

**Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG**

Engenharia de Minas

Campus Poços de Caldas-MG

**Francisco Junior Batista Pedrosa**

**Análise Operacional do Desmonte de Calcário**

**Poços de Caldas**

**2014**

Francisco Junior Batista Pedrosa

Análise Operacional do Desmonte de Calcário

Trabalho de conclusão do curso apresentado à Unidade curricular TCC II (ICT 218) do Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal de Alfenas, campus Poços de Caldas. Área de concentração: Lavra de minas. Orientador: Osvald André Quaglio; coorientador: Edmo da Cunha Rodovalho.

**Poços de caldas**

**2014**

P372a      Pedrosa, Francisco Júnior Batista.  
              Análise operacional do desmonte de calcário. / Francisco Junior Batista  
Pedrosa;

Orientação de Osvald André Quaglio. Poços de Caldas: 2014.  
42 fls.: il.; 30 cm.  
Inclui bibliografias: fls. 42

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Minas) –  
Universidade Federal de Alfenas– Campus de Poços de Caldas, MG.

1. Fragmentação. 2. Desmonte primário. 3. Desmonte secundário. I. Quaglio, Osvald  
André (orient.). II. Universidade Federal de Alfenas - Unifal. III. Título.

CDD 662.2

Francisco Junior Batista Pedrosa

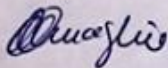
**Análise operacional do desmonte de Calcário**

A banca examinadora abaixo-assinada aprova o Trabalho apresentado à Unidade Curricular Trabalho de Conclusão de Curso II (ICT218), do curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Alfenas (Unifal-MG), campus de Poços de Caldas, como requisito parcial para a obtenção do grau de bacharel e Engenharia de Minas

Aprovada em: 09 de junho de 2014

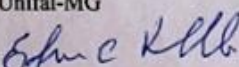
**Examinador:** Osvail André Quaglio

**Instituição:** Universidade Federal de Alfenas (Unifal-MG)

**Assinatura:** 

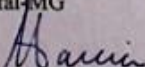
**Examinador:** Edmo de Cunha Rodvalho

**Instituição:** Unifal-MG

**Assinatura:** 

**Examinador:** Marco Antonio Alves Garcia

**Instituição:** Unifal-MG

**Assinatura:** 

Dedico aos meus pais,  
amigos, familiares e  
amigos pelo estímulo para  
a realização do presente  
trabalho.

## AGRADECIMENTOS

Ao professor coorientador, Edmo da Cunha Rodovalho, pelo suporte e auxílio para realização do presente trabalho.

Ao professor e orientador Osvail André Quaglio pelo auxílio na execução dessa pesquisa.

Ao empreendimento mineiro que me permitiu a realização das análises, além de me disponibilizarem os dados.

Ao supervisor de mineração Eder Tiago pelo auxílio e boa vontade em me fornecer informações relativos ao processo de lavra de calcário.

## RESUMO

Jazidas minerais são formadas por rochas competentes e friáveis. A escavação de rocha competente por meio das técnicas convencionais é realizada através das seguintes operações subsequentes: perfurações no maciço a distâncias predeterminadas, introdução de explosivos nos furos, detonação desse explosivo e remoção da rocha desmontada. A geração de blocos em tamanho superior ao especificado para a alimentação da britagem ocorre em função da ineficiência das operações de desmonte com explosivos. Considerando que as paradas por engaiolamento são frequentes e as mesmas prejudicam a performance da britagem, a revisão de parâmetros utilizados no desmonte com explosivos torna-se desejável. Esta pesquisa descreve a prática operacional de lavra de calcário desde a perfuração até a britagem, analisando operacionalmente duas diferentes configurações de plano de fogo empregadas. Os planos de fogos, os custos gerados pelo desmonte primário e secundário foram obtidos junto à empresa. O Plano de Fogo A possui uma malha de perfuração mais fechada, isto é menores afastamento e espaçamento, quando comparado ao Plano de Fogo B. Essa situação promove o aumento da razão de carga e do custo unitário com o desmonte primário. Com relação ao custo com o desmonte secundário, o Plano de Fogo A obteve um custo unitário menor que o custo unitário do Plano de Fogo B. Tal situação representa que o primeiro esquema de plano de fogo obteve melhor fragmentação em relação ao segundo. Mesmo que presente estudo não considere os custos com carga, transporte e britagem, a bibliografia existente revela que esse conjunto de custos possui uma maior influência nos custos totais do processo produtivo, em comparação aos custos com perfuração e desmonte. Dentre as configurações analisadas, o Plano de Fogo A é o que mais indicado para uma possível redução de custos dos processos de lavra e beneficiamento integrados.

Palavras-chave: plano de fogo, desmonte primário, desmonte secundário, fragmentação, custo unitário.

## ABSTRACT

Mineral deposits are formed by competent and friable rocks. The competent rock excavation by conventional techniques is undertaken through subsequent operations: drilling in mass at predetermined distances, introduction of explosives into the holes, this explosive detonation and removal of blasted rock. The generation of blocks higher than specified for the supply of crushing size occurs due to the inefficiency of the blasting operations with explosives. Considering that the charts for caging are frequent and they adversely affect the performance of crushing, review of parameters used in blasting becomes desirable. This research describes the operational practice of mining of limestone from drilling to crushing, operationally analyzing two different configurations of blasting plan employed. The fire plans, the costs generated by the primary and secondary blasting were obtained from the company. The Blast Plan A has a more closed mesh drilling, i.e. smaller burden and spacing, compared to the Blast Plan B. This situation promotes the increase of the load and the unit cost with the primary disassemble. Regarding the unit cost with the secondary blasting the Blast Plan A got one less than the unit cost with the plan B. This situation is the first scheme of fire plan got better fragmentation compared to the second. Even though this study did not consider the cost of loading, transportation and crushing the existing literature reveals that this set of costs has a greater influence on the total costs of the production process, compared to the cost of drill and blast. Among the analyzed configurations, the Blast Plan A is the most indicated for a possible cost reduction of the processes of mining and processing integrated.

Key words: fire plan, primary blasting, secondary blasting, fragmentation, unit cost.



**LISTA DE FIGURAS**

FIGURA 1- VISÃO GERAL DA MINA S. V.. .....	25
FIGURA 2-PERFURATRIZ ROTOPERCURSIVA UTILIZADA NA LAVRA DE CALCÁRIO. ....	30
FIGURA 3- AMARRAÇÃO UTILIZANDO-SE SISTEMA LINHA SILENCIOSA. ....	31
FIGURA 4- PRAÇA DE MATAÇOS.....	32
FIGURA 5-RESULTADO DO DESMONTE UTILIZANDO O PLANO DE FOGO A. ....	34
FIGURA 6- RESULTADO DO DESMONTE UTILIZANDO O PLANO DE FOGO B.....	36
FIGURA 7- CUSTO UNITÁRIO COM PERFURAÇÃO DE ACORDO COM O PLANO DE FOGO UTILIZADO. .....	37
FIGURA 8- RAZÃO DE CARGA EM FUNÇÃO DO PLANO DE FOGO. ....	38
FIGURA 9- CUSTOS UNITÁRIOS COM EXPLOSIVO E ACESSÓRIOS CORRELACIONADOS COM O PLANO DE FOGO. ....	39
FIGURA 10- CUSTO UNITÁRIO COM O DESMONTE SECUNDÁRIO EM FUNÇÃO DO PLANO DE FOGO. .....	40

**LISTA DE TABELAS**

TABELA 1- CUSTOS UNITÁRIOS DE OPERAÇÕES DE COMPANHIAS CANADENSES.....	23
TABELA 2- PLANO DE FOGO REFERENTE AO DESMONTE A (PLANO DE FOGO A).....	33
TABELA 3- DADOS DE DESMONTE SECUNDÁRIO UTILIZANDO-SE O PLANO DE FOGO A.....	34
TABELA 4- PLANO DE FOGO REFERENTE AO DESMONTE B (PLANO DE FOGO B). ....	35
TABELA 5- DADOS DO DESMONTE SECUNDÁRIO APLICANDO-SE O PLANO DE FOGO B.....	36
TABELA 6- CUSTO UNITÁRIO COM PERFURAÇÃO CORRELACIONADO COM O PLANO DE FOGO....	37
TABELA 7- RAZÃO DE CARGA, CUSTO UNITÁRIO COM EXPLOSIVOS E ACESSÓRIOS EM FUNÇÃO DO PLANO DE FOGO. ....	38
TABELA 8 - CUSTO UNITÁRIO COM DESMONTE SECUNDÁRIO EM FUNÇÃO DO PLANO DE FOGO...	39

## Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução.....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>Objetivos .....</b>	<b>14</b>
2.1	Objetivo geral .....	14
2.2	Objetivos específicos .....	14
<b>3</b>	<b>Revisão Bibliográfica .....</b>	<b>15</b>
3.1	Desmonte de rocha a céu aberto .....	15
3.1.1	Bancadas .....	15
3.1.2	Plano de fogo a céu aberto .....	15
3.1.2.1	Diâmetro das perfurações .....	16
3.1.2.2	Altura da bancada .....	16
3.1.2.4	Espaçamento (E).....	18
3.1.2.5	Inclinação da face .....	18
3.1.2.6	Profundidade da Perfuração (Hf).....	18
3.1.2.8	Altura da carga de coluna (Hcc).....	19
3.1.2.9	Razão de Carregamento (RC).....	19
3.1.2.10	Tampão (T) .....	20
3.1.3	Problemas Operacionais no Desmonte de Rocha a Céu Aberto.....	20
3.2	Perfuração de rocha .....	21
3.3	Fragmentação da rocha.....	21
3.4	Tipos de custo na mineração .....	22
3.5	Calcário e Dolomitos .....	23
3.5.1	Origem do calcário e do dolomito .....	23
3.5.2	Calcários e dolomitos do Grupo Bambuí .....	24
3.5.3	Mina de calcário e dolomito S. V.....	24
<b>4</b>	<b>Materiais e métodos .....</b>	<b>27</b>
4.1	Levantamento de informações sobre a lavra de calcário.....	27
4.2	Pesquisa da revisão bibliográfica.....	27
4.3	Análise dos desmontes .....	27
4.3.1	Obtenção de planos de fogos e de custos com desmonte primário .....	28
4.3.2	Levantamento de horas gastas no desmonte secundário.....	28

<b>5 Resultados e discussões .....</b>	<b>29</b>
<b>5.1 Prática Operacional - lavra de calcário.....</b>	<b>29</b>
5.1.1 Plano de fogo.....	29
5.1.2 Perfuração .....	29
5.1.3 Carregamento e amarração dos furos .....	30
5.1.4 Desmorte primário .....	31
5.1.5 Desmorte secundário .....	31
5.1.6 Carga e transporte .....	32
5.1.7 Britagem primária .....	32
<b>5.2. Desmortes de calcário analisados .....</b>	<b>33</b>
5.2.1. Desmorte “A” .....	33
5.2.2. Desmorte “B” .....	35
5.2.3. Custos unitários com o desmorte de calcário.....	36
5.2.3.1. Custos unitários com perfuração.....	37
5.2.3.2. Custos unitários com explosivos e acessórios .....	38
5.2.3.3. Custos com desmorte secundário .....	39
<b>6. Conclusões.....</b>	<b>41</b>

## 1 Introdução

Jazidas minerais são massas individualizadas de substâncias minerais ou fósil, aflorando à superfície ou existente no interior da terra, que apresentam valor econômico (CÓDIGO DE MINERAÇÃO, 1967). As jazidas minerais podem ser formadas por rochas competentes e friáveis. A escavação de rocha por meio das técnicas convencionais é realizada através das seguintes operações subsequentes: perfurações no maciço a distâncias predeterminadas, introdução de explosivos nos furos, detonação desse explosivo e remoção da rocha desmontada. Todos os parâmetros pertinentes à detonação devem estar especificados no chamado “plano de fogo” (RICARDO CATALANI, 2007).

As perfurações podem ser realizadas manualmente (martelotes pneumáticos) ou mecanicamente (perfuratrizes pneumáticas ou hidráulicas). Após a perfuração, os furos são carregados com carga explosiva e amarrados com acessórios explosivos (cordéis, linhas siliciosas entre outros), seguido ao carregamento dos furos ocorre o desmonte propriamente dito. O material desmontado então é carregado em unidades de transporte e levado até a britagem primária, onde se inicia o processo de beneficiamento mineral.

A geração de blocos em tamanho superior ao especificado para a alimentação da britagem ocorre em função da ineficiência das operações de desmonte com explosivos. Considerando que as paradas por engaiolamento são frequentes e as mesmas prejudicam a performance da britagem, a revisão de parâmetros utilizados no desmonte com explosivos torna-se desejável.

Outro fator que torna relevante o estudo é a possibilidade de melhoria das operações subsequentes. A britagem primária ao cominuir materiais dentro das especificações do fabricante pode atingir maiores níveis de produtividade e maior desempenho econômico.

## **2 Objetivos**

### **2.1 Objetivo geral**

Descrever a prática operacional de lavra de calcário desde a perfuração até a britagem, analisando operacionalmente duas diferentes configurações de plano de fogo empregadas.

### **2.2 Objetivos específicos**

Verificar qual configuração de plano de fogo possui maior economicidade, em se tratando do desmonte primário e desmonte secundário de calcário no banco 695.

Verificar dentre as configurações de plano de fogo analisadas, qual obteve melhores resultados de fragmentação.

Analisar qual configuração de plano de fogo, dentre as analisadas, é mais adequada para o desmonte de calcário no banco 695.

### **3 Revisão Bibliográfica**

#### **3.1 Desmorte de rocha a céu aberto**

##### **3.1.1 Bancadas**

O desmorte de rocha à céu aberto, para as mais diversas aplicações (construção de rodovias, exploração de minerações, escavação para fundações de barragens) é executado através de bancadas (RICARDO; CATALANI, 2007). Tais estruturas são formadas durante o desmorte e compreendem a uma conformação do maciço favorável ao corte de fatias de rocha em cada ciclo.

A bancada é composta por três superfícies distintas:

- a) Berma de trabalho: na qual operam equipamentos de carga (escavadeiras, pá carregadeiras) e de transporte (caminhões);
- b) Face: superfície vertical ou levemente inclinada deixada pelo desmorte das “fatias” de rocha;
- c) Berma superior: local onde opera equipamentos de perfuração.

Primeiramente o corte do maciço era feito em uma única bancada, quase sempre muito alta, com o passar dos anos optou-se por bancadas sucessivas, sendo a praça da bancada superior o topo da bancada inferior, de modo que no maciço rochoso fica esculpida uma série de degraus.

##### **3.1.2 Plano de fogo a céu aberto**

Desde a década de 50, desenvolveu-se uma série de equações e métodos para determinação das variáveis geométricas do plano de fogo, tais como: afastamento, espaçamento, subfuração, altura da perfuração, tampão e etc. Essas equações utilizam um ou

vários grupos de parâmetros: diâmetro da perfuração, características dos explosivos, características dos maciços rochosos entre outros (COSTA E SILVA, 2009).

Ainda de acordo com Costa e Silva (2009), em razão da grande heterogeneidade das rochas, o cálculo do plano de fogo deve-se pautar em um processo contínuo de ensaios e análises, constituindo o ajuste por tentativa.

### **3.1.2.1 Diâmetro das perfurações**

A definição do diâmetro da perfuração depende de vários fatores: tamanho desejado para os fragmentos, o tipo de explosivo a ser utilizado, da vibração admissível durante a perfuração, da produção horária, do ritmo de escavação, da resistência da rocha, etc (COSTA E SILVA, 2009). Ricardo, Catalani (2007) relaciona a escolha do diâmetro da perfuração com o porte do equipamento disponível para perfuração, carga e transporte, ressaltando que a produção desses equipamentos deve ser aproximadamente a mesma. Tal relação é essencial para que não haja ociosidade e nem a necessidade de um grande número de unidades de um determinado tipo de equipamento (perfuratrizes, por exemplo) para atingir a produção adequada de um outro equipamento (escavadeiras, por exemplo).

### **3.1.2.2 Altura da bancada**

Para obter-se êxito na escavação é de extrema importância a escolha de uma altura adequada para a bancada (RICARDO, CATALANI, 2007). Uma altura de bancada comumente utilizada em grandes minas a céu aberto atualmente é de 15 m, para minas de menor porte esse valor pode atingir até 7,5 m. Em via de regra a altura do banco deve ser combinada com o porte do equipamento de carga (HUSTRULID, KUCHTA; 2013)

Ainda segundo Costa e Silva (2009) a escolha da bancada é feita considerando-se os seguintes aspectos técnicos e econômicos:



- a) Condições de estabilidade da rocha que compõe o maciço e a segurança nas operações de escavação;
- b) O volume de produção desejado, o qual determinará o tipo e o tamanho dos equipamentos de perfuração, carregamento e transporte;
- c) Maximização da eficiência no custo total de perfuração e desmonte.

### **3.1.2.3 Afastamento**

No desmonte de uma bancada executam-se perfurações sucessivas. A menor distância entre duas linhas sucessivas de perfurações ou a menor distância entre uma perfuração e a face livre da bancada é denominada afastamento (RICARDO; CATALANI, 2007). É o parâmetro geométrico mais crítico do plano de fogo, sobretudo devido aos desvios sofridos pelas perfurações, tais desvios promovem um valor de afastamento no pé da bancada maior ou menor que o valor de afastamento no topo da bancada, implicando em uma distribuição desigual de explosivos ao longo do maciço rochoso, podendo gerar diversos problemas operacionais tais como fragmentação grosseira, fragmentação extremamente fina, ultralancamento entre outros.

É primordial determinar um afastamento adequado, de modo que se evite o afastamento muito pequeno e excessivo. O afastamento muito pequeno implica no lançamento de rocha a uma distância considerável da face, na fragmentação excessivamente fina e na geração de elevados níveis de pulso de ar. Já o afastamento em excesso pode promover: uma grande emissão de gases dos furos (contribuindo para o ultralancamento da rocha e para um alto nível de onda aérea e vibração do terreno), uma fragmentação extremamente grosseira e problemas no pé da bancada. (COSTA e SILVA, 2009).

#### **3.1.2.4 Espaçamento (E)**

O espaçamento nada mais é do que a distância existente entre duas perfurações em uma mesma fileira (HERRMANN, 1968). O espaçamento nunca deve ser maior o afastamento, caso contrário o número de matacões será excessivo (COSTA E SILVA, 2009).

#### **3.1.2.5 Inclinação da face**

De acordo com Souza Ricardo (2007) adotar uma inclinação da face de uma bancada conduz a vantagens e desvantagens. Dentre as vantagens pode-se citar:

- a) Face da bancada torna-se mais segura, um talude inclinado é mais seguro geotecnicamente do que um talude vertical.
- b) Economia com explosivos, reduzindo o consumo por metro quadrado;
- c) Redução de sobrefuração no pé da bancada

Com relação às desvantagens, tem-se:

- a) Maiores chances de ocorrerem desvios a direção desejada para a perfuração;
- b) Requer-se um cuidado maior com relação ao embocamento do furo o que implica em perda de produção;

#### **3.1.2.6 Profundidade da Perfuração (Hf)**

A profundidade da perfuração é o comprimento total perfurado, não é a altura da bancada, pois se recomenda a execução de uma subfuração: perfurar além do plano da praça da bancada a fim de se evitar o aparecimento de estruturas denominadas “repés”. Um repé nada mais é do que uma superfície irregular inclinada que dificulta a exploração de bancadas sucessivas (RICARDO;CATALANI, 2007).

### 3.1.2.7 Altura da carga de fundo (Hcf)

A Carga de fundo trata-se de uma maior concentração de explosivo necessária na parte inferior da perfuração, onde a rocha é mais presa (RICARDO; CATALANI, 2007). Alguns autores sugerem que a altura da carga de fundo deve ser um valor entre 30 a 40 % do carga de explosivos, entretanto há uma tendência em reduzi-la, dependendo dos resultados dos desmontes, a fim de reduzir custos com explosivos (COSTA E SILVA, 2009).

### 3.1.2.8 Altura da carga de coluna (Hcc)

A carga de coluna é a carga de explosivo situada imediatamente acima da carga de fundo, não necessita ser tão concentrada como a carga de fundo, uma vez que a rocha não é tão presa quanto à rocha no fundo da perfuração (COSTA E SILVA, 2009). A concentração da carga de coluna é de 40 à 50 % da concentração da carga de fundo. Em determinados casos se faz necessária à introdução de espaçadores (material inerte) entre as cargas explosivas para se atinja a extensão da carga de coluna (RICARDO; CATALANI, 2007). A altura da carga de coluna é calculada pela equação 1.

$$H_{cc} = H_{ce} - H_{cf} \quad (1)$$

Onde:

Hce: é a altura da carga de explosivos;

Hcf: é a altura da carga de fundo;

### 3.1.2.9 Razão de Carregamento (RC)

A razão de carregamento é a quantidade de explosivos necessária pra o desmonte de 1 m<sup>3</sup> de rocha ou 1 tonelada de minério (HERRMANN, 1968).

### **3.1.2.10 Tampão (T)**

Consiste na parte superior da perfuração, não carregada com explosivo, mas preenchida com material inerte tal como areia seca, pó de pedra, argila (RICARDO; CATALANI, 2007). O tampão possui a função de confinar os gases gerados no momento do desmonte. O adequado confinamento de gases é de extrema importância, pois garante o funcionamento eficaz do explosivo além de controlar a sobrepressão atmosférica.

### **3.1.3 Problemas operacionais no desmonte de rocha a céu aberto**

Nas operações de desmonte de rocha alguns problemas operacionais podem ocorrer, tais como: resultados de fragmentação inadequados, ultra lançamento, excesso de vibração. Tais problemas estão possivelmente relacionados aos seguintes fatores:

- a) Malha de perfuração inadequada: cada furo tem uma região de influência para detonação da rocha, se houver um afastamento e um espaçamento inadequado haverá um comprometimento do resultado do desmonte;
- b) Desvio da perfuração: ocasionados principalmente devido aos erros de emboque, erro de falta de alinhamento do equipamento de perfuração e ao erro de deflexão, que é a tendência da coluna de fletir-se no interior do furo.
- c) Presença de água na perfuração: gerada pela intersecção dos furos com o lençol freático. Isso requer a utilização de explosivos do tipo emulsão encartuchada ou bombeada, uma vez que explosivos a granulados não possuem resistência à água. Os explosivos encartuchados ou emulsões geram uma expansão gasosa de maior energia, porém seus custos são maiores quando comparado aos explosivos granulados (ANFO).

### 3.2 Perfuração de rocha

A perfuração de rocha é extremamente importante no sucesso do desmonte de rocha com explosivos. Uma perfuração incorreta no maciço pode acarretar uma série de problemas, tais como fragmentação deficiente, excesso de vibrações, excesso de ruídos, ultralancamento e etc (QUAGLIO, 2003).

Durante a perfuração ocorrem normalmente desvios, dependentes das características da rocha, do equipamento utilizado, e dos cuidados no decorrer da operação (CASTRO e PARAS, 1986 apud QUAGLIO 2003).

Segundo Quaglio (2003) posição final do fundo de um furo, será função de três parcelas:

- a) O erro de emboque: devido à falta de atenção do operador da perfuratriz, sua inexperiência ou ainda a dificuldade de ajuste do equipamento de perfuração.
- b) O erro relacionado à falta de alinhamento: influenciado pela estrutura da rocha possivelmente está presente;
- c) O erro de deflexão: ocorre devido à tendência da coluna de perfuração fletir no interior do furo. A flexão pode se originar de falta de rigidez da coluna quando o diâmetro da coroa é bem maior do que o diâmetro das hastes empregadas.

### 3.3 Fragmentação da rocha

Devido a preocupações com custos energéticos, uma maior atenção é dada a otimização do sistema de fragmentação mina-usina. No passado e ainda hoje, subsistemas de fragmentação muitas vezes são tratados separadamente, tendo como única semelhança a britagem primária. A energia é elemento fundamental em todos os aspectos da mineração, sobretudo com relação à fragmentação. A energia requerida para redução de tamanho é muito dependente do tamanho que se encontra a partícula. Já na década de 60, levantava-se a questão se a aplicação de explosivo adicional no desmonte (energia química) poderia resultar em uma maior redução de energia nas fases posteriores de fragmentação (HUSTRULID et al 2013). Apesar dos custos com desmonte primário ser reduzido quando se gera uma fragmentação grosseira, em uma pobre fragmentação conduz para as seguintes situações (CLERICI et al. 1974 apud SECCATORE et al 2011):

- a) Aumento do desmonte secundário;
- b) Diminuição da taxa de enchimento da caçamba de carga;
- c) Aumento da dificuldade no transporte;
- d) Aumento do consumo de energia na britagem e na moagem;
- e) Aumento de vibrações e ruídos na vizinhança;
- f) Situação de insegurança e desgaste dos equipamentos no momento de manuseio do material grosseiro;
- g) Baixas performances na britagem e na moagem;

Atualmente, as mineradoras estão dando maior atenção as possíveis compensações e considerações sobre o sistema de fragmentação mina-usina estão sendo incluídas nas avaliações de projeto básico de desmonte. Nesse contexto, tanto engenheiros de minas quanto empresas de mineração devem ter um sólido conhecimento da teoria e da prática dos desmontes, independentemente se o projeto e sua implementação é realizado pela mineradora ou por empresa terceirizada (HUSTRULID et al 2013).

### **3.4 Tipos de custo na mineração**

Há um número de diferentes tipos de custos que são incluídos na operação de uma mineração (PFLEIDER; WEATON, 1968 apud HUSTRULID et al 2006). Tais custos podem ser relatados de diferentes maneiras. Dentre as categorias de custos, pode-se dividir em:

- a) Custo de capital;
- b) Custo geral e administrativo.
- c) Custo de operação;

O custo de capital e o custo geral e administrativo podem ser traduzidos nas seguintes categorias: Custo de propriedade, custos gerais e administrativos e custo de produção. Já o custo de operação inclui os custos com as seguintes operações unitárias: perfuração, desmonte, carga, transporte, manutenção das vias de acesso, remoção de capeamento e etc.

Na Tabela 1 são apresentados custos unitários, referentes a todas as operações unitárias envolvidas em um empreendimento mineiro, exemplificando os custos de minerações em operação no Canadá (HUSTRULID et al 2006).

Tabela 1- Custos unitários de operações de companhias canadenses.

	Custo unitário			
	Willians Operating Corp		BHP Minerals Canada Ltda, Island Copper	
	\$/t	%	\$/t	%
Remoção de capeamento	0,07	3,06		
Perfuração	0,33	13,70	0,04	4,19
Desmonte	0,22	9,13	0,09	9,22
Carga	0,31	12,90	0,35	36,16
Transporte	0,35	14,83	0,00	0,00
Britagem	0,74	31,17	0,18	18,55
Bombeamento			0,02	2,10
Manutenção			0,04	4,61
Energia	0,14	5,70	0,00	0,00
Outros	0,23	9,51	0,24	25,16
Total	2,39	100,00	0,95	100,00

Fonte: HUSTRULID (2006, p. 107).

### 3.5 Calcário e Dolomitos

#### 3.5.1 Origem do calcário e do dolomito

Processos de sedimentação de calcários e dolomitos são provenientes principalmente de processos químicos bioquímicos em ambiente marinho de águas rasas. Outros fatores com pH e temperatura da água também influenciam na gênese de carbonatos (WILSON,1986).

### **3.5.2 Calcários e dolomitos do Grupo Bambuí**

Segundo Dardene (1978 apud BRANDÃO, 1997), formações calcárias e dolomíticas do Grupo Bambuí estão relacionadas a uma sequência de argila e carbonatos que constitui o subgrupo Paraopeba.

Tal sequência está relacionada a uma cobertura plataformal depositada em ambiente marinho sublitorâneo a litorâneo, durante o Proterozóico Superior (ciclo Brasileiro). Suas camadas são horizontais e com metamorfismo incipiente ao longo do Rio São Francisco. Na porção oeste dessa sequência, em Goiás e ao longo da serra do Espinhaço em Minas Gerais, as estruturas geológicas se apresentam dobradas ou falhadas (BRANDÃO, 1997).

### **3.5.3 Mina de calcário e dolomito S. V.**

A Mina S. V., visualizada na Figura 1, está localizada no distrito Fazenda Bocaina na cidade de Arcos MG, pertence a uma empresa multinacional do ramo de fabricação de cimentos parte de sua produção é destinada a essa companhia para fabricação de cimentos e a outra parte é destinada à uma outra empresa que atua no setor de corretivos agrícolas e pedra britada (construção civil ou fabricação de cal). Possui uma reserva estimada em 180 milhões de toneladas. Sua produção no anual em 2012, segundo dados internos da empresa aproximadamente 1 milhão de toneladas.





Figura 1- Visão geral da Mina S. V.

Fonte: empreendimento mineiro.

Estruturalmente a mina é dividida em bancos nomeados de acordo com cotas em relação ao nível do mar e é constituída pela seguinte tipologia mineral:

a) Calcário calcítico: encontrado entre os bancos 670 e 740, em cinco bancos. É utilizado na fabricação de cimento desde que atenda a um teor mínimo de 54% de CaO e a teores máximo de 4 % SiO<sub>2</sub> e 1,5 % de MgO. O teor médio de CaO, encontrado nos bancos de calcário calcítico é de 55 %.

b) Calcário magnesiano: minério de transição entre calcário calcítico e o dolomito, encontrado entre os bancos 740 e 765, em três bancos. Esse tipo de calcário possui um teor de MgO entre 3 a 10%, considerado baixo para corretivo agrícola ( 12% de MgO), logo sua aplicação consiste na blendagem com dolomito que possui elevados teores de MgO.

c) Dolomito: encontrado entre os bancos 765 e 787, em dois bancos. Possui teores de MgO entre 16 a 19 %. É utilizado na produção de pedra para Calcinação (fabricação de cal virgem e hidratada) e em blendagens com calcário magnesiano para produção de corretivo agrícola e suprimento para ração animal.

d) Calcário silicoso: encontrado entre os bancos 787 e 812. Esse calcário apresenta alto teor de sílica impossibilitando seu uso na fabricação de cimento. Tem aplicabilidade na produção de pedra britada para construção civil e na indústria de corretivo agrícola, pelo fato possuir um alto teor de MgO. Para o processo de corretivo agrícola, esse minério possui o inconveniente de ocasionar maior desgaste nos moinhos de martelos, pelo alto teor de sílica presente.

Em minas de calcário e dolomito verifica-se uma nítida diferença na elaboração do plano de fogo, isso devido as diferentes litologias presentes. A diferença de composição mineralógica implica em diferenças operacionais do desmonte.

## **4 Materiais e métodos**

### **4.1 Levantamento de informações sobre a lavra de calcário.**

Informações a respeito das operações unitárias que envolve a lavra de calcário foram obtidas no período de realização do estágio supervisionado do autor desse trabalho, por meio de relatos dos supervisores e operários do empreendimento mineiro analisado.

### **4.2 Pesquisa da revisão bibliográfica**

Realizou-se uma revisão bibliográfica a respeito da escavação de rocha através do desmonte por meio de explosivos.

### **4.3 Análise dos desmontes**

A empresa responsável pela lavra de calcário, mediante as frequentes ocorrências de engaiolamento do britador primário, optou pela alteração do plano de fogo utilizado nos desmontes do banco 695. A malha de perfuração 3 m de afastamento por 5 m espaçamento foi modificada para uma malha de 2,5 m de afastamento por 3,5 m de espaçamento; o diâmetro de perfuração foi reduzido de 3,5” para 3” e a altura da carga de explosivo foi reduzida de 13,8 m para 13,4 m.

A nova configuração de plano de fogo foi aplicada em três desmontes teste, entretanto mediante a análise restrita do custo com desmonte primário a empresa decidiu pelo retorno do plano de fogo que era utilizado anteriormente.

Devido à ausência de oportunidade em analisar o desmonte do plano de fogo usualmente aplicado pelo empreendimento em um período anterior a sua alteração, primeiramente analisou-se um dos desmontes oriundo do plano de fogo teste, que no presente

estudo será denominado Plano de Fogo A. Somente após a decisão da empresa em voltar a implementar o plano de fogo “habitual” é que foi feita a análise do mesmo, que nessa pesquisa será chamado Plano de Fogo B.

#### **4.3.1 Obtenção de planos de fogos e de custos com desmonte primário**

Os dados dos desmontes analisados, incluindo os parâmetros do plano de fogo e custos gerados pelo desmonte primário, incluindo perfuração e explosivos, foram obtidos juntamente ao banco de dados da empresa.

#### **4.3.2 Levantamento de horas gastas no desmonte secundário**

O custo com o desmonte secundário é dado pelas horas trabalhadas pelo rompedor hidráulico. O levantamento das horas se faz diretamente por meio da visualização do horímetro presente no conjunto escavadeira- rompedor. O custo horário do equipamento foi fornecido pelo empreendimento e é o valor ajustado para o ano de 2014.

## **5 Resultados e discussões**

### **5.1 Prática Operacional - lavra de calcário**

#### **5.1.1 Plano de fogo**

O plano de fogo utilizado no desmonte de rocha na Mina S. V. varia conforme a litologia de minério a ser lavrado. Os planos de fogos são elaborados levando em consideração questões técnicas do maciço rochoso (resistência da rocha, presença de água nos bancos), condições climáticas.

#### **5.1.2 Perfuração**

O tipo da malha de perfuração empregada é a estagiada, que consiste em furos distanciados de maneira estagiada, tal malha é conhecida popularmente como malha “pé de galinha”. O equipamento utilizado na perfuração do maciço é uma perfuratriz pneumática sobre trator, da marca WOLF (figura 2). O empreendimento possui 2 unidades desse equipamento. Em todos os bancos da mina pode haver desvios nas perfurações, que possivelmente estão relacionados ao erro de emboque, erro pela falta de alinhamento ou ainda erro de efeito da tensão do peso da coluna perfuração. No entanto para certificar se há desvios de perfuração presentes, deve ser feito um estudo mais detalhado utilizando tecnologias como o sistema integrado Laser Profile/ Boretrak.



Figura 2-Perfuratriz pneumática utilizada na lavra de calcário.

Fonte: elaboração própria.

### 5.1.3 Carregamento e amarração dos furos

O carregamento dos furos com explosivos é realizado manualmente, pelos chamados cabo de fogo e sob supervisão do blaster responsável. É subdividido da seguinte maneira:

- a) Carga de fundo: o carregamento é realizado com emulsões encartuchadas, o número é variável de acordo com a presença de água nos furos.
- b) Carga de coluna: o carregamento é feito com explosivos granulares, a granel (ANFO LEVE).
- c) Tampão: preenchido com brita fina (pó de pedra), utilizando o material que faz a forragem da praça de trabalho.

A amarração entre os furos carregados com explosivos se dá utilizando-se os seguintes acessórios: linha silenciosa- brinel de coluna de 250 milissegundos, brinel de ligação de 25,42 milissegundos e o estopim . O esquema de amarração pode ser demonstrado na figura 3.

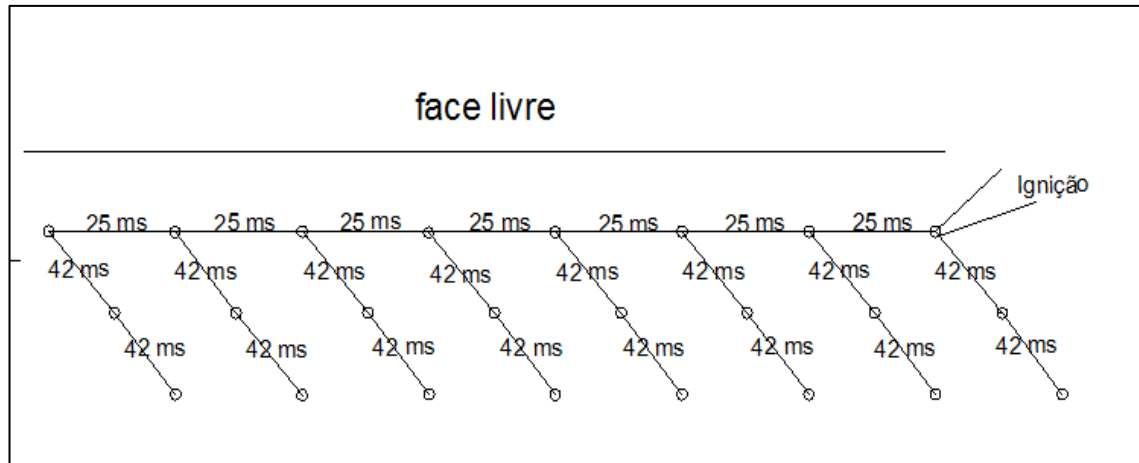


Figura 3- Amarração utilizando-se sistema linha silenciosa.

Fonte: elaboração própria.

#### 5.1.4 Desmorte primário

Após o carregamento e amarração das perfurações com explosivo, ocorre o desmorte primário da rocha. Os desmontes executados pela empresa são do tipo ignição não elétrica. São executados conforme a necessidade de produção do empreendimento.

#### 5.1.5 Desmorte secundário

Realiza-se o desmorte secundário em fragmentos rochosos provenientes do desmorte primário com dimensões superiores a abertura do britador primário, conhecidos popularmente como matacões. Para que haja a operação unitária do desmorte secundário deve-se previamente separar os matacões nas chamadas “praças de matacões” (figura 4), esse procedimento é realizado utilizando-se pá carregadeira ou escavadeira. Com os matacos separados inicia-se o desmorte secundário, tal operação é realizada utilizando-se um rompedor hidráulico acoplado a uma escavadeira hidráulica.



Figura 4- Praça de matacões.

Fonte: elaboração própria.

### 5.1.6 Carga e transporte

Seguindo o desmonte de rocha, o material é carregado em unidades de transporte e enviado a britagem primária. A carga se dá pela utilização de pá carregadeira CATERPILLAR 966, com capacidade de caçamba de 3,4 m<sup>3</sup>. O transporte é realizado por caminhões basculantes traçados IVECO TRAKKER, com capacidade de carga de 30 t.

### 5.1.7 Britagem primária

A britagem primária é executada por um britador de impacto HAZMAG, com abertura de alimentação de 1m x 1,20 m e capacidade nominal de 300 t/h. Após a britagem o material é enviado por uma correia transportadora de 1800 m de extensão até a planta de beneficiamento.



## 5.2. Desmontes de calcário analisados

Foram analisados dois desmontes aplicando-se diferentes configurações de plano de fogo, no banco 695. A seguir são demonstrados os planos de fogs e dados operacionais do desmonte secundário de cada desmonte avaliado.

### 5.2.1. Desmonte “A”

Foi executado no dia 16 de maio de 2014, às 17h15min. Os dados de plano de fogo estão presentes na Tabela 2. O resultado de fragmentação desse desmonte é verificado na Figura 5.

Tabela 2- Plano de fogo referente ao desmonte A (Plano de Fogo A).

Plano de Fogo A	
Calcário Calcítico- Banco 695	
Densidade da rocha	2,50 t/m <sup>3</sup>
Volume detonado "in situ"	7.875,00 m <sup>3</sup>
Tonelagem desmontada	19687,50 t
Diâmetro da Perfuração	3,00"
Afastamento	2,50 m
Espaçamento	3,50 m
Malha	8,75m <sup>2</sup>
Altura da bancada	15,0 m
Profundidade do furo	15,0 m
Subfuração	0,00
Tampão	1,60 m
Número de furos	60,00
Número de linhas	3,00
Metros Perfurados	900,0 m
Altura da carga de fundo	5,50 m
Altura da carga de coluna	7,90 m
Altura da carga de explosivo	13,40m
Razão de carga	195,56 g/t

Fonte: empreendimento mineiro.



Figura 5-Resultado do desmonte utilizando o Plano de Fogo A.

Fonte: elaboração própria.

Os dados relativos ao desmonte secundário gerado pela utilização do Plano de Fogo A são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3- Dados de desmonte secundário utilizando-se o Plano de Fogo A.

Desmonte secundário (Plano de Fogo A)	
Equipamento utilizado	Rompedor Hidráulico (1800 kg)- Escavadeira hidráulica CATEPILLAR 320 DL
Horas trabalhadas	12,78
Custo Horário	R\$ 195,50

Fonte: elaboração própria.

### 5.2.2. Desmonte “B”

Realizou-se no dia 13 de junho de 2013, às 17h15min. Os dados de plano de fogo relacionados estão presentes na Tabela 4. O resultado de fragmentação desse desmonte é verificado na Figura 6.

Tabela 4- Plano de fogo referente ao desmonte B (Plano de Fogo B).

Plano de Fogo B	
Calcário Calcítico- Banco 695	
Densidade da rocha	2,50 t/m <sup>3</sup>
Volume detonado "in situ"	16.875,00 m <sup>3</sup>
Tonelagem desmontada	42187,50 ton
Diâmetro da Perfuração	3,50"
Afastamento	3,00 m
Espaçamento	5,00 m
Malha	15,00m <sup>2</sup>
Altura da bancada	15,00 m
Profundidade do furo	15,00 m
Subfuração	0,00
Tampão	1,20 m
Número de furos	75,00
Número de linhas	3,00
Metros Perfurados	1125,00 m
Altura da carga de fundo	2,40 m
Altura da carga de coluna	11,40 m
Altura da carga de explosivo	13,80m
Razão de carga	138,67 g/t

Fonte: empreendimento mineiro.



Figura 6- Resultado do desmonte utilizando o Plano de Fogo B.

Fonte: empreendimento mineiro.

Os dados relativos ao desmonte secundário gerado pela utilização do Plano de Fogo B são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5- Dados do desmonte secundário aplicando-se o Plano de Fogo B.

Desmonte secundário (Plano de Fogo B)	
Equipamento utilizado	Rompedor Hidráulico (1800 kg)- Escavadeira hidráulica CATEPILLAR 320 DL
Horas trabalhadas	37,5
Custo Horário	R\$ 195,50

Fonte: empreendimento mineiro.

### 5.2.3. Custos unitários com o desmonte de calcário

Com os dados de razão de carga e custos gerados pelas duas configurações de plano de fogo analisadas, elaborou-se gráficos comparativos de custos unitários em cada operação unitária envolvida no desmonte de calcário.

### 5.2.3.1. Custos unitários com perfuração

Na Tabela 6 estão correlacionados custos com perfuração e a configuração de plano de fogo utilizada. No custo com a perfuração estão incluídos custos com combustível, lubrificantes, graxas, manutenção, acessórios da perfuratriz e mão de obra.

Tabela 6- Custo Unitário com perfuração correlacionado com o plano de fogo.

Plano de fogo empregado	Custo com perfuração (R\$/t)
Plano de fogo A	0,59
Plano de fogo B	0,32

Fonte: empreendimento mineiro.

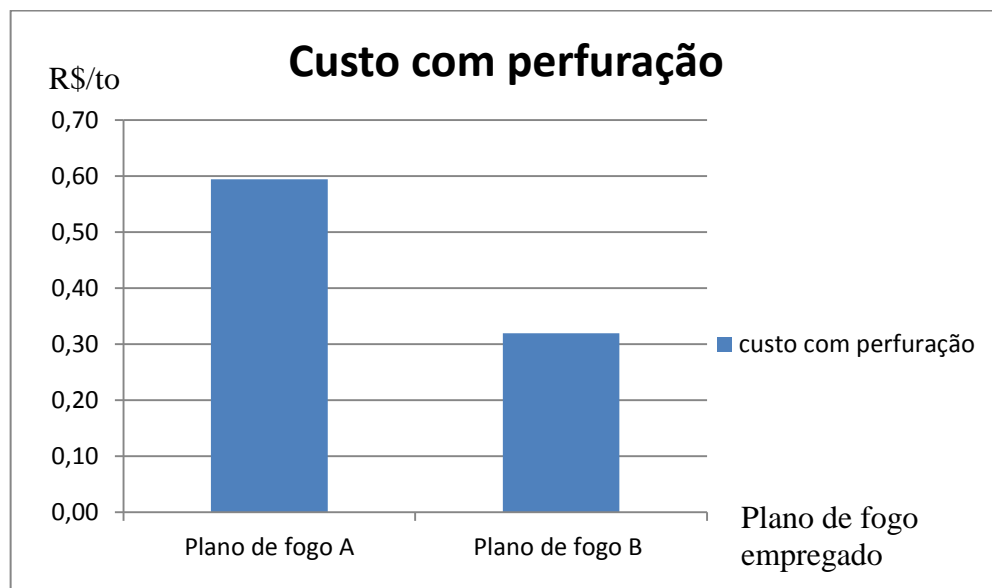


Figura 7- Custo unitário com perfuração de acordo com o plano de fogo utilizado.

Fonte: elaboração própria.

O custo unitário de perfuração resultante da utilização do Plano de Fogo A é superior ao custo unitário de perfuração gerado pelo emprego do Plano de Fogo B. Tal situação ocorre pelo fato que o Plano de Fogo A possui uma malha de perfuração mais fechada, isto é menores afastamento e espaçamento, quando comparado ao Plano de Fogo B.

### 5.2.3.2. Custos unitários com explosivos e acessórios

Na tabela 7 estão discriminados a razão de carga e custos com explosivos e acessórios em função da configuração de plano de fogo adotada. Cabe ressaltar que nos custos com a carga explosiva e seus acessórios estão incluídos os custos com o transporte e com a mão utilizada no carregamento dos furos.

Tabela 7- Razão de carga, custo unitário com explosivos e acessórios em função do plano de fogo.

Plano de fogo empregado	Razão de carga (g/t)	Custo com explosivos e acessórios (R\$/t)
Plano de fogo A	195,56	0,72
Plano de fogo B	138,67	0,46

Fonte: empreendimento mineiro.

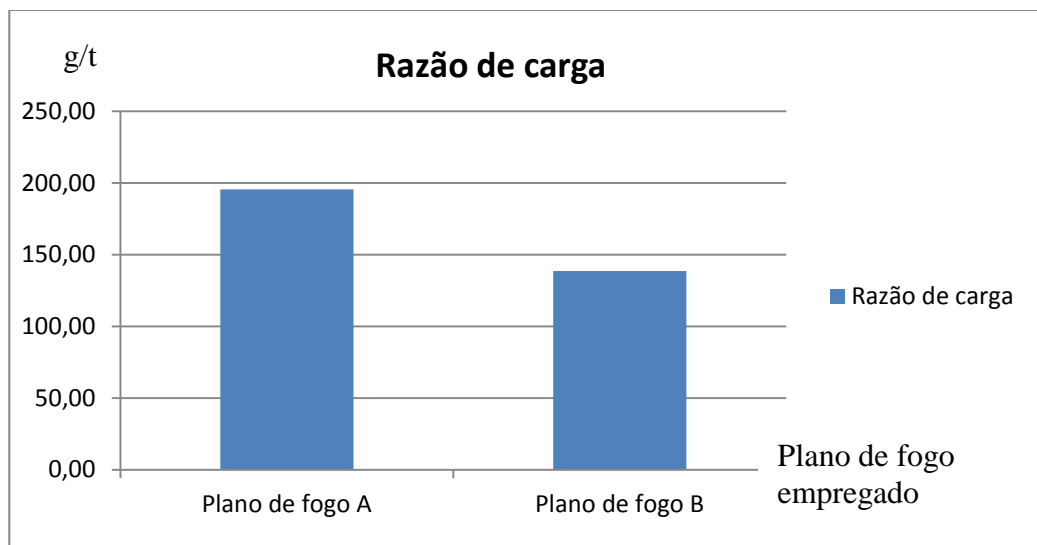


Figura 8- Razão de carga em função do plano de fogo.

Fonte: elaboração própria.

Uma maior razão de carga é verificada pela utilização do Plano de Fogo A, assim como o custo de perfuração, também se explica pelo fato que essa configuração possui uma malha com menores valores de afastamento e espaçamento em relação ao Plano de Fogo B.

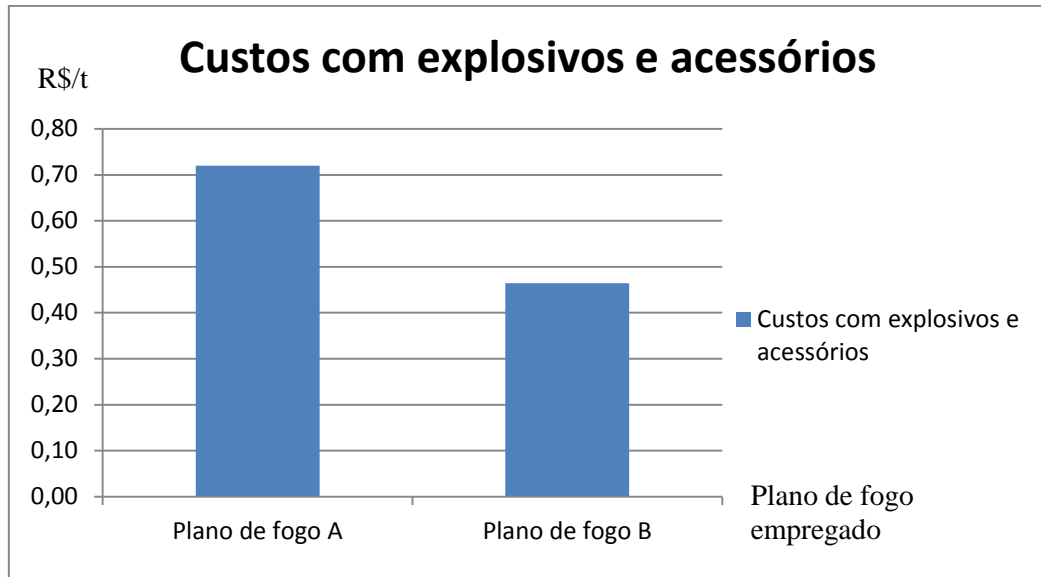


Figura 9- Custo unitário com explosivo e acessórios correlacionado com o plano de fogo.

Fonte: elaboração própria.

Como constatado no gráfico anterior (figura 8), o Plano de Fogo A apresenta uma maior razão de carga em comparação com a razão de carga proveniente do Plano de Fogo B. Como a razão de carga trata-se do consumo de explosivos por tonelada, esse parâmetro exerce influência no custo unitário (R\$/t) com explosivos e seus acessórios, já que esse último é um produto complementar ao primeiro. Tal situação é demonstrada na figura 9.

### 5.2.3.3. Custos com desmonte secundário

Dados relativos ao custo unitário com desmonte secundário são apresentados na Tabela 8. O custo com desmonte secundário inclui: capital do equipamento, mão de obra, combustível, manutenção do rompedor e da escavadeira.

Tabela 8 - Custo unitário com desmonte secundário em função do plano de fogo.

Plano de fogo empregado	Custo com desmonte secundário (R\$/t)
Plano de fogo A	0,13
Plano de fogo B	0,17

Fonte: empreendimento mineiro.

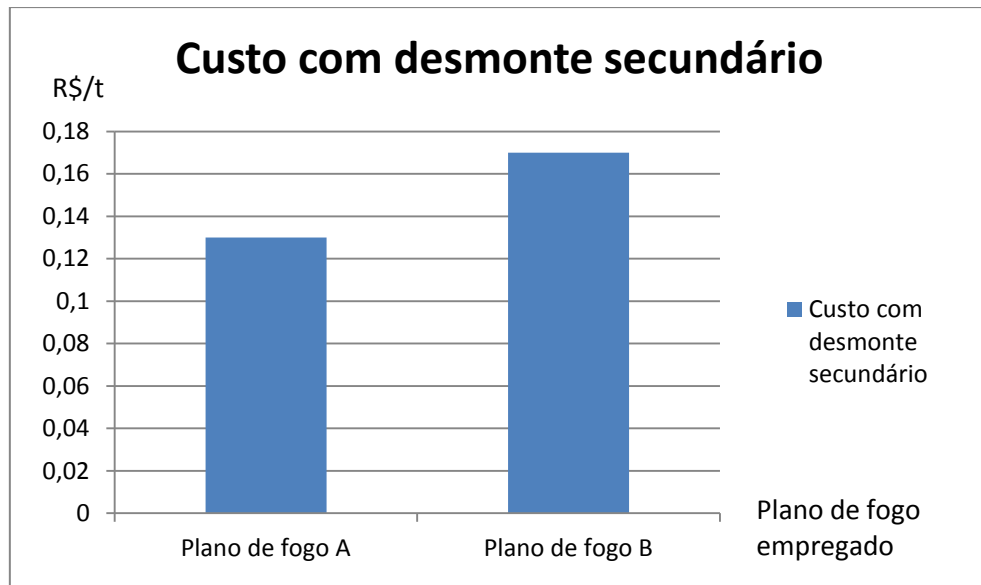


Figura 10- Custo unitário com o desmonte secundário em função do plano de fogo.

Fonte: elaboração própria.

Conforme é verificado no gráfico acima, o custo com o desmonte secundário utilizando-se o Plano de Fogo B é superior ao custo com o desmonte secundário resultante do emprego do Plano de Fogo A. Essa situação representa que houve um melhor resultado de fragmentação no desmonte que se aplicou o Plano de Fogo A. No entanto a diferença entre os custos do desmonte secundário para as duas configurações não foi tão elevada, R\$0,04/ton. Isso pode ser explicado pelo fato que a execução dos dois desmontes se deu em condições climáticas distintas: o desmonte realizado utilizando o Plano de Fogo A foi executado em um período pós-chuva, o que provavelmente gerou uma quantidade de matacos superior à quantidade que seria gerada em boas condições de tempo. Em períodos de precipitação o nível de água presente permanentemente na região inferior do banco se eleva prejudicando ainda mais a fragmentação.



## 6 Conclusões

Em um primeiro momento, analisando-se apenas o desmonte primário verifica-se que a configuração de Plano de Fogo B gerou um custo unitário menor em relação ao Plano de Fogo A, verifica-se uma diferença de R\$ 0,26/t . Entretanto quando se compara os custos com o desmonte secundário, o Plano de Fogo A obteve um custo unitário menor que o do Plano de Fogo B. Tal situação representa que o primeiro esquema de plano de fogo obteve melhor fragmentação em relação ao segundo. O desmonte secundário é executado quando a fragmentação do desmonte é deficiente.

Apesar do presente estudo não ter considerado os custos com carga, transporte e britagem, a bibliografia existente revela que esse conjunto de custos possui uma maior influência nos custos totais do processo produtivo, em comparação aos custos com perfuração e desmonte, haja visto os exemplos presentes na Tabela 1. Nesse contexto a possibilidade de aumentar a razão de carga, conseqüentemente aumentar o custo com o desmonte primário, para se atingir uma redução dos custos com carga, transporte e britagem, é desejável. Diante disso, dentre as configurações analisadas, o Plano de Fogo A é o que mais indicado para uma possível redução de custos dos processos de lavra e beneficiamento integrados.

## REFERÊNCIAS

BRANDÃO, W.; SCHOBENHAUS, C. Geologia dos calcários e dolomitos. In: SCHOBENHAUS, C; QUEIROZ, E. T.; COELHO E. S. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília: DNPM/CRPM. 1997. Cap 30, p. 373-385.

RICARDO, H. S.; CATALANI, G. **Manual prático de escavação: terraplanagem e escavação de rocha.** 3. ed. São Paulo: Pini, 2007. 653 p.

HERRMANN, C. Manual de Perfuração de Rocha. 2. ed. São Paulo: Polígono, 1972. 416 p.

HUSTRULID, W.; KUCHTA. **Open pit mine: planning & design.** 2. ed. Rotterdam: A. A. Balkema, 2006. 734 p.

HUSTRULID, W.; KUCHTA, M.; MARTIN, R. **Open pit mine: planning & design.** 3. ed. Leiden, The Netherlands: CRC Press, 2013. 1004 p.

COSTA E SILVA, V. **CURSO DE MIN 210 - OPERAÇÕES MINEIRAS.** Ouro Preto: Departamento de Engenharia de Minas, Escola de Minas UFOP, 2009.

QUAGLIO, O. A. Otimização da perfuração e da segurança nos desmontes dos agregados através do sistema laser profile e boretrak. 2003. 152f. Dissertação (Mestrado em lavra de minas)- Escola de Minas, UFOP, Ouro Preto, 2003.

