



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
ESCOLA DE MINAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS



MATHEUS FOLLY DE CARVALHO

**ANALISE QUALITATIVA DA OPERAÇÃO DE DESMONTE DA PEDREIRA ABRE  
CAMPO**

OURO PRETO

2018

MATHEUS FOLLY DE CARVALHO

**ANALISE QUALITATIVA DA OPERAÇÃO DE DESMONTE DA PEDREIRA DE  
ABRE CAMPO**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Minas.

Área de concentração: Lavra

Orientador: Prof.<sup>a</sup> Msc. Flávia Gomes Pinto

OURO PRETO

2018

C331a Carvalho, Matheus Folly de.  
Análise qualitativa da operação de desmonte da pedreira de Abre Campo  
[manuscrito] / Matheus Folly de Carvalho. - 2018.

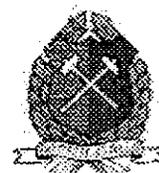
34f.: il.: color; tabs.

Orientador: Profa. MSc. Flávia Gomes Pinto.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia de Minas.

1. Agregados (Materiais de construção). 2. Desmonte de rochas. I. Pinto, Flávia Gomes. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 622.23



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO  
Universidade Federal de Ouro Preto  
Escola de Minas - Departamento de Engenharia de Minas

Aos 23 dias do mês de fevereiro de 2018, às 10h00min, no auditório do Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas - DEMIN/EM, foi realizada a defesa do Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia de Minas requisito da disciplina MIN-491 – Trabalho de Conclusão de Curso II, intitulado **“ANÁLISE QUALITATIVA DA OPERAÇÃO DE DESMONTE DA PEDREIRA DE ABRE CAMPO”**, pelo aluno **Matheus Folly Carvalho**, sendo a comissão avaliadora formada por **Profª. M.Sc. Flávia Gomes Pinto (orientadora)**, **Prof. Dr. Hernani Mota de Lima e Engº de Minas Elder Lucas Sant’Anna**.

Após arguição sobre o trabalho, a comissão avaliadora deliberou por unanimidade pela *aprovação*... do candidato, com a nota *8,0*.. concedendo-lhe o prazo de 15 dias para incorporar no texto final da monografia as alterações determinadas/sugeridas pela banca.

O aluno fará jus aos créditos e conceito de aprovação na disciplina MIN-491 – Trabalho de Conclusão de Curso II após a entrega dos exemplares definitivos (Cd e cópia impressa) da versão final da monografia defendida, conforme modelo do CEMIN-2009, no Colegiado do Curso de Engenharia de Minas – CEMIN.

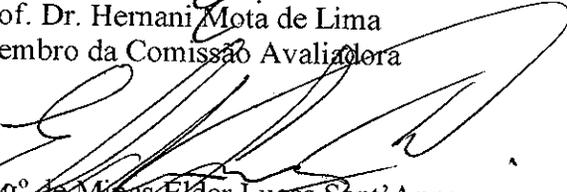
Para fins de registro, foi lavrada a presente ata que, depois de lida e aprovada é assinada pelos membros da comissão avaliadora e pelo discente.

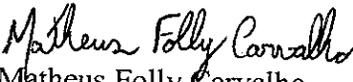
Ouro Preto, 23 de fevereiro de 2018.

  
Profª M. Sc. Flávia Gomes Pinto

Presidente da Comissão Avaliadora e Professora Orientadora

  
Prof. Dr. Hernani Mota de Lima  
Membro da Comissão Avaliadora

  
Engº de Minas Elder Lucas Sant’Anna  
Membro da Comissão Avaliadora

  
Matheus Folly Carvalho

  
Prof. Ms.C. José Fernando Miranda  
Professor responsável pela Disciplina Min 491 – Trabalho de Conclusão de Curso

A Deus, minha família e amigos.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, a Escola de Minas por me proporcionar um estudo e vivência que com certeza serão de muita importância para o meu futuro no mercado de trabalho. A todos os professores do DEMIN que tive o prazer de ser aluno, em especial a Professora Flávia, minha orientadora que tanto me ajudou. Quero também agradecer a todos meus amigos de Ouro Preto, em especial a turma 11.2 e 12.1 de Engenharia de Minas e aos irmãos e futuros colegas de profissão da República Quinta Negra onde pude aprender muito e crescer como pessoa.

*“Não conseguimos resolver um problema com base no mesmo raciocínio usado para criá-lo.”*

*(Albert Einstein)*

## RESUMO

A mineração é uma atividade de grande investimento inicial e alto risco associado, demora-se um longo período para se obter o retorno esperado. Em particular, a mineração de agregados para a construção civil está limitada a um pequeno raio para a comercialização de seus produtos, interferindo na sua margem de lucro. O desmonte de rochas é uma etapa de grande importância, pois geralmente os minérios explorados não necessitam de muitas etapas de beneficiamento, passando apenas por cominuição e classificação. Pensando nisso, este trabalho visa fazer uma análise qualitativa do desmonte de rochas efetuado na Pedreira Abre Campo através das formulas empíricas. Após os cálculos, pode-se concluir que os dados de projetos e os calculados neste trabalho são semelhantes e a ocorrência de matacões e da necessidade do desmonte secundário deve-se à não utilização da subperfuração no desmonte primário. Sugere-se a implementação da subperfuração e o estudo das consequências deste processo, que uma vez bem-sucedido resultaria na diminuição dos gastos com desmonte secundário, aumentaria a segurança dos trabalhadores e equipamentos e otimizaria as operações, sem a necessidade de readequação de praças de trabalho e de granulometria para a alimentação da usina.

**Palavras Chave:** Agregados para a construção civil. Desmonte de rocha. Análise qualitativa do desmonte de rochas.

## ABSTRACT

Mining is a large initial investment and high-risk activity, it takes a long time to obtain the expected return. The quarry mining, in particular to construction aggregate, is limited to a small marketing area of its products, affecting profit margin. The rock blasting is a very important stage, considering that run of mine do not need many steps of processing, only comminution and classification. This work aims to make a qualitative analysis of rock stripping carried out at Pedreira Abre Campo using empirical formulas. After the analysis, it can be concluded that the project data and those found in this work are similar. The requirement of secondary blast to break the boulders is due to the non-use of the subdrilling in the first blast. It is suggested to implement the subdrilling and to study the consequences of this activity, which, once successful, it should reduce costs with additional blast, increase safety of workers and equipment and optimize operations, without the necessity to readjust workplaces and size distribution to feed the plant.

**Keywords:** Construction aggregate. Rock blasting. Qualitative analysis of rock blasting.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1.1: IMAGEM DE SATÉLITE DELIMITANDO A PEDREIRA ABRE CAMPO. ....	10
FIGURA 1.2: ÁREA DE DESMONTE DA PEDREIRA ABRE CAMPO.....	12
FIGURA 1.3: MANUTENÇÃO DA PERFURATRIZ HIDROPNEUMÁTICA E COMPRESSOR AO FUNDO. ....	13
FIGURA 1.4: OPERADORES REALIZAM O CARREGAMENTO DOS FUROS COM EXPLOSIVOS. ....	14
FIGURA 1.5: BANCADA APÓS O DESMONTE PRIMÁRIO. ....	15
QUADRO 1.1: RELAÇÃO PRODUTO FINAL X PRODUÇÃO MENSAL .....	16
FIGURA 1.6: FLUXOGRAMA DO MINÉRIO DESDE A LAVRA ATÉ O PRODUTO FINAL. ....	17
FIGURA 1.7: ALIMENTADOR VIBRATÓRIO ACOPLADO AO BRITADOR PRIMÁRIO. ....	17
FIGURA 2.1: PERFURATRIZ PERCUSSIVA DE SUPERFÍCIE. ....	21
FIGURA 2.2: MALHAS DE PERFURAÇÃO. ....	22
FIGURA 2.3: EMULSÃO ENCARTUCHADA NITROMAX. ....	23
FIGURA 2.4: EXPLOSIVO GRANULADO EM EMBALAGENS DE 25KG. ....	24
FIGURA 2.5: MALHA DE PERFURAÇÃO EM BANCADA. ....	24
FIGURA 2.6: RELAÇÃO ENTRE ALTURA DE BANCO ( $H_B$ ) E AFASTAMENTO (A). ....	25
FIGURA 3.1: PLANO DE FOGO EXECUTADO NA PEDREIRA ABRE CAMPO. ....	29

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1.1: RELAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DA PEDREIRA.....	15
TABELA 3.1: DADOS DE PROJETO DA PEDREIRA ABRE CAMPO.....	28
TABELA 3.2: COMPARAÇÃO ENTRE AS FORMULAS EMPÍRICAS E OS DADOS DE PROJETO.....	28

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	10
1.1. PEDREIRA ABRE CAMPO .....	10
1.2. MOTIVAÇÃO .....	18
1.3. OBJETIVOS .....	19
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1. DEFINIÇÕES .....	20
2.2. AFASTAMENTO.....	25
2.3. ESPAÇAMENTO.....	26
2.4. SUBPERFURAÇÃO .....	26
2.5. PROFUNDIDADE TOTAL DO FURO .....	26
2.6. TAMPÃO .....	26
2.7. CARGAS .....	27
3. DESENVOLVIMENTO.....	28
4. CONCLUSÃO .....	31
REFERÊNCIAS.....	32

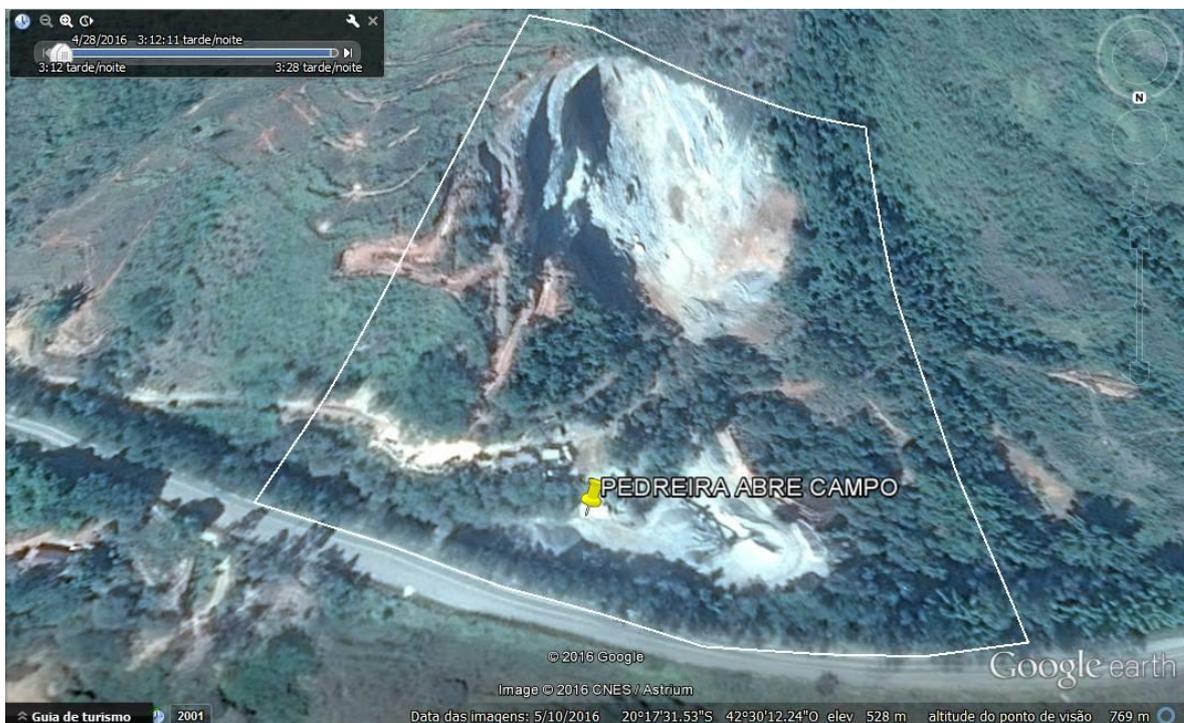
## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. PEDREIRA ABRE CAMPO

#### 1.1.1. Caracterização e localização do empreendimento

A Pedreira Abre Campo está localizada no município de Abre Campo no estado de Minas Gerais. Situa-se na BR 262 a 2,5km no sentido de Abre Campo para Rio Casca. A Figura 1.1 mostra as delimitações do empreendimento através de uma foto de satélite.

Figura 1.1: Imagem de satélite delimitando a Pedreira Abre Campo.



Fonte: Google Earth, 2017.

A pedreira de Abre Campo foi criada pelo empreendedor Geraldo Madeira Cotta e está em funcionamento há 35 anos, produzindo matéria prima para construção civil.

Atualmente a pedreira de Abre Campo atende as regiões próximas ao município em um raio de aproximadamente 100km, englobando cidades como Ponte Nova, Rio Casca, Matipó, Sericita, Pedra Bonita, dentre outras. São produzidos na pedreira, brita 0, 1, 2, 3 e 4, além de brita corrida, solobrita, pó de pedra e pedra marroada. As britas 0, 1 e 2 são fabricadas diariamente em larga escala, enquanto que as britas 3 e 4 somente por encomenda.

### 1.1.2. Geologia e características da jazida

Na região que abrange a área focalizada, situada na Província Geotectônica Mantiqueira, estão presentes, sobretudo, litologias atribuídas ao Complexo Juiz de Fora, de idade paleoproterozóica.

O complexo Juiz de Fora, na sua acepção mais recente (Projeto Leste, 2001), compreende somente rochas ortoderivadas, metamorizadas nas fácies anfibolito alto a granulito, características de cinturões granulíticos.

Este complexo pode ser dividido em três unidades:

- Unidade com predomínio de tonalitos com hornblenda;
- Unidade com predomínio de enderbitos e noritos;
- Unidade com predomínio de rochas de composição diorítica a granodiorítica com estrutura de gnaisses fitados.

O complexo Juiz de Fora inclui ainda ortognaissescharnoquíticos, com frequentes intercalações de granulitos básicos. Não são raros remanescentes de ortognaisses do embasamento arqueano.

Na região ao norte-nordeste da cidade de Manhuaçu – MG, ocorre um maciço granitoide intrusivo, de idade neoproterozóica (650 Ma), associado a Suíte Muriaé.

A foliação gnáissica no local não configura um bandamento bem desenvolvido, somente em determinadas porções do maciço descrito, observando-se, não raramente, injeções pegmatitoides discordantes cortando a rocha, o que denota a atuação de processos de remobilização migmatítica e /ou magmatismos posteriores.

O carácter homogêneo destes gnaisses, aliado a outros aspectos como a ausência de associações metassedimentares, bem como as informações da literatura, apontam no sentido de uma origem ígnea.

Localmente apresenta um material de cor predominante cinza, conforme apresentado na Figura 1.2, de boa consistência para a transformação em pedras britadas para o emprego imediato na indústria da construção civil.

Figura1.2: Área de desmonte da pedreira Abre Campo.



Uma planialtimetria detalhada da área *versus* observação da extensão do afloramento local, permitiu o traçado de uma cava final que guiasse o desenvolvimento da lavra nos anos posteriores.

Desta projeção futura da lavra calculou-se diretamente através do programa TOPOGRAPH, um volume de aproximadamente 462.150 m<sup>3</sup> de rocha gnáissica, “*in situ*” (Relatório técnico Pedreira Abre Campo, 2017).

### **1.1.3. Operação e beneficiamento de lavra**

A lavra da jazida é realizada a céu aberto, em bancadas sucessivas descendentes, com altura média de 12 metros e taludes verticais. No passado a lavra era executada em um único paredão, hoje com mais de 90 metros de altura e que vem sendo retaludado com o intuito de recortar a grande escarpa em bancadas regulares, com menores alturas individuais.

No retaludamento, ocorre a redução das forças favoráveis ao deslizamento que atuam sobre o talude e o aumento das forças de resistência ao movimento. Essa reestruturação de forças aumenta o fator de segurança do talude. Há a retirada de material da crista do talude para que diminuam os escorregamentos e o ângulo é atenuado, gerando uma inclinação de talude mais suave e mais segura (WOLLE, 1980).

O maciço apresenta uma grande porção onde a rocha granítica sã está exposta, sobretudo na cava aberta ao longo dos trabalhos de lavra anteriores.

Na parte superior do maciço granítico, existe uma camada entre 4 e 6 metros de espessura de um material intemperizado considerado como capeamento. Esse material, quando desmontado, geralmente é misturado ao fundo de pedreira e utilizado para cobrir acessos e estradas, principalmente em locais inclinados ou alagados onde melhora bem a condição de trafegabilidade em períodos de chuva.

Os bancos de lavra estão projetados com altura máxima de 12 m, larguras das bermas de serviço, durante a lavra, com um mínimo em torno de 10 m, para permitir o carregamento e tráfego entre caminhões com o mínimo de segurança. Na situação final, prevê-se bermas mínimas com 5 m de largura.

Os furos de minas (fogo primário), com 3,0 polegadas de diâmetro e profundidade de 12 m, são executados através de uma perfuratriz hidropneumática sobre esteiras PW 5000, conforme observa-se na Figura 1.3, que será acionada por um compressor estacionário ATLAS COPCO XA 360, com capacidade para 600 p.c.m., acionado com motor elétrico EBERLE de 125 CV de potência.

Figura 1.3: Manutenção da perfuratriz hidropneumática e compressor ao fundo.



A malha de perfuração média é realizada em três carreiras com espaçamento de 3,0 m e afastamento entre os furos de 2,0 m.

Os furos são carregados com uma emulsão encartuchada como carga de fundo (IBEGEL), utilizando-se um cartucho com massa aproximada de 1,40 kg, e como carga de coluna, com cerca de 30 kg/furo de explosivo granulado (ANFOMAX),

deixando-se a porção superior para o tamponamento com brita 0. Em caso de furos com presença de água, é feito o sopro do furo com um compressor de ar, e os cartuchos colocados no fundo do furo funcionam como uma vedação, impedindo que o ANFO entre em contato com a água.

Os furos serão escorvados e interligados com cordel detonante NP-5, introduzindo-se espoletas de retardo entre linhas de detonação. A iniciação será realizada através do sistema convencional espoleta/estopim. A Figura 1.4 mostra os operadores realizando o carregamento dos furos com explosivos.

Figura 1.4: Operadores realizam o carregamento dos furos com explosivos.



Os matacões que resultam do desmonte primário são reduzidos a diâmetros compatíveis com o dimensionamento do britador primário através do desmonte secundário. Este tipo de desmonte é realizado sem a utilização de nenhum tipo de explosivo, a redução dos matacões é feita de forma mecânica, através do rompedor hidráulico, acoplado a uma escavadeira hidráulica Caterpillar 320C EME.

A rocha desmontada é carregada com o auxílio de uma pá mecânica sobre rodas CASE W-36, em caminhões do MERCEDES BENZ 1113, que conduzirão o material até a instalação de tratamento mecânico, locada a aproximados 300m da

frente de lavra. A Tabela 1.1 mostra a relação dos equipamentos utilizados na pedreira Abre Campo.

Tabela 1.1: Relação dos equipamentos da pedreira.

<b>EQUIPAMENTO</b>	<b>DESTINAÇÃO</b>
<b>1 - MERCEDES BENZ 1113</b>	Caminhão pipa
<b>1 - MERCEDES BENZ 1620</b>	Caminhão basculante – produção
<b>1 - MERCEDES BENZ 2423</b>	Caminhão basculante – fretes
<b>1 - MERCEDES BENZ 2426</b>	Caminhão basculante – fretes
<b>1 - CASE W36</b>	Pá carregadeira
<b>1 - CASE W20</b>	Pá carregadeira
<b>1 - VOLVO L90 F</b>	Pá carregadeira
<b>1 - CAT 320C LME</b>	Escavadeira com rompedor 1700 Atlas
<b>1 - CASE CX 220 B</b>	Escavadeira
<b>1 - PREFURATRIZ PW 5000</b>	
<b>1 - COMPRESSOR ATLAS XA 450</b>	

Prevê-se um desmonte primário de 6.000 t/mês de rocha gnáissica, o que equivale a cerca de 2.400m<sup>3</sup>/mês, para uma densidade “*in situ*” de 2,5 t/m<sup>3</sup>.

A Figura 1.5 mostra a bancada após o desmonte primário e a presença de muitos matacões, que precisarão passar pelo desmonte secundário.

Figura 1.5: Bancada após o desmonte primário.



Após o desmonte, o material é transportado para o beneficiamento.

O beneficiamento compreende basicamente as etapas de fragmentação e classificação granulométrica do material, visando a obtenção dos diversos produtos utilizados pela indústria da construção civil, cuja relação e percentuais médios produzidos na instalação desta empresa, para uma produção de 6.000 t/mês podem ser visualizados no Quadro 1.1.

Quadro 1.1: Relação Produto final x Produção Mensal

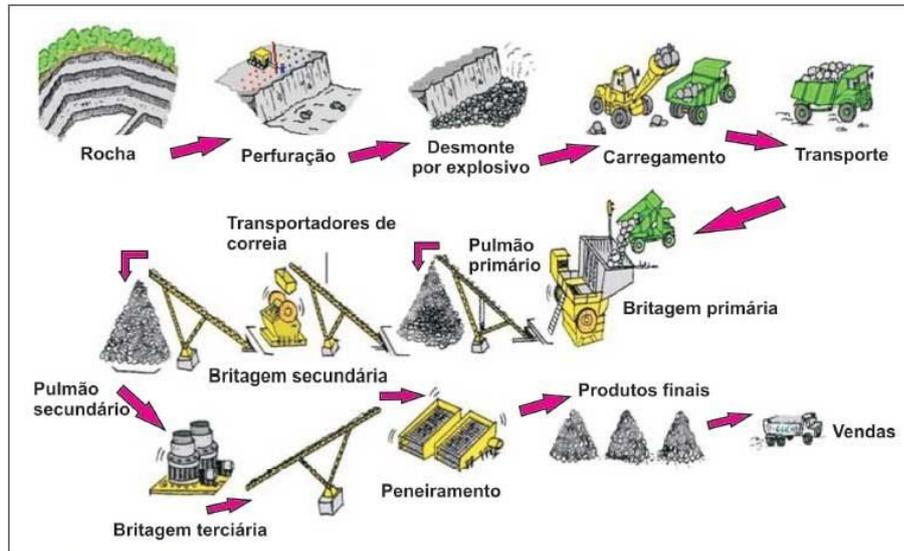
<b>Tipo</b>	<b>Produção Mensal (%)</b>
<b>BRITA 1 e 2</b>	50
<b>BRITA 0</b>	30
<b>PÓ DE PEDRA</b>	20
<b>Total</b>	100

A instalação de beneficiamento é constituída pela relação dos equipamentos:

- Alimentador vibratório 400 x 90, PIACENTINI, com motor de 12,5 HP (AV);
- Britador primário, de mandíbulas, 80 x 50, FAÇO, com motor de 75HP (BP);
- Peneira vibratória de 01 “deck” (1”), 2,00 x 1,00, FAÇO, com motor de 5 HP (PV1), com tela de 3/16”;
- Peneira vibratória de 03 “decks”, 5,00 x 2,00, PIACENTINI, com motor de 20 HP (PV3):
  - 1° “deck” – 7/8”
  - 2° “deck” – 7/16”
  - 3° “deck” – 1/4”.
- Rebritador cônico, FAÇO, modelo 90TS, com motor de 75 HP (RB);
- Transportadores de correia TC1 a TC7, com motores de 3,0 e 5 HP.

O fluxograma do minério pode ser observado na Figura 1.6.

Figura 1.6: Fluxograma do minério desde a lavra até o produto final.



Fonte: <http://www.usp.br/aun/antigo/exibir?id=6530&ed=1149&f=10>, acesso 12/02/2018.

Inicialmente, os caminhões descarregam a rocha bruta, ou ROM (“*run of mine*”) diretamente em um alimentador vibratório (AV), a partir do qual o material verte diretamente para o britador primário (BP), conforme apresentado na Figura 1.7.

Figura 1.7: Alimentador vibratório acoplado ao britador primário.



O material britado é conduzido em calha fixa para uma pilha, que em seguida é retomada através de um alimentador vibratório (AV), para um transportador de

correia (TC1), que o leva para uma peneira vibratória (PV1), de um *deck*, com tela de 3/16".

O *undersize* desta peneira, com granulometria acima de 3/16", seguirá, através de um transportador de correia (TC2) até a pilha de finos (pó).

O *oversize* desta peneira, com granulometria acima de 3/16", será despejado através de calha fixa em outro transportador de correia (TC3), que o levará para a segunda peneira vibratória (PV2), de três *decks*, com telas de 7/8", 7/16" e 1/4".

O *oversize* de PV2, com granulometria acima de 7/8", será recolhido por um transportador de correia (TC4) e levado para o rebitador cônico (RB) sendo, após rebitado, direcionado de volta para a peneira de três *decks* PV2, através do transportador de correia TC3, o mesmo do *oversize* da PV1.

Em PV2 o material será submetido à classificação granulométrica para a obtenção de diversos produtos finais, dentre eles:

- O material passante no primeiro *deck* e retido no segundo, com granulometria compreendida entre 7/8" e 7/16", será qualificado como brita 1, que será empilhada através do transportador de correia (TC5).
- O passante no segundo *deck* e retido no terceiro, com granulometria compreendida entre 7/16" e 1/4", será a brita zero, que será recuperada e empilhada por outro transportador de correia (TC6);
- O passante no terceiro *deck*, com granulometria inferior a 1/4", constituirá o produto conhecido como "pó de pedra", que também será empilhado através do transportador de correia (TC7).

## 1.2. MOTIVAÇÃO

A atividade mineral, apesar de todos os seus riscos e potencial agressão ao meio ambiente, contribui muito para o desenvolvimento da sociedade (Guimarães, 1996).

A mineração é uma atividade de grande investimento inicial e alto risco associado, demora-se um período longo de tempo para se obter o retorno esperado. Em particular, a mineração de agregados para a construção civil está limitada a um pequeno raio para a comercialização de seus produtos, interferindo na margem de

lucro dos seus produtos, sendo assim, a grande exigência para que todas as operações sejam eficientes e que os custos sejam mínimos. Para que isso ocorra, um planejamento eficiente de todas as operações de um empreendimento é essencial para se manter no mercado.

No setor de agregados para construção civil, o desmonte de rochas é uma etapa de grande importância, pois geralmente os minérios explorados não necessitam de muitas etapas de beneficiamento, passando apenas por cominuição e classificação, assim o desmonte se torna fator decisivo para a eficiência do empreendimento.

O desmonte utilizando explosivos é uma prática que gera altos riscos e custos, e quando realizado de forma ineficiente ainda gera intervenções que oneram mais ainda a operação como, desmontes secundários para eliminar matacões e para correção de pisos de bancadas.

Pensando nisso, este trabalho visa fazer uma análise qualitativa do desmonte de rochas efetuado na Pedreira Abre Campo, produzindo agregados para a construção, de forma a avaliar se essa operação está sendo executada de forma eficiente e baseando-se nos resultados obtidos analiticamente sugerir melhorias e otimizar o processo.

### 1.3. OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo principal avaliar qualitativamente a operação de desmonte na pedreira Abre Campo, de forma a fazer uma crítica sobre o processo e contribuir para o aumento da eficiência desta etapa.

A avaliação utiliza de método empírico para comparar valores referentes a malha de detonação ótima e a utilizada no dia a dia da pedreira.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De acordo com Rostami e Hambley (2011), a perfuração é uma operação muito importante na mineração e se refere a execução de furos de pequeno diâmetro, com algumas exceções. A perfuração é utilizada em operações com explosivos, para fixação de suporte de galerias, exploração, entre outras.

A perfuratriz é composta pela broca, isto é, uma haste metálica que possui em sua extremidade materiais de dureza maior que a rocha, de forma a escavar e perfurar a rocha (RICARDO E CATALANI, 2007). As perfuratrizes mais utilizadas na escavação de rocha são as perfuratrizes percussivas e rotativas.

As operações de perfuração e detonação, principalmente os gastos com explosivos, podem significar os maiores custos unitários de minas que possuem rochas muito competentes. A tendência é que a detonação seja otimizada para que esses custos diminuam (Hustrulid, 1999).

### 2.1. DEFINIÇÕES

#### 2.1.1. Perfuratriz percussiva

Nesse tipo de perfuração, a rocha é fraturada por uma combinação da rotação da broca e pelo impacto percussivo de alta frequência da broca com a rocha. Esse tipo de impacto é produzido tanto por pressão pneumática quanto hidráulica, mais comumente é utilizado um compressor de ar (Rostami e Hambley, 2011). A Figura 2.1 apresenta uma perfuratriz percussiva de superfície. A perfuratriz utilizada na pedreira Abre Campo é do tipo percussiva.

Figura 2.1: Perfuratriz percussiva de superfície.



Fonte: SME Mining Engineering Handbook, 2011.

### 2.1.2. Malha de perfuração

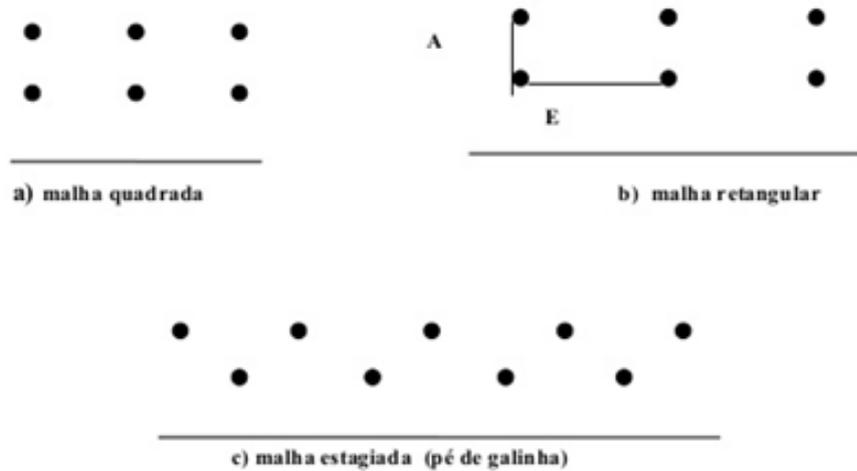
Segundo Geraldi (2011), define-se malha de perfuração como sendo área que resulta do produto das distâncias obtidas para a locação dos furos em uma frente de escavação de rocha.

Segundo Silva (2014), a geometria da malha de perfuração pode ser quadrada, retangular, estagiada, triângulo equilátero ou malha alongada.

A variação nas malhas depende do diâmetro de perfuração, do grau de fragmentação necessário, das propriedades dos explosivos e da rocha, da altura da bancada (MORAIS, 2004).

As malhas quadradas e retangulares são de fácil perfuração devido a geometria que apresentam, sendo gasto menor tempo de locomoção de furo a furo, enquanto as malhas estagiadas possuem furos alternados dificultando a perfuração, mas ao mesmo tempo apresentando uma melhor distribuição do explosivo no maciço rochoso. A Figura 2.2 exemplifica essas malhas.

Figura 2.2: Malhas de perfuração.



Fonte: Silva, 2014.

A malha utilizada na pedreira Abre Campo é a do tipo estagiada (pé de galinha).

### 2.1.3. Explosivos

Por mais que os explosivos causem vibrações, poeira e ruído, eles são de vital importância para a fragmentação primária de grandes volumes de rocha, principalmente em rochas de competência média a alta (Lusk e Worsey, 2011).

Explosivo pode ser definido como sendo um componente ou uma mistura de componentes, que quando iniciados por aquecimento, fricção, impacto ou choque é decomposto rapidamente, liberando uma grande quantidade de energia em forma de calor, gás ou onda choque. É principalmente através dessa onda de choque, mais rápida que a velocidade do som, que ocorre a fragmentação da rocha (Lusk e Worsey, 2011).

A classificação dos explosivos mais utilizada pelos órgãos regulatórios é a identificação e classificação de produtos perigosos da Organização das Nações Unidas (*Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals*, 2011).

Existem vários tipos de explosivos no mercado, alguns exemplos que foram considerados mais importantes estão apresentados nesse trabalho. Entre eles, a emulsão, que é um tipo de explosivo que consiste de microgotículas de solução oxidante supersaturada dentro de uma matriz de óleo. Com o intuito de minimizar os

custos e maximizar o rendimento energético, o nitrato de amônio é o principal constituinte dentro das microgotículas (SILVA, 2014).

A emulsão encartuchada, Figura 2.3, é um explosivo com elevado poder de ruptura, grande potência de detonação e alta resistência a água. A aplicação do mesmo é muito viável em minerações subterrâneas, desmontes subaquáticos, lavra a céu aberto e construções civis em geral (MANUAL BRITANITE, 2010).

Figura 2.3: Emulsão encartuchada NitroMaX.



Fonte: Nitrosul Explosivos, acesso em 26/07/2017.

O ANFO, Figura 2.4, é basicamente um composto de nitrato de amônia e óleo diesel, normalmente é utilizado junto com algum explosivo gelatinoso como a emulsão encartuchada, ou com um reforçador para iniciar o processo de detonação. Além disso, é comum a adição de alumínio, óxido de zinco e microbolhas de ar, que aumentam o poder do ANFO. Possui baixo custo, segurança devido à alta insensibilidade aos choques, o ANFO ocupa inteiramente o volume do furo e a presença de poucos gases tóxicos. Já as desvantagens são: não possui resistência a água, densidade muito baixa e essa necessidade de um iniciador especial (SILVA, 2014).

Figura 2.4: Explosivo granulado em embalagens de 25kg.



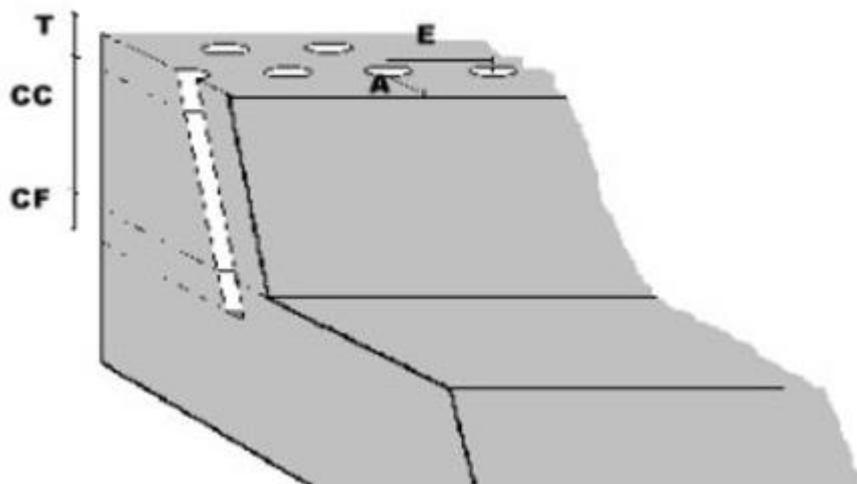
Fonte: Nitrosul Explosivos, acesso em 26/07/2017.

Para que se tenha uma seleção de explosivos eficiente, é necessário analisar aspectos como a dureza, o tipo e a natureza da rocha, se há presença de água nos furos, o diâmetro da perfuração e também os custos (RICARDO E CATALANI, 2007)

Como é apresentado na Figura 2.5, a malha de perfuração possui várias variáveis, que determinam a qualidade e a performance do desmonte (MENDES, 2012). Tais variáveis serão definidas e calculadas para a obtenção dos resultados do presente trabalho.

Figura 2.5: Malha de perfuração em bancada.

A : Afastamento; E : Espaçamento; CC : Carga de Coluna; CF : Carga de Fundo;  
T : Comprimento do Tampão.



Fonte: Mendes, 2012.

## 2.2. AFASTAMENTO

O afastamento é a menor distância entre a primeira linha de furos e a face livre ou entre duas linhas de furos. Essa é a variável que mais interfere no sucesso de um desmonte, ela pode variar de 33 a 39 vezes o diâmetro do furo, dependendo da competência da rocha e da altura da carga de fundo (SILVA, 2014).

Um afastamento mal dimensionado pode gerar riscos e problemas de produto. Sendo ele muito pequeno pode gerar excessiva fragmentação e ultralançamentos pelo excesso de energia, já um afastamento excessivo pode gerar sobreescavação nas paredes do banco, grande produção de gases, ultralançamentos, altos níveis de vibração, problemas no pé do banco e geração de muitos matacões (SILVA, 2014).

O afastamento pode ser calculado através da Equação 1, onde  $\rho_e$  é a densidade do explosivo ( $\text{g/cm}^3$ ),  $\rho_r$  é a massa específica da rocha ( $\text{g/cm}^3$ ) e  $D_e$  é o diâmetro do explosivo (mm) se for encartuchado ou diâmetro do furo se for explosivo granulado.

$$A = 0,0123 \left[ 2 \left( \frac{\rho_e}{\rho_r} \right) + 1,5 \right] \times D_e \quad (1)$$

A Figura 2.6 apresenta alguns comentários sobre a qualidade do desmonte relacionado com a razão entre a altura de bancos e o afastamento.

Figura 2.68: Relação entre altura de banco ( $H_b$ ) e afastamento ( $A$ ).

$H_b/A$	Fragmentação	Onda aérea	Ultralançamento	Vibração	Comentários
1	Ruim	Severa	Severo	Severa	Quebra para trás. Não detonar. Recalcular o plano de fogo.
2	Regular	Regular	Regular	Regular	Recalcular, se possível.
3	Boa	Boa	Bom	Boa	Bom controle e boa fragmentação
4	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Não há aumento em benefícios para $H_b/A > 4$ .

### 2.3. ESPAÇAMENTO

O espaçamento é definido como a distância entre dois furos da mesma linha, ele nunca poderá ser menor que o afastamento para que não haja uma produção excessiva de matacões (SILVA, 2014). A fórmula a ser utilizada no cálculo do espaçamento depende da altura da bancada e se retardos estão sendo utilizados ou não. Para bancadas baixas ( $H_b/A > 4$ ) e furos detonados instantaneamente indica-se a Equação 2, bancadas baixas e furos com retardo indica-se a Equação 3, para bancadas altas ( $H_b/A > 4$ ) e detonação instantânea indica-se a Equação 4 e com uso de retardos a Equação 5 (SILVA, 2014).

$$E = 0,33 \times (H_b + 2A) \quad (2)$$

$$E = \frac{(H_b + 7A)}{8} \quad (3)$$

$$E = 2A \quad (4)$$

$$E = 1,4A \quad (5)$$

### 2.4. SUBPERFURAÇÃO

A subperfuração é necessária para que não haja a formação de repé, e assim, para que o piso da bancada fique uniforme após a detonação. A subperfuração consiste em perfurar um comprimento que vai além da altura da bancada. Essa perfuração bem calculada exclui a necessidade de um desmonte secundário para corrigir bancadas, diminuindo custos e riscos (SILVA, 2014). A subperfuração é calculada através da Equação 6.

$$S = 0,3A \quad (6)$$

### 2.5. PROFUNDIDADE TOTAL DO FURO

A profundidade total do furo é geralmente maior que a altura do banco, devido a subperfuração e a inclinação do furo (SILVA, 2014). A Equação 7 apresenta a profundidade total do furo, que aumenta com a inclinação.

$$H_f = \frac{H_b}{\cos \alpha} + \left(1 - \frac{\alpha}{100}\right) \times S \quad (7)$$

### 2.6. TAMPÃO

É parte do furo que não recebe carga explosiva, recebe um material inerte do tipo terra, areia ou fragmentos de rocha que não sejam detritos de perfuração. Esse

material inerte, quando bem dimensionado e aplicado, possui a função de confinar os gases produzidos pela carga explosiva do furo, emitindo a máxima energia, controlando sobrepressão e ultralançamentos (SILVA, 2014). A Equação 8 calcula o tamanho do material a ser utilizado como tampão, 0,05 vezes o diâmetro do furo, e a Equação 9 calcula o comprimento do tampão em função do afastamento.

$$OT = 0,05D \quad (8)$$

$$T = 0,7A \quad (9)$$

## 2.7. CARGAS

### 2.7.1. Carga de fundo

Carga reforçada, localizada no fundo do furo devido a dureza encontrada em maiores profundidades. É recomendado que essa carga seja de 30 a 40% da carga total do furo, porém, esse valor poderá ser otimizado conforme as detonações forem ocorrendo. Quanto menor a carga de fundo requerida, maior será a economia com explosivos (SILVA, 2014). A Equação 10 apresenta a formula da carga de fundo em função da carga de coluna do furo.

$$CF = 0,3H_c = 0,3(H_f - T) \quad (10)$$

### 2.7.2. Carga de coluna

A carga de coluna está acima da carga de fundo, e não há a necessidade de ser tão adensada quanto a carga de fundo, pois a dureza da rocha na profundidade já é menor (SILVA, 2014). A Equação 11 mostra que a carga de coluna é a altura total do furo, menos o tampão e menos a carga de fundo.

$$CC = H_f - T - CF \quad (11)$$

### 2.7.3. Carga total do furo

A Equação 12 apresenta a carga total de explosivos presente no furo.

$$CT = CF + CC \quad (12)$$

### 3. DESENVOLVIMENTO

Devido a frequente utilização dos rompedores para o desmonte secundário dos matacões gerados por um desmonte primário ineficiente, os parâmetros de projeto e os cálculos referentes ao desmonte primário foram reavaliados analiticamente.

A rocha gnáissica varia sua densidade em torno de  $2,5 \text{ g/cm}^3$ , o diâmetro médio dos furos é de 3,0 polegadas (76,20mm) e a densidade do explosivo de  $0,856 \text{ g/cm}^3$  foi utilizada levando em consideração que 70% do furo é preenchido com VALEX GRANULADO ( $0,73 \text{ g/cm}^3$ ) e 30% da carga preenchida com IBEGEL ( $1,15 \text{ g/cm}^3$ ). Esses explosivos puderam ser utilizados pois não há presença de água nos furos. Além disso, os furos são verticais (não possuem ângulo de inclinação) e há o uso de retardos de 25m/s. Os dados inerentes ao projeto de desmonte e as características litológicas são apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Dados de projeto da pedreira Abre Campo.

<b>Dados de Projeto</b>	
Diâmetro do furo (mm)	76,20
Densidade da rocha ( $\text{g/cm}^3$ )	2,50
Densidade do explosivo ( $\text{g/cm}^3$ )	0,856
Altura da bancada (m)	12,00
Inclinação do furo	0,00
Retardos	25ms

Utilizando os dados da Tabela 2 e as Equações (1), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11) e (12), o plano de fogo da pedreira foi recalculado com o auxílio do *software* Excel. A equação do espaçamento utilizada foi a Equação 5, visto que a pedreira possui bancadas altas e faz o uso de retardos. Todos os dados calculados foram apresentados e comparados com o que é executado no dia a dia da pedreira através da Tabela 3.2.

Tabela 2.2: Comparação entre as formulas empíricas e os dados de projeto.

<b>Variáveis Plano de Fogo</b>	<b>Cálculo</b>	<b>Prática</b>
Afastamento (m)	2,05	2
$H_b/A$	5,86	6
Espaçamento (m)	2,87	3

Subperfuração (m)	0,61	
Profundidade total do furo (m)	12,61	12,00
Granulometria material tampão (mm)	3,81	12,5 – 2,36
Tampão (m)	1,43	1,50
Carga de fundo (m)	3,35	3,0
Carga de coluna (m)	7,73	7,5
Carga total do furo (m)	11,18	10,5

A Figura 3.1 apresenta uma ficha técnica de execução do plano de fogo da Pedreira Abre Campo.

Figura 3.19: Plano de fogo executado na Pedreira Abre Campo.

#### PLANO DE FOGO

<b>CORDEL NP03</b>	<b>1250 MT</b>
<b>DIN. EMULSÃO ¼"X24"</b>	<b>625 KG</b>
<b>VALEX GRANULADO</b>	<b>2125 KG</b>
<b>CONJ. MONT.ESPOLETA ESTOPIM 1.20M</b>	<b>3 PC</b>
<b>NÚMERO DE FUROS</b>	<b>54 FUROS</b>
<b>ESPAÇAMENTO</b>	<b>3,00 MT</b>
<b>AFASTAMENTO</b>	<b>2,00 MT</b>
<b>DIÂMETRO DOS FUROS</b>	<b>3' MT</b>
<b>PROFUNDIDADE DOS FUROS</b>	<b>12,0 MT</b>
<b>VOLUME ESTIMADO</b>	<b>4276,8 MT</b>
<b>TIPO DE CARREGAMENTO</b>	<b>CARGA DE FUNDO/COLUNA/TAMPÃO</b>
<b>FORNECEDOR DO EXPLOSIVO</b>	<b>TECSUL COMERCIO DE EXPLOSIVOS LTDA CR: 38821</b>
<b>SEGURANÇA DO LOCAL:</b>	<b>CARTEIRA DE BLASTER: 3474</b>
<b>RESPONSÁVEL PELO FOGO:</b>	<b>RICARDO SALGADO MADEIRA FORTES</b>

Pode-se observar que a razão entre altura de bancada e afastamento é maior que 4, como já apresentado na revisão bibliográfica no Figura 2.6, essa relação é excelente e traz como resultado um desmonte com baixo risco.

O material inerte utilizado como tampão é uma brita 0, que varia sua granulometria entre 2,36mm e 12,5mm, o que condiz com o calculado, 3,18mm.

Os parâmetros executados no dia a dia da pedreira condizem com os calculados neste trabalho, se diferenciam apenas por arredondamentos que facilitam as operações desenvolvidas na pedreira. A única divergência e a que justifica o

aparecimento de matacões e os gastos com desmonte secundário é falta da subperfuração, que não é executada nos trabalhos de desmonte, e como calculado, possui um valor considerável de 0,61 metros.

A subperfuração faz o alinhamento do pé da bancada para que os trabalhos de lavra sejam executados com maior segurança. Quando não se faz o uso da subperfuração há a ocorrência dos repés, matacões e outras irregularidades, impedindo que os equipamentos e os operadores possam transitar com segurança pela bancada, isso exige um gasto maior com uma operação de desmonte secundário para corrigir as imperfeições das bancadas.

#### **4. CONCLUSÃO**

Através das formulas empíricas utilizadas para efetuar a análise qualitativa da operação de desmonte da Pedreira Abre Campo pode-se concluir que os dados de projetos e os dados calculados neste trabalho são semelhantes. As divergências existentes decorrem apenas de arredondamentos de resultados para que os trabalhos de campo sejam executados da maneira menos onerosa, uma vez que é difícil se obter uma grande precisão durante a perfuração.

Como todos os parâmetros do desmonte que são executados na pedreira estão condizentes com o indicado pela literatura, a ocorrência de matacões e da necessidade do desmonte secundário deve-se à não utilização da subperfuração no desmonte primário. Assim, este trabalho sugere a implementação da subperfuração e o estudo das consequências deste processo, que uma vez bem sucedido poderia resultar na diminuição dos gastos com desmonte secundário, aumentaria a segurança dos trabalhadores e equipamentos e otimizaria as operações, sem a necessidade de readequação de praças de trabalho e de granulometria para a alimentação da usina.

## REFERÊNCIAS

- GERALDI, J.L.P. **O ABC das Escavações de Rocha**. Rio de Janeiro. Ed. Interciência, 2011.
- HUSTRULID, W. **Blasting Principles for Open Pit Mining**. Vol. I. A.A, Balkema, Rotterdam. 56p. 1999.
- MANUAL BRITANITE - **Guia de Utilização de Produtos**. Quatro Barras – PR, 2010.
- MENDES, M. L., **Curso de Desmonte de Rochas por Explosivos – Formação de Blaster**, 2012.
- MORAIS, J.L. **Simulação da Fragmentação dos Desmontes de Rochas por Explosivos**: Tese de doutorado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas – Universidade Federal de Minas Gerais. 2004.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, **Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals**, New York and Geneva, 2011
- SILVA, V.C. **Curso MIN112 – Operações Mineiras**. UFOP. Minas Gerais, 2014.
- RICARDO, H. S.; CATALANI, G. **Manual prático de escavação: terraplanagem e escavação de rocha**. 3. ed. São Paulo: Pini, 2007. 653 p.
- ROSTAMI, J. & D. F. HAMBLEY. **SME Mining Engineering Handbook**, Third Edition, Howard L. Hartman, Seeley W. Mudd Memorial Fund of AIME., Society for Mining, Metallurgy, and Exploration (U.S.), Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, 1992. Capítulo 7.2, 435p.
- WOLLE, C. M. **Taludes Naturais – Mecanismos de Estabilização e Critérios de Segurança**, Dissertação de Mestrado, EPUSP, São Paulo, 1980, 345p.