%
80	23,37%
100	32,17%
150	50,44%
200	60,28%
300	75,36%
400	82,71%
500	91,69%
600	91,69%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_110\_030

Tamanho

Frações Passante

(%)

(mm)

P10	41,11
P20	60,13
P25	69,81
P50	124,82

P75	216,9
P80	242,89
P90	294,86
P99	483,26

Tamanho Passante	Percentual Passante
------------------	---------------------

(%)	(%)
1	0,00%
2	0,03%
4	0,13%
6	0,25%
8	0,39%
10	0,58%
20	2,44%
40	9,42%
60	19,93%
80	30,27%
100	40,54%
150	59,60%
200	71,75%
300	90,99%
400	94,03%
500	100,00%
600	100,00%
700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%

Plano F01\_110\_030

Tamanho

Frações Passante

(%) (mm)

P10 27,65

P20 46,42

P25 55,8

P50 104,19

P75 197,41

P80 228,04

P90 325,86

P99 652,56

Tamanho Percentual

Passante Passante

(%) (%)

1 0,00%

2 0,03%

4 0,12%

6 0,22%

8 0,37%

10 0,60%

20 3,36%

40 13,58%

60 25,06%

80 37,52%

100 48,55%

150 66,34%

200 78,54%

300 89,83%

400 92,37%

500 92,37%

600 100,00%

700	100,00%
800	100,00%
900	100,00%
1000	100,00%