



UNIVERSIDADE AGOSTINHO NETO  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE MINAS



TRABALHO DO FIM DE CURSO PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE  
LICENCIATURA EM ENGENHARIA DE MINAS

**SELECÇÃO DAS SUBSTÂNCIAS EXPLOSIVAS EM FUNÇÃO DAS  
CARACTERÍSTICAS DAS ROCHAS NA MINA DO PROJECTO LUNHINGA “LUÓ”**

Elaborado por: José Agostinho João Marcos

Nº 108869

Orientador: Engº Yoandro Dieguez Garcia, Ph.D.

Co-orientador: Engº António Manuel Pedro Alexandre, Ph.D.

LUANDA – 2021



UNIVERSIDADE AGOSTINHO NETO  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE MINAS



TRABALHO DO FIM DE CURSO PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE  
LICENCIATURA EM ENGENHARIA DE MINAS

**SELECÇÃO DAS SUBSTÂNCIAS EXPLOSIVAS EM FUNÇÃO DAS  
CARACTERÍSTICAS DAS ROCHAS NA MINA DO PROJECTO LUNHINGA “LUÓ”**

Elaborado Por: José Agostinho João Marcos

Nº 108869

Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia de Minas, da Universidade Agostinho Neto, como requisito parcial para obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia de Minas.

Orientador: Engº Yoandro Dieguez Garcia, Ph.D.

Co-orientador: Engº António Manuel Pedro Alexandre, Ph.D.

LUANDA – 2021

## SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	i
AGRADECIMENTO.....	ii
RESUMO.....	iii
ABSTRAT .....	iv
CAPÍTULO I – GENERALIDADES .....	1
1.1. Introdução.....	1
1.3. Problema .....	2
1.4. Objectivo geral .....	2
1.5. Objectivos específicos .....	2
1.6. Hipótese .....	2
1.7. Metodologia científica .....	3
1.8. Definições e conceitos .....	3
CAPÍTULO II – CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA E GEOLÓGICA DO PROJECTO LUNHINGA.....	5
2.1. Localização do Projecto Lunhinga.....	5
2.2. Caracterização do Projecto Lunhinga .....	5
2.3. Vias de acesso e relevo .....	5
2.4. Clima e flora da Região .....	6
2.5. Fauna.....	6
2.6. Hidrografia .....	7
2.7. Caracterização Geológica da Região do Projecto do Lunhinga.....	7
2.8. Estrutura tectónica da região Lunda – Norte, em particular (Lunhinga).....	9
2.9. Estruturas da Formação geológica .....	9
2.10. Propriedades físicas-mecânicas das rochas. ....	11
2.11. Caracterizar o processo de arranque do Projecto Lunhinga .....	13
CAPITULO III - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
3.2. Propriedades das rochas.....	15
3.2.1. Porosidade.....	15
3.2.2. Peso volúmico .....	16
3.2.3. Permeabilidade .....	17
3.2.4. Durabilidade .....	18
3.3.1. Histórico dos explosivos.....	19
3.3.2. Explosivos industriais .....	20
3.3.3. Classificação dos explosivos .....	21

3.3.4. Propriedades dos explosivos.....	21
3.3.5. Tipos de Explosivos .....	25
3.3.6. Iniciação de explosivos .....	35
3.3.6.2. Detonador não elétrico.....	39
3.3.7. Detonadores Pirotécnicos .....	43
3.4. Equipamentos de Perfuração .....	48
3.5. Elementos geométricos do plano de fogo .....	52
<b>CAPITULO IV: RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>58</b>
4.1. Compatibilizar substâncias explosivas em função característica das rochas .....	58
4.2. Impedância da rocha e do explosivo .....	59
4.3. Pressão máxima transmitida à rocha (Ptm) .....	60
4.4. Cálculos dos parâmetros das operações de perfuração-detonação.....	61
4.5. Custo de perfuração e detonação de rocha.....	65
<b>CAPITULO V - IMPACTOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS A DESMONTES DE ROCHAS COM EXPLOSIVOS.....</b>	<b>71</b>
<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>73</b>
<b>RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>74</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>75</b>

### DEDICATÓRIA

Dedico ao meu irmão a título póstumo Nzinga Casimiro.

Aos meus pais Casimiro Marcos e Faustina Celina, aos meus irmãos e a minha família em geral.

**AGRADECIMENTO**

Agradeço primeiramente ao meu Deus todo-poderoso.

Aos meus pais pelo apoio incondicional que me deram durante essa minha trajetória enquanto estudante.

Agradeço ao meu orientador Engenheiro Yoadred Dieguez Garcia, Ph.D, agradeço pela atenção, paciência e pelas orientações, importantes para o sucesso deste trabalho.

Agradeço aos professores António Manuel Pedro Alexandre, Ph.D, co-orientador do presente trabalho pelo contributo dado.

Aos engenheiros da Maxam cpea, Eduardo Lucamba e a Gildo Pontes, pela recepção na empresa Maxam e, pelas informações dadas para o engrandecimento do presente trabalho.

A todos professores do Departamento de Engenharia de Minas, que com o seu saber, dediram o seu tempo me transmitindo os conhecimentos, o muito obrigado.

Agradeço aos meus colegas de Minas, Mecânica e Civil que o Altíssimo colocou no meu caminho para me ajudarem nessa caminhada, pelas noites passadas em clara para que tivéssemos êxito, que não foi fácil, o meu muito obrigado.

Agradeço a minha companheira, Feliciana Douela Mubalo, pelo apoio incondicional dado.

À Gilson Mangumbala e ao amigo do Faustino, pelos materias informáticos cedidos para que o presente trabalho estivesse no forma digital e física.

**RESUMO**

O desmonte com o recurso ao explosivo é uma prática recorrente na mineração, pelos resultados que se tem obtido, mas muitas das vezes tem sido muito custoso (caro), quando não se leva em consideração a característica da rocha, usando assim, quantidade mais do que necessária para desmonte de uma rocha. Neste trabalho, com o objectivo de Selecionar os explosivos em função das características das rochas, para melhorar o rendimento das explosões e minimizar os custos. Depois de se ter feito os cálculos para a compatibilização da rocha e a substância explosiva, chegou-se a conclusão que a melhor substância explosiva a ser aplicado no projecto Luinhinga é a Gelatina II e o Anfo, pela maximização do rendimento dos explosivos e consequentemente reduzir os custos.

Palavras chaves: rocha, explosivo, desmonte e custo.

**ABSTRAT**

Dismantling with the use of explosives is a common practice in mining, due to the results that have been obtained, but many times it has been very expensive (expensive), when the characteristic of the rock is not taken into account, thus using more than needed to dismantle a rock. In this work, with the objective of selecting explosives according to the characteristics of the rocks, to improve the performance of the explosions and minimize costs. After calculating the compatibility of the rock and the explosive substance, it was concluded that the best explosive substance to be applied in the Luinhinga project is Gelatin II and Anfo, by maximizing the explosives' reductions and consequently reducing the costs.

Keyword: rock, explosive, dismant e cost.

**CAPÍTULO I – GENERALIDADES****1.1. Introdução**

O desmonte através de explosivos é caracterizado por desagregar e fragmentar um maciço rochoso anteriormente existente. Isso só é possível quando os esforços gerados no desmonte superam os fatores de resistência do maciço, havendo assim a quebra.

A finalidade dessa atividade se dá, geralmente, em dois casos: remover algum material de interesse econômico e remodelar a topografia local. As áreas de trabalho que desenvolvem esta atividade são quase que exclusivamente, obras civis e operações mineiração, sendo geralmente bastante diferentes as técnicas aplicadas. Sanchidrián, 2000.

Neste trabalho, dentre os vários critérios que se levam em conta para selecionar os explosivos, abordamos a seleção dos explosivos em função das características da rocha. Procurando o melhor explosivo que se adequa com as características da rocha no projecto Lunhinga, a fim de se conseguir melhores resultados e reduzir os custos envolvidos na operação de desmonte da rocha com recurso aos explosivos.

**1.2. Descrição da Problemática**

Um das principais decisões a se tomar no projecto, diz respeito à definição do método de escavação, em presença de um maciço rochoso implica a perfuração e o desmonte com explosivos.

Na mina do Projecto Lunhinga faz-se o arranque das rochas usando explosivos, com objectivo de desagregar ou fragmenta a rocha, entretanto nem sempre são levado em conta a seleção dos explosivos em função das características da rocha. Fazendo com que não se atinjam os resultados pretendido, nalguns casos devidos as dimensões das rochas desmontadas requer que se faça um desmonte secundário.

**1.3. Problema**

Possibilidade de seleccionar os explosivos em função das características da rocha para melhorar o rendimento das explosões e minimizar os custos na mina do Projecto Lunhinga.

**1.4. Objectivo geral**

Seleccionar os explosivos em função das características das rochas, para melhorar o rendimento das explosões e minimizar os custos na mina do Projecto Lunhinga.

**1.5. Objectivos específicos**

- Efectuar a caracterização geológica e geográfica do Projecto Lunhinga.
- Caracterizar o seu processo de arranque da rocha.
- Determinar as propriedades das rochas.
- Descrever as propriedades e caracterizar as substâncias explosivas.
- compatibilizar substâncias explosivas em função das características da rocha.

**1.6. Hipótese**

Se se efectuar a caracterização geológica e geográfica do Projecto Lunhinga, caracterizar o seu processo de arranque da rocha, determinar as propriedades das rochas, descrever as propriedades e caracterizar as substâncias explosivas e fazer compatibilização das substâncias explosivas em função das características da rocha da Mina do Projecto Lunhinga então é possível seleccionar os explosivos em função do seu empenho.

**1.7. Metodologia científica**

Considerando-se o trabalho em si pode se levar em conta a classificação de pesquisa de Vergara (1990), que tem base base a qualificação em relação a dois aspectos: quanto aos fins e quanto aos meios.

Quanto aos fins, a pesquisa será de investigação explicativa e exploratória. A investigação explicativa tem como principal objetivo tornar algo inteligível, justificar-lhe os motivos e Exploratória porque visa, portanto, esclarecer quais factores contribuem, de alguma forma, para a ocorrência de determinado fenômeno. Quanto aos meios, a pesquisa será de campo e bibliográfica.

Será bibliográfica, porque as fundamentações teóricas- metodológicas do trabalho estão baseadas em literatura especializada, materiais publicados, artigos publicações, relatórios, trabalhos de fim de curso da área de exploração mineira, visita técnica nesta pedreira (observações pessoais e colheita de dados).

A pesquisa será de campo porque coletará dados, familiarizar-se com a tecnologia do processo de arranque das rochas. Quanto a abordagem é quantitativa requer o uso de recursos e técnica de estatística, procurando traduzir em números os conhecimentos gerados pelo pesquisador.

O método científico a se utilizar é o indutivo que sai do particular para o geral.

**1.8. Definições e conceitos**

Mina: área onde se explora um bem mineral. Quando a jazida passa a ser aproveitada, ela se transforma em mina podendo ser a céu aberto ou subterrânea.

Rocha: é um agregado natural composto de alguns minerais ou de um único mineral.

Pedreira: actividade mineira cujo objectivo consiste em extrair minerais para actividade de construção civil.

Minério: toda substância ou agregado mineral, rocha ou solo que pode ser aproveitado tecnicamente, pois ela contém o mineral-minério (substância mineral útil de interesse económico).

Mineral: substância natural com forma, composição química e propriedade física bem definida, que individualizam de outras espécies minerais.

Mineração: é uma actividade industrial cujo principal objectivo é a extracção das substâncias mineiras localizadas em depósitos naturais e o transporte até a central de tratamento.

Operações mineiras: são trabalhos realizados no âmbito de uma licença de exploração e que consistem na preparação e a extracção, o carregamento e transporte dentro da mina do minério bruto, bem como o seu tratamento e beneficiação.

Explosivo: é uma substancia ou conjunto de substancia que podem sofre processo de explosão, liberando grandes quantidades de gás e calor em custo espaço de tempo.

Desmonte: é a operação que consiste em separar blocos e fragmentos do maciço a que pertence através de abertura de cavidades.

Método de desmonte: é definido como o conjunto de processos utilizados para proceder ao arranque do minério do maciço, através da progressão de uma frente de trabalho.

Custos: são as despesas de uma empresa ou organização para o desenvolvimento das suas actividades.

## CAPÍTULO II – CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA E GEOLÓGICA DO PROJECTO LUNHINGA

### 2.1. Localização do Projecto Lunhinga

Projecto Lunhinga antes chamada de Luó, está situada a cerca de 75 km do Lucapa, capital da província de Lunda-Norte (ver figura 2), e a aproximadamente 80 km a norte da cidade de Saurimo, capital da província da Lunda-Sul, e dista cerca de 1300 km de Luanda, a capital de Angola, onde se situa a sede da empresa. A área diamantífera do nordeste de Angola está situada geograficamente entre os paralelos 7° 10' e 9° 00' sul, e entre os meridianos 20° 00' e 21° 50' este.



Figura 2 – Imagem da província da Lunda Norte  
Fonte: [ccmintur.gov.ao](http://ccmintur.gov.ao)

### 2.2. Caracterização do Projecto Lunhinga

Projecto Lunhinga é uma mina de diamantes com uma extensão da área de concessão é de 225 km<sup>2</sup>. O consórcio explorador é constituído somente pela empresa Endiama, como sócio maioritário.

### 2.3. Vias de acesso e relevo

O acesso à área do Projecto Lunhinga é feito por via terrestre, tanto pela via principal, que liga os municípios de Saurimo á Lucapa, bem como por vias secundárias que ligam aldeias, comunas e pelas inúmeras picadas abertas durante a fase de instalação dos objectos da Mina.

A província da Lunda Norte é essencialmente constituída por subsuperfície suavemente ondulada, quase sem grandes deformações montanhosas, podendo dizer que é uma zona autêntica peneplanície de erosão subaérea, que atinge um alto grau de regularização, enquadrando-se na orla mediana da bacia do congo representando o seu prolongamento geomorfológico natural.

A altitude baixa desde o canto SW, onde estão as nascentes dos grandes rios Kuango, Kassai etc, e onde alcançam cerca de 1.400 m a NE e para NW reduz-se até aos 700m.



Figura 2.2- via de acesso terrestre  
Fonte: ccmintur.gov.ao

#### 2.4. Clima e flora da Região

O clima da região é tropical, caracterizado por duas estações, a estação seca ou cacimbo de maio a agosto e a estação das chuvas de setembro a abril. As maiores chuvas acontecem em novembro, dezembro, março e abril. Temperatura média anual 22 °C, temperatura máxima 35 °C, temperatura mínima 12 °C. As molduras verdes das matas, da grande floresta equatorial junto dos grandes rios. O solo desfeito pelo grande volume de pluviais ou savana desacolhedora, salvo algumas modestas manchas, é coberto de vegetação rasteira. A região das Lundas, em síntese, é uma região de savanas pouco arborizada. Entretanto, a região apresenta alguns recursos florestas.



Figura 2.1- Área da Concessão coberta por savanas e arbustos  
Fonte: Angola Atlas Geográfico

#### 2.5. Fauna

A diversidade da fauna compreendem os mamíferos de grande porte, aves diversas, répteis, batráquios, peixes e numerosos grupos de vertebrados como: Antopolos, Coleópteros etc.

## 2.6. Hidrografia

A rede hidrográfica apresenta-se muito bem desenvolvida, tendo o rio Chicapa e Luó Como um dos seus maiores tributários, cujos afluentes, alimentados por inmeros sub-afluentes atravessam a região de Este para o Oeste num paralelismo frisante.

A principal rede hidrográfica abrangente a concessão, está representada pela bacia do rio Chicapa, tendo como seu afluente principal o rio Luó.

De modo geral, a mesma bacia tem uma direcção Sul - Norte, sendo que os diversos afluentes que compõem a rede hidrográfica tem direcções perpendiculares aos rios principais, ou seja, de Este para Oeste, assim como de Oeste para Este, como indica a figura 2.3.



Figura 2.3 - Hidrologia do projecto Lunhinga  
Fonte: Amando Neves de Castro

## 2.7. Caracterização Geológica da Região do Projecto do Lunhinga

A região enquadra-se na orla meridional da bacia do Congo, representando o seu prolongamento geomorfológico natural em território Angolano.

A concessão está localizada na parte central do planalto da Lunda, onde as rochas do escudo cristalino afloram somente nos vales dos rios e o resto do território está coberto por rochas da capa sedimentar.

Ao longo dos vales dos rios Luachimo e Chicapa, encontram-se grupos muito importantes de quimberlitos, dele fazendo parte às formações que encontramos na área de concessão da Lunginga, nomeadamente a chaminé Camachia, que se localiza junto à confluência dos rios Chicapa e Luó, e a chaminé Camagico que se localiza um pouco a sul do rio Luó.

A chaminé Camachia foi descoberta no início dos anos 60, situa-se no fundo do vale do rio Chicapa e sofre directamente os efeitos da erosão pelo seu curso.

Cerca de 50% da área do corpo mineralizado está coberto por sedimentos aluviais de pouca espessura, e o restante por areias do tipo Calaári. As rochas encaixantes da chaminé são do tipo migmatito-gnáissicas do arqueano inferior e as rochas vulcanogêneo-sedimentares da cratera encontram-se substancialmente erodidas, a espessura mantida pelas rochas da cratera é da ordem dos 100 m.

A chaminé Camachia tem forma mais ou menos circular, com um diâmetro de cerca de 650 metros e cerca de 30 hectares, sendo a sua morfologia composta por rochas de duas fácies genéticas principais, a hipabissal-eruptiva e a crateral, representada a primeira por quimberlitos porfíricos intrusivos e brechas quimberlíticas autolíticas explosivas e as segundas por formações sedimentares de origem vulcânica com inclusões de material quimberlítico, compostos por tufitos, argilas tufáceas, tufos diversos, conglomerados tuffísticos, brechas tufáceas e depósitos sedimentares de granulação diversa.

Na chaminé Camagico foram efectuados alguns estudos preliminares, o quimberlito é de forma lenticular com aproximadamente 1000 metros de comprimento para nordeste por 400 metros de largura. Prevê-se a ocorrência de quimberlito porfírico à profundidade de 100 metros com reservas de aproximadamente 1,5 milhões de metros cúbicos de minério e cerca de 2,4 milhões de quilates de diamantes.

Foram identificados na área de concessão da Luó os quimberlitos Lunhinga I, Lunhinga II, Carambala, Samuchito e Cula.

No que concerne à prospecção, apenas 30% do território concedido está em condições de ser prospectado. Todos os trabalhos realizados até 1975 foram baseados em testes feitos com sedimentos de territórios em boas condições para prospecção, assim teoricamente 70% do território concedido ainda não foi prospectado na sua totalidade para a detecção de novos quimberlitos.

Em 1997, foi efectuado um levantamento aeromagnético de uma área de 323 km<sup>2</sup> à escala 1:25000, cujos mapas sobre gradiente magnético encontram-se no arquivo da Luó-SMCC. Esta informação poderá ser usada para detectar as anomalias que, com posterior sondagem, poderão levar à descoberta de novos quimberlitos.

Em 2003, a Luó-SMCC efectuou trabalhos de campo de prospecção magnética à escala 1:10000 e 1:5000 numa área total de 16,9 km<sup>2</sup>. Nesta amostra foram detectados 13 anomalias magnéticas com perspectivas de se descobrirem novos quimberlitos.

Tendo em conta que o levantamento efectuado cobriu apenas 7,5% do território, podemos inferir da existência de cerca de 100 anomalias magnéticas na área, com perspectivas de se descobrirem quimberlitos.

### **2.8. Estrutura tectónica da região Lunda – Norte, em particular (Lunhinga)**

Está sobre o fundamento cristalino de Cassai na parte Oeste e esta vai dar ao limite da parte baixa da bacia do Congo da idade Mezo – Cenozóico.

As mais ricas chaminés kimberlíticas, localizam-se no nordeste do território angolano. Esta região do país foi fortemente afectada pelo tectonismo. Como consequências geraram diversas estruturas formadas directamente dos eventos tectónicos e outras influências das mesmas formações. Segundo Monforte A. (1970), a porção angolana da plataforma africana, apesar de estável desde o final do ciclo Panafricano, passou durante o Pré-Câmbrico varias etapas de cratonização que ficam bem assinalada principalmente através das faixas de dobramento que bem datada por método isotópico de idade comum a vários pontos do globo.

A região angolana é a que mais cedo sofreu a cratonização, foi no nordeste do país, concretamente nas regiões das lundas, fazendo parte do escudo Cassai. Actualmente está parcialmente por sedimentos recentes.

Partir do Faraenozoico, a tectónica que afecta o nosso país é do tipo epirogénico, responsável pela formação de importante estrutura morfo-tectonica como o Horst do Kwanza, corredor do Lucapa, que é o principal responsáveis pelas intrusões que verificam-se principalmente na região das lundas.

As principais fases erogenicas que afectam o Angola são:

Eruginias eburneana (2600-1650 m.a), responsável pela estrutura do Proterozoico inferior e pela formação crusta continental estável;

Erogenia Kibariano- Katangoiana (1650-570 m.a), responsável cobertura da plataforma e pela reativação tectónico-magmatica no Feriano tardio.

### **2.9. Estruturas da Formação geológica**

- Estrutura Arcáico inferior, do complexo magmático e rochas metamórficas do grupo Lunda e Luana
- Estrutura Arcáico superior composto por rochas Proterozoicas, Paleozóicas, Mesozóicas e Cenozóico.

Rochas Gnaissicas meteorizadas do arcaico inferior da região do Projecto Lunhinga expostas à superfície e ao longo dos declives dos rios grandes em particular do Rio Chicapa que percorre a região da Lunhinga.

Rochas magmáticas e metamórficas de alteração elevada, como a mica, gnaisse, anfibolito, granito, quartzitos etc. encaixadas dentro das rochas sedimentares.

### **Estrutura Arcaico inferior**

As rochas arcaicas estão subdivididas em dois grupos de idades diferenciadas: arcaico inferior e arcaico superior, separados por limites de idade de 3000 a mais ou menos 100 m.a. As rochas do arcaico são características de metamorfismo de alto grau, correspondentes as fácies Anfibolíticas, Granolíticas do metamorfismo regional

As rochas do arcaico inferior são as mais antigas em Angola, representadas por rochas metamórficas e intrusivas, que afloram na área dos escudos designados anteriormente por complexos de base.

As rochas metamórficas do arcaico inferior estão formadas por gnaisses variados (bipiroxénicos, biotíticos e outros), xistos, anfibolito, e mais raramente por eclogitos, quartzitos, leptitos e quartzitos ferruginosos. Todas estas rochas são distribuídas a faxe granulítica, do anfibolíticas, do metamorfismo regional.

O arcaico inferior está subdividido em dois grupos diferenciado que são:

- O grupo inferior
- Grupo superior

### **Grupo inferior**

Este grupo está representado por granulito, com hipertena e xisto cristalino, gnaisses de composição básica, Eclogitos, Anfibolito e quartzitos. Entre as rochas ultrametamórficas a eles associados assinalam-se os Enderbitos, Charnoquitos, plágio-granitos e plano-migmatitos, Migmatitos de composição diorítica e granodiorítica e tonalitos com piroxenas.

Na Lunda norte o grupo inferior, aflora principalmente nos vales do rio Chicapa, Luachimo Chiumbe, Luembe e Cassai, mais raramente nos vales dos rios Uamba, Cuango, e nos últimos fluentes da margem direita, dos rios Lulo e Luó.

### **Grupo superior**

Este grupo predomina as rochas ultras metamórficas, aparecendo às rochas metamórficas, regra geral, sob a forma de Xenólitos e Esquiólitos relativamente pequeno. As rochas metamórficas, estão representadas por variedades leucocráticas e, em menor grau, leuco mesocrática de plagiognaisse Biotíticas ou Anfibolíticas.

As rochas ultrametamórficas estão representadas por migmatitos, tonalito, granodioritos e granitos. Na província da Lunda Norte as rochas, do grupo superior apresentam-se bastante desenvolvidas. Os maiores afloramentos podem ser vistas nos vales dos rios Lóuva, Luachimo, Chicapa, Chiumbe e Luembe.

### **Estrutura Arcaico superior**

No escudo Cassai, as rochas do arcáico superior foram localizadas, em áreas relativamente reduzidas, nos vales dos rios Chicapa, Luachimo, Luembe e na ajusante do rio Cassai. São constituídas por quartzitos, xisto de composição variada, e anfibolito. Os quartzitos contendo por vezes distenas em quantidade consideráveis. Também encontram-se camadas relativamente possantes de xisto, quatzo-moscoviticose outros, aparecendo também corpos Anfibolíticos.

Estrutura Arcaico superior composto por rochas Proterozoicas, Paleozóicas, Mesozóicas e Cenozóico.

### **2.10. Propriedades físicas-mecânicas das rochas.**

Na área da chaminé Camatchia destacam-se depósitos de fechamento, rochas encaixantes e minérios industriais.

#### **Depósitos de fechamento**

Os depósitos de fechamento estão representados no território da chaminé pelos solos aluviais e delúvio-eluvias, cuja possança varia de 0,5 até 15 metros. São predominantemente solos argilosos que contêm produtos de erosão eólica dos granitos-gnaisses e também materiais re-depositados das rochas sãs. Verifica-se peculiaridade de presença das inclusões da sarrisca dos granitos-gnaisses nos depósitos argilosos, e a percentagem dos mesmos crescendo bruscamente com a profundidade nas áreas da crosta de erosão eólica do maciço rochoso. A consistência do referido tipo dos depósitos, entretanto não é alta, tornando possível a mineração dos mesmos sem aproveitamento das operações de perfuração-detonação.

**Rochas encaixantes**

As rochas encaixantes dispersas, vêm representadas pelo aluvião dos gnáisses e granitos-gnáisses, alterados por meio da erosão eólica até solos argilosos com inclusões da sarrisca até 40% e solos tipo sarrisca (brita) com ou sem material de enchimento argiloso-arenoso. O peso volumétrico do referido tipo das rochas varia de 2,11 a 2,49 g/cm<sup>3</sup>. A consistência do referido tipo dos depósitos não é alta, existindo possibilidade de escavações sem aproveitamento das operações de perfuração-detonação.

As rochas encaixantes sólidas, vêm representadas pelos gnáisses e granitos-gnáisses. O maciço rochoso é desigual, existindo áreas tocadas com lixiviação química e processo de erosão eólica, bem como blocos dos dioritos muito duros e trechos de formação do quartzo em filões.

**Minérios**

Os minérios no jazigo Camatchia estão representados pelas rochas magmáticas vulcanogêneas, a saber: kimberlitos porfíricos magmáticos, brechas kimberlíticas, bem como pelas brechas vulcanogêneas sedimentárias, greses e aleurolites.

Os kimberlitos porfíricos magmáticos ocorrem no centro do jazigo, formando corpo esférico, a consistência da rocha no qual cresce mais para a sua parte central. Os kimberlitos magmáticos porfíricos são desiguais por sua composição e têm diversos graus de resistência.

Os kimberlitos porfíricos pouco sólidos, tocados pelos processos de erosão eólica, estão difundidos na parte sudoeste do jazigo, assim sendo acomodados pela periferia do corpo minério. Ao entrar em contacto com água os kimberlitos alterados pela erosão eólica amolecem-se e estratificam-se. O carregamento de tais kimberlitos pode ser realizado sem aproveitamento das operações de perfuração-detonação.

Os kimberlitos porfíricos de solidez média estão abertos no centro do jazigo praticamente desde a superfície até a profundidade de 150 m. A sua solidez é muito mais alta, a estrutura destas rochas é fissurada, no contacto com água o amolecimento é fraco. O desmonte deste tipo do kimberlito porfírico requer uso de escarificação preliminar com a ajuda do bulldozer com ripper ou aproveitamento das operações de perfuração-detonação.

Os kimberlitos porfíricos sólidos vêm difundidos no centro da área sudoeste do jazigo praticamente a partir da superfície até a profundidade de 80 m. A solidez dos mesmos é bastante alta, com o factor de resistência atingindo 11, segundo a classificação do

Protodiakonov. O carregamento dos referidos kimberlitos requer aproveitamento das operações de perfuração-detonação.

As brechas magmáticas kimberlíticas, dentro dos confins do jazigo, são divididas em brechas autolíticas kimberlíticas (AKB) e brechas kimberlíticas. As AKB ocorrem nas partes sudoeste e central do jazigo debaixo do maciço kimberlito, a profundidade de ocorrência da capa da AKB desce no sentido do centro do jazigo desde 40-60 até 100-150 metros. Nas partes sudeste e nordeste do jazigo a massa da AKB vem fechada pelos depósitos vulcanogêneos sedimentários de possança de 30 até 70 metros. As características de resistência das brechas autolíticas kimberlíticas destacam-se por uma variabilidade importante pela profundidade e extensão, e são condicionadas pelo número das inclusões xenolíticas dos gnáisses de diversos graus de solidez.

As brechas vulcanogêneas- sedimentárias, os greses, aleurolitos e outras rochas vulcanogêneas - sedimentárias – são difundidos principalmente nas partes centrais e nordeste do jazigo. Sua possança aumenta-se no sentido nordeste desde 30 m no centro até 120 m nos limites norte e leste do jazigo.

### **2.11. Caracterizar o processo de arranque do Projecto Lunhinga**

O processo de escavação (arranque) na mina do Lunhinga consiste na retirada de material de um maciço rochoso, produzindo uma abertura, cuja sua forma depende dos processos operacionais. Existem dois objetivos principais quando se trata de escavação de rocha: abertura de espaços para fins diversos e obter material de valor econômico inerente.

Uma série de metodologias, técnicas de escavação com explosivos ou com os auxílios mecânicos, instrumentações e serviços auxiliares necessários para escavar, desmontar, fragmentar ou cortar os maciços e blocos rochosos, atendendo produção de minérios para fins industriais, denomina-se “Escavações ou desmonte de rochas”. De acordo com a formação geológica do local do empreendimento, incluem-se desde as escavações mecânicas em mantos provenientes da alteração de maciços rochosos ou em sedimentos não consolidados, chegando até as escavações em maciços mais resistentes, formados por rochas alteradas e sãs.

O rebentamento das rochas encaixantes efetua-se com a ajuda das substâncias explosivas como Riogel e Amunita. Os sistema de iniciação Cordão detonante no invólucro de policloruro de vinilo, destina-se para a transmissão da detonação para as cargas em poço, a partir de cápsula detonadora.

Relés pirotécnicos de acção bilateral com graus de retardo 20, 30 e 50 milissegundos. Destinam-se para os efeitos de amortização do impacto da onda de choque de explosão, bem como para asseguramento da desintegração uniforme da rocha a explodir.

5. Cápsula detonadora – transmite detonação através do cordão detonador para as cargas de poço.

Rastilho no entrançamento plástico - inicia detonação da cápsula detonadora com a ajuda do fluxo de fogo. Assegura retirada segura da equipa de detonação para fora do bloco a ser explodido. A velocidade de combustão do rastilho é de 0.8-1.0 metros por segundo.

## CAPITULO III - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 3.1. Rochas

As rochas são então constituídas por grãos minerais sólidos interligados e por descontinuidades ou vazios existentes entre esses grãos. As propriedades da matriz rochosa dependem, assim, das características destes grãos (mineralogia), sendo muito influenciadas pelo tamanho e arranjo espacial dos grãos minerais (estrutura ou textura da rocha) e também pela forma, quantidade e distribuição das descontinuidades ou vazios.

A determinação da composição mineralógica das rochas conduz, juntamente com a sua textura, tamanho dos grãos, cor, e outras propriedades, à sua classificação geológica (ver tabela 3).

**Tabela 3- Principais grupos de rochas**  
**Fonte: Mecânica das Rochas / por Manuel Rocha**

Rocha ígneas	Família dos granitos	Granito, sienitos, riólito, traquito etc.
	Família dos dolomitos	Diorito, andesito etc.
	Famílias dos basaltos e gabros	Gneisse, corneanas, quartzitos, mármore etc.
Rochas metamórficas	R. metamórficas massivas	Gneisse, corneanas, quartzitos, mármore etc.
	R. metamórficas xistosa	Xisto, micaxistos, ardosias, xisto mosqueados
Rochas sedimentares	R. Sedimentares carbonatadas	Calcários, cré, dolomias, travertinos etc.
	R. Sedimentares siliciosas	Grés, arenitos, conglomerados etc.
	R. Sedimentares carbonatadas-siliciosas	Margas, grauvaques

### 3.2. Propriedades das rochas

#### 3.2.1. Porosidade

As descontinuidades representam os defeitos ou vazios existentes no meio contínuo formado pelos minerais constituintes da matriz rochosa. A presença e o desenvolvimento destes vazios estão estreitamente relacionados com a deformação e a rotura das rochas.

A quantidade de vazios é avaliada pela porosidade (P) que é a razão entre o volume de vazios ( $\gamma_v$ ) de uma amostra de rocha e o seu volume total ( $\rho$ )

$$P = \frac{\rho - \gamma_v}{\rho} * 100; \% \quad (3)$$

A porosidade é normalmente expressa em percentagem considerando-se para as rochas 10% como um valor médio, 5% um valor baixo e 15% um valor alto. Os vazios são constituídos pelos poros e fissuras da rocha e não estão necessariamente todos interligados. Por esta razão, são por vezes definidos dois tipos de porosidade para as rochas: a total e a efectiva, esta última correspondente ao volume de vazios acessíveis à passagem de fluidos, normalmente a água.

A uma escala maior, para os maciços rochosos, podemos ainda distinguir a porosidade primária correspondente ao volume dos poros entre os fragmentos das rochas clásticas e a porosidade secundária produzida pela fracturação e alteração posteriores da rocha. A primeira é característica de toda a massa rochosa e a segunda depende da história de alteração da rocha, podendo variar muito dependendo do mesmo.

**Tabela 3.1- Valores da porosidade de solos e rochas**  
**Fonte: Mecânica das Rochas / por Manuel Rocha. – Lisboa**

Tipo de rocha ou solo	Porosidade máxima %
Solo	>50
Areias e seixo argila	20-47
Argila	>49
Areia cimentada	5-25
Arenito	10-15
Calcário e mármore	5
Calcário oolítico	10
Cré	Ate 50
Rochas ígneas	< 1,5
Rochas magmáticas	Geralmente baixa

### 3.2.2. Peso volúmico

Peso volúmico ou peso específico ( $\gamma$ ) é o peso da unidade de volume da rocha (ver tabela 3.2). Atendendo à variabilidade da quantidade de água presente na rocha considera-se o peso volúmico seco ( $\gamma_d$ ) da rocha como um parâmetro mais representativo.

$$Y = \frac{W}{V} \quad (3.1)$$

$$Y_d = \frac{W}{V} \quad (3.2)$$

Onde:

W – Peso total da amostra de rocha,

Ws – Peso total da amostra de rocha seca na estufa

V – Volume total da amostra de rocha

**Tabela 3.3 - Valores do peso volúmico seco de algumas rochas**  
**Fonte: Profa. Jisela Aparecida Santanna Greco**

Rocha	$Y_d$ (KN/m <sup>2</sup> )
Granito	26,0
Diorito	27,9
Basalto	27,1
Sal- gema	20,6
Calcário denso	20,9
Argilito	22,1
Xisto argiloso	25,7
Mármore	27,0
Micaxisto	27,6

### 3.2.3. Permeabilidade

A facilidade de escoamento da água através de um meio contínuo é avaliada através do coeficiente de permeabilidade. A permeabilidade das rochas, em comparação com a dos solos, é geralmente muito baixa. O seu valor cresce sensivelmente com a fissuração e o grau de alteração

O estado de tensão na rocha influencia consideravelmente a sua permeabilidade. O aumento das tensões de compressão provoca o fecho das fissuras e a diminuição da permeabilidade, mas, a partir de certo limite, o aumento das tensões pode iniciar o aparecimento de novas fracturas provocando o aumento da permeabilidade. A variação da permeabilidade da rocha pode também variar com a pressão da água que circula nos seus vazios e descontinuidades: o aumento da pressão da água tende a abrir as fissuras aumentando a permeabilidade.

### 3.2.4. Durabilidade

A durabilidade é a resistência da rocha aos processos de alteração e fragmentação sendo também conhecida por alterabilidade. O contacto da rocha com a água e o ar, muitas vezes através de obras de engenharia civil como escavações e terraplenos, pode ocasionar a degradação das suas características mecânicas.

$$I_D = \frac{\text{Peso seco depois de um ou dois ciclos}}{\text{peso inicial}} \quad (3.3)$$

### 3.2.5. Velocidade de ondas sísmicas

As propriedades elásticas das rochas são determinadas por um lado pela elasticidade dos minerais que as compõem e por outro lado pela importância e pela morfologia das descontinuidades, nomeadamente fissuras e fracturas. Em particular, as velocidades de propagação das ondas sísmicas longitudinais,  $V_l$  ou  $V_p$  (ondas de compressão), e das ondas transversais  $V_s$  variam significativamente com a presença de descontinuidades.

A realização de ensaios, não destrutivos, para determinação destas velocidades em provetes, que vão ser submetidos posteriormente a ensaios de compressão uniaxial, é muito frequente existindo vários métodos que permitem a determinação dos valores quer da velocidade de propagação das ondas longitudinais ( $V_p$ ), quer das ondas transversais ( $V_s$ ). Conhecidos estes valores, torna-se possível determinar as características elásticas dinâmicas através das seguintes expressões:

Módulo de elasticidade longitudinal

$$E_d = \frac{\rho * V_s^2 * (3V_p^2 - 4V_s^2)}{(V_p^2 - V_s^2)} \quad (3.4)$$

Módulo de elasticidade transversal

$$G_d = \rho V_s^2 = \frac{E_d}{2(1+\nu_d)} \quad (3.5)$$

Coefficiente de Poisson

$$U_d = \frac{(V_p^2 - 2V_s^2)}{2*(V_p^2 - V_s^2)} \quad (3.6)$$

( $\rho$  representa massa específica)

### 3.3. Substância explosiva

Após a furação, os furos são carregados com explosivos, sendo o fogo iniciado pela detonação de um explosivo iniciador no interior da massa de explosivos introduzida nas perfurações.

#### 3.3.1. Histórico dos explosivos

1. China: pólvora usada como pirotécnico. Mais tarde como propelente de projéteis (primeiros canhões).

2. 1354 DC: monge Shwartz: mistura explosiva semelhante à pólvora, usada para fins bélicos: morteiros, bombardas, etc.

3. 1847: Nitroglicerina (Ascanio Sobreno). Explosão muitas vezes maior que a da pólvora, mas é perigosa com movimentos bruscos ou atrito.

4. 1863: Alfred Nobel misturou Kieselguhr (base inerte absorvente) à Nitroglicerina, criando a Dinamite: explosivo com boas condições de segurança.

5. 1923, cidade de Oppan (Alemanha): ao dinamitar uma partida de Nitrato de Amônio empedrada pela umidade, provocou-se enorme explosão.

6. De outro acidente nasceu o ANFO (Ammonium Nitrate and Fuel Oil) mistura de Nitrato de Amônio e Óleo Diesel, quando o choque de um navio, carregando os dois produtos, resultou em incêndio seguido de violenta explosão que arrasou o Porto do Texas.

7. 1958: Surgem as Lamas Explosivas: tipo de explosivo que tem água como principal componente. A água possibilita a elaboração de uma solução que assume a consistência de um gel, no qual ficam em suspensão os componentes explosivos sólidos, como o nitrato de amônio e o nitrato de sódio. O gel confere à lama explosiva alta resistência à água. Pela enorme quantidade de energia útil desenvolvida, apresentam grande capacidade de trabalho na ruptura de rochas e materiais duros em geral.

As lamas podem ser produzidas em fábrica ou no próprio canteiro de obras. Se produzidas em fábrica, são apresentadas em cartuchos plásticos, geralmente de 24” de comprimento e diâmetro a partir de 2”. As lamas produzidas no próprio canteiro são bombeadas para dentro das perfurações por meio de caminhões dotados de bombas.

A existência de fraturas ou falhas significativas na rocha poderá ser um empecilho à utilização da lama explosiva bombeada, pois provocarão a fuga da lama (Jisela Aparecida Santanna Greco)

### 3.3.2. Explosivos industriais

São substâncias ou misturas de substâncias que quando excitadas por algum agente externo, são capazes de decompor-se quimicamente gerando considerável volume de gases a altas temperaturas.

Estas reações de decomposições podem ser iniciadas por:

- Agentes mecânicos (pressão, atrito, impacto, vibração, etc.)
- Acção do calor (aquecimento, faísca, chama, etc.) ou ainda
- Acção de outro explosivo (espoletas ou outros iniciadores)

É o caso da moderna lama explosiva, que é misturada no próprio local de consumo e bombeada para dentro dos furos na rocha, somente alguns segundos após o lançamento da mistura dentro dos furos (tempo necessário para a complementação da reação química) o produto torna-se uma substância explosiva.

#### Reações química de explosivos

Segundo SPEL, podem verificar-se 3 tipos de reacções químicas num explosivo: de combustão, deflagração e detonação.

#### Combustão

É uma reação química, a baixa velocidade, entre o explosivo (material combustível) e o oxigénio, decompondo-se em gases e resíduos sólidos. Esta reacção tem lugar a uma velocidade de poucos metros por segundo (Ex. Combustão do carvão).

#### Deflagração

É uma combustão que se propaga por condutividade térmica. O processo é o seguinte: uma partícula da substancia ao combustar aquece as partículas vizinhas, cujas temperaturas crescem. A partir de um certo valor de temperatura, há uma auto-inflamação de cada uma das partículas que combustando, por sua vez aquecem outras partículas assim por diante. A velocidade de propagação varia normalmente entre os 100 e 1000 m/s.

#### Detonação

É igualmente uma combustão explosiva mas que se propaga pela associação de dois fenómenos que se interligam mutuamente, um físico (onda de choque) e outro químico (recção de combustão).

### 3.3.3. Classificação dos explosivos

Segundo a Jisela Aparecida Santanna Greco, os explosivos são classificados basicamente em três categorias, que são: explosivos primários ou iniciadores, explosivos secundários ou altos explosivos e alguns materiais podem atuar tanto como primários como secundários em um processo de detonação.

#### **Explosivos Primários ou Iniciadores**

São materiais utilizados nos processos de iniciação dos explosivos propriamente ditos: Espoletas, Cordéis Detonantes.

Os mais usados industrialmente são: Azida de Chumbo, Estifinato de Chumbo, Fulminato de Mercúrio, Nitropenta etc.

Não têm força para detonar a rocha, apenas para iniciar a explosão. Muito sensíveis.

**Explosivos secundários ou Altos explosivos:** São os explosivos propriamente ditos ou explosivos de ruptura. São mais estáveis que os explosivos comuns necessitam de uma maior quantidade de energia para iniciar o processo de detonação, energia esta geralmente fornecida pela ação direta da detonação de um explosivo primário. É o caso das Dinamites, Gelatinas, Anfos (mistura de Nitrato de Amônio e Óleo Diesel), Lamas, etc.

#### **Alguns materiais podem atuar tanto como primários como secundários em um processo de detonação**

É o caso da Nitropenta que no Cordel Detonante atua como explosivo primário ou iniciador e em cargas especiais (cargas de demolição) atua como secundário. Detonam com velocidades de 2500 a 7500 m/s, com pressões de até 100 000 atmosferas.

### 3.3.4. Propriedades dos explosivos

#### 3.3.4.1. Força

Traduz a quantidade de energia liberada pela comparação com a energia liberada por uma gelatina composta de 92% de nitroglicerina com 8% de nitrocelulose, e expressa como percentagem em relação a este padrão. Outro padrão utilizado é o nitrato de amônio.

#### 3.3.4.2. Velocidade de detonação (VOD)

A velocidade de detonação (VOD) de um explosivo é a velocidade na qual a reação se propaga através do explosivo, e em desmorte, isto significa ao longo da coluna de explosivo no furo.

Cada tipo de explosivo tem sua própria velocidade de detonação, que depende dos seus componentes químicos, densidade, confinamento e diâmetro da carga.

Em velocidade de detonação é habitualmente expressa em metro por segundo (m/s) e varia normalmente entre 2000 (m/s) e 8000 (m/s). Manual da Atlas Powder (1987) sugere que explosivos de alta velocidade são ideais para rochas duras e os de baixa velocidade oferecem melhores resultados em formações mais macias.

### 3.3.4.3. Pressão de detonação (PD)

A pressão de detonação é a pressão dentro da frente de detonação, ou seja, é a pressão da onda de detonação durante a viagem ao longo da carga explosiva (ver figura 3). Esta pressão é a principal responsável pela geração de uma onda de choque na rocha que circunda a carga explosiva.

A magnitude desta onda reflete a energia de choque do explosivo e é o seu efeito que causa a fratura da rocha (Cameron & Hagan, 1996).

$$PD = \frac{\rho_e \times (VD)^2}{4} \quad (3.7)$$

PD - pressão de detonação (kPa).

$\rho_e$  - massa volúmica da substância explosiva (kg/m<sup>3</sup>).

VD - velocidade de detonação (m/s).



Figura 3- Processo de detonação de um explosivo.  
Fonte: Atlas Powder company, 1887.

#### 3.3.4.4. Densidade (d)

Quanto maior a densidade maior a concentração em um furo maior a fragmentação da rocha. A densidade é um dos parâmetros a ter em conta no momento do carregamento de um furo que possua água no seu interior, pois explosivos com boa resistência a água e de densidade inferior a 1 (um) flutuam, o que não acontece para explosivos com densidade superior a 1 (um). A densidade dos explosivos comerciais varia de 0,60 a 1,45 g/cm<sup>3</sup> e é determinada por sua composição, tamanho de grão e a densidade dos componentes (Clark, 1980).

#### 3.3.4.5. Segurança no Manuseio

Capacidade de resistir à explosão ou projétil (tiro), onda de choque, descarga elétrica, etc. Define forma e tipo de transporte, armazenagem, etc.

#### 3.3.4.6. Resistência à água

Alguns explosivos, como os de nitrato de amônio, não detonam quando molhados. Por isso é necessário saber se há água nos furos, para a escolha do explosivo. De um modo geral, as dinamites têm grande resistência à água, ao passo que os explosivos à base de nitrato de amônio não a têm, ou tem pouca resistência à água. A resistência à água é medida pelo número de horas que o explosivo pode ficar submerso e ainda assim iniciar com eficiência e detonar completamente com a espoleta. Quanto à resistência à água, os explosivos industriais podem ser classificados como tendo:

- Nenhuma resistência à água.
- Boa resistência à água - não perde sua sensibilidade mesmo quando submersos por um período de até 24 horas em condições de pressão hidrostática de até 3 atmosferas.
- Ótima resistência à água- Desenvolvem seu trabalho normal dentro de um intervalo de 72 horas de submersão em condições de pressão hidrostática de até 3 atmosferas.

Quanto à resistência à água, os explosivos também são divididos em classes (ver tabela 3.3).

**Tabela 3.3 - Resistência a água dos explosivos**  
**Fonte: Profa. Jisela Aparecida Santanna Greco**

Classe	Resistência à água (horas)
1	Indefinida
2	32 a 71
3	16 a 31
4	8 a 15

5	4 a 7
6	1 a 3
7	Não resiste

### 3.3.4.7. Sensibilidade

Segundo a SPEL, sensibilidade explosiva é entendida como a maior ou menor quantidade de energia que necessita para iniciar a sua explosão. Podemos considerar vários tipos de sensibilidade, umas que podem ser “favoráveis” e outras “desfavoráveis”.

Sensibilidade “favoráveis”

- Sensibilidade ao detonador
- Sensibilidade a ondas de choque

Sensibilidade “desfavoráveis”

- Sensibilidade ao choque
- Sensibilidade a fricção

Sensibilidade “favoráveis”

Sensibilidade ao detonador

Regra geral todos os explosivos indústrias necessitam, para a sua iniciação, da detonação de um explosivo de potência superior. Este explosivo, primário ou iniciador, está colocado num detentor, ou no cordão detonante, consoante o tipo de iniciação que se pretende.

Sensibilidade a ondas de choque

Este tipo de sensibilidade tem a ver com a distância máxima a que um cartucho com detonador consegue transmitir as ondas de choque provocada pela sua detonação a outro cartucho receptor, colocado em linha com o primeiro.

Sensibilidade ao choque

Detende de explosivo para explosivo, sendo uns mais sensível do que os outros.

Sensibilidade a fricção

Como no caso de sensibilidade ao choque, também a sensibilidade à fricção existem alguns explosivos que são mais sensíveis à fricção que outros.

Volume de Gases (na temperatura e pressão da explosão)

- De baixa expansão gasosa (até 800 l/kg) e
- De alta expansão gasosa (acima de 800 l/kg)

### 3.3.5. Tipos de Explosivos

Destacaremos alguns dos explosivos usados nas construções e na mineração e não só, para fazer os desmontes, usados em diversas situações, em particular na mineração a destacar alguns deles, a saber:

#### 3.3.5.1. Anfo (Nitrato de Amônio e Gasóleo)

O Anfo (ver figura 3.1) é um explosivo seguro e fácil de manusear, feito a partir da mistura de matéria-prima de elevada qualidade. Apresenta consistência granular e é comercializado em sacos de 25 Kg (ver figura 3.2).



Figura 3.1 – Anfo (no saco de 25kg)



Figura 3.2 – Anfo (em forma granular)

Fonte: Maxam Cpea

Tem uma constituição aproximada de 94% de nitrato de amônio e 6% de gasóleo. É um explosivo de sensibilidade muito baixa, o que significa maior segurança, produz um grande volume de gases, comparado com os gelatinosos possui uma velocidade de detonação menor e não possui resistência à água, pelo que apenas pode ser aplicado quando não existe a presença de água.

É um explosivo muito barato, embora não aplicável a todos os casos (ele trabalha mal em ambientes húmidos), é considerado um explosivo potente devendo sempre ser tentado o seu uso, pois conduz a economias importantes.

**Aplicação**

Está destinado ao uso em operações a céu aberto e subterrâneas, em furos sem água. O ANFO é uma excelente solução a baixo custo como carga de coluna para realizar detonações em Pedreiras, Minas e obras públicas, no carregamento dos furos sem água.

**Vantagens**

- Explosivo economicamente rentável para uma gama de aplicações em detonações;
- Adequado para rochas brandas e médias que apresentam furos sem água durante as detonações.

**Recomendações**

A aplicação incorrecta do Anfo pode resultar em altas probabilidades de fumos indesejáveis após a detonação. Não carregar o ANFO em furos que apresentem um diâmetro inferior a 65 mm. Recomenda-se a iniciação deste produto usando Riobooster 400G ou Riogel Kupula encartuchado iniciado por um Riodet ou Rionel.

Temperatura: A temperatura deste produto deve estar entre -25 e +60°C. A temperatura do produto refere-se a temperatura da pasta explosiva e não a temperatura ambiente.

Resistência à água: o anfo não apresenta resistência a água.

**Armazenamento**

Para a conservação das propriedades dos explosivos maxam, recomenda-se o seu armazenamento em paióis autorizados, frescos e secos, que apresentem boa ventilação.

**Segurança**

Uso: o Anfo deve ser usado, manuseado e armazenado com cuidado, mantendo-o afastado de substâncias inflamáveis e de fonte de calor excessivo. Atmosferas inflamáveis: o Anfo não se destina ao uso em atmosferas inflamáveis ou com metano.

Materiais reactivos: o Anfo pode reagir com materiais contendo pirite no solo criando situações de riscos potenciais. Se o Anfo estiver sendo aplicado em solos com alta possibilidade de conter materiais reactivos, um programa de teste deve ser empreendido antes do seu uso, para assegurar que as acções inibidoras do produto são suficientes para adequar-se a aplicação.

Descarte: O descarte de material explosivo pode ser perigoso, por isso, convém assegurar-se de que as medidas de segurança apropriadas sejam aplicadas de acordo com as instruções apresentadas na ficha técnica de segurança.

**Tabela 3.4 - Características Técnicas do Anfo**  
Fonte: Maxam Cpea

Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	0,80
Velocidade de detonação (VOD)* (m/s)	1500 – 3000
Energia Relativa Efectiva <sup>1</sup> (%)	
Força relativa em peso	100
Força relativa em volume	100
Volume de gases (L)	978
Calor de explosão ( MJ/Kg)	2,59

### 3.3.5.2. Amunite (Nitrato de amónio poroso, Gasóleo e Alumínio)

O Amunite é um explosivo do tipo Anfo, seguro e fácil de manusear, feito a partir da mistura de matéria-prima de alta qualidade (Nitrato de amónio poroso, gasóleo e alumínio).

O amunite é constituído por grãos sólidos (ver figura 3.4) que são ligeiramente cinzentos devido a presença do alumínio. É comercializado em sacos de 25 kg (ver figura 3.3).



Figura 3.3 - Amunite (em saco)



Figura 3.4 - Amunite (em forma granular)

Fonte: Maxam Cpea

O Amunite é um explosivo de baixa densidade (ver tabela 3.5) que fornece um notável aumento de energia quando comparado ao Anfo convencional, este facto torna-o ideal para ser usado

como carga de coluna em rochas duras; quer em pedreiras, minas ou obras públicas, em furos secos (não apresenta resistência a água).

### **Aplicação**

Devido a sua consistência granular, o Amunite preenche completamente o espaço disponível nos furos proporcionando a máxima pressão de detonação no interior destes e pode otimizar as operações de detonação através da expansão do padrão de perfuração. O Amunite é um explosivo economicamente rentável que pode ser usado em aplicações de detonações a céu aberto.

### **Vantagens**

- Explosivo de baixa densidade que fornece um aumento energético notável quando comparado ao Anfo convencional;
- Preenche completamente o espaço disponível nos furos fornecendo máxima pressão de detonação.

### **Recomendação**

Recomenda-se a iniciação deste produto usando Riobooster 400g ou Riogel Kupula encartuchado iniciado por um Riodet ou Rionel. A temperatura deste produto deve estar entre -25 e +60°C.

### **Armazenamento**

Para a conservação das propriedades dos explosivos Maxam, recomenda-se o seu armazenamento em paióis autorizados, frescos e secos, que apresentem boa ventilação.

### **Segurança**

Uso: o Amunite deve ser usado, manuseado e armazenado com cuidado, mantendo-o afastado de substâncias inflamáveis e de fonte de calor excessivo.

Atmosferas inflamáveis: o Amunite não se destina ao uso em atmosferas inflamáveis ou com metano.

Materiais reactivos: o Amunite pode reagir com materiais contendo pirite no solo criando situações de riscos potenciais.

Se o Amunite estiver sendo aplicado em solos com alta possibilidade de conter materiais reactivos, um programa de teste deve ser empreendido antes do seu uso, para assegurar que as acções inibidoras do produto são suficientes para adequar-se a aplicação.

Descarte: O descarte de material explosivo pode ser perigoso, por isso, convém assegurar-se de que as medidas de segurança apropriadas sejam aplicadas de acordo com as instruções apresentadas na ficha técnica de segurança.

**Tabela 3.5 – Características Técnicas do Anfo**  
Fonte: Maxam Cpea

Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	0,82
Velocidade de detonação* (m/s)	2100 – 3100
Energia Relativa Efectiva <sup>1</sup> (%)	
Força relativa em peso	126
Força relativa em volume	126
Volume de gases (L)	914

<sup>1</sup>Anfo: densidade 0,80 g/cm<sup>3</sup>, calor de explosão 2,59 MJ/Kg. \*VOD depende das condições de aplicação, diâmetro, confinamento e da densidade. O valor máximo no intervalo é o valor ideal da VOD.

### 3.3.5.3. Explosivos gelatinosos

Estes explosivos têm na sua constituição como agente responsável pela reação explosiva, a nitroglicerina, conferindo-lhe uma consistência gelatinosa. São, comparativamente ao Amonóleo e a Amonite 1, os de maior densidade, velocidade de detonação e potência, gerando no entanto, menor volume de gases que qualquer um deles, tem uma boa resistência a água, o que permite um leque de aplicação variado. Os explosivos Gelatinosos são Gelamonites e Gelatinas.

#### Gelamonites

As Gelamonites, por ter uma velocidade de detonação, densidade e potência elevada (ver tabela 3.6), são normalmente utilizadas como carga do fundo. Quer em céu aberto quer em subterrânea, apresentando uma boa resistência água, obtendo-se bons resultados quanto a sua aplicação feita em rochas duras ou semi duras. Podendo em caso específicos serem utilizados em rochas brandas, colocando-se cartuchos espaçados no furo.

**Tabela 3.6 – Características Técnicas da Gelamonites**  
Fonte: SPEL

Característica	Gelamonites 20	Gelamonites 33
Densidade (gr/cc)	1.35 a 1.40	1.40 a 1.45
Velocidade de detonação (m/s)	5.400 a 5.800	5.600 a 6.000
Volume de gases (L/kg)	890	890
Potencia (kg/m/s)	46*108	51*108
Resistência a água	Boa	Boa

## Gelatinas

As gelatinas são especialmente recomendadas, para trabalhos que exijam elevadas potencias e resistência a agua, sob pressão hidrostáticas significativas.

**Tabela 3.7 - Características Técnicas da Gelatinas**  
Fonte: SPEL

Característica	Gelatinas I	Gelatinas II	Gelatinas III
Densidade (gr/cc)	1.45 a 1.50	1.50 a 1.60	1.45 a 1.50
Velocidade de detonação (m/s)	5.700 a 6.100	5.800 a 6.300	5.000 a 6.500
Volume de gases (L/kg)	685	490	600
Potencia (kg/m/s)	50*108	52*108	58*108
Resistência a água	Muito Boa	Muito Boa	Muito Boa

**Figura 3.8 - Características Técnicas das Gelatinas**  
Fonte: SPEL

Cartuchos				Embalagem	
Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)	Peso aprox. (gr)	Encartuchamento	Tipo	Peso líquido kg
40	400	780	Manga de plástico	Caixa de cartão exportação em caixa de madeira	23,4
50	550	1700			25,5
60	550	2500			25
80	550	4300			25,8
50	450	1000	Tubo de plástico		28
60	700	2500			25
65	700	3000			30

### 3.3.5.4. Amonite 1

A denominação da amonite 1, é um explosivo que relativamente a Amonóleo apresenta maior densidade, maior velocidade de detonação, maior potência, embora gere menor volume de gases; quanto a resistência a água é fraca (ver tabela 3.9), sendo necessário nesta condição, a sua aplicação encartuchada em manga plástica (ver tabela 3.10).

Dada a suas características, tem um campo de aplicação mais adequado a carga de coluna em rochas semi duras e duras, podendo em casos específicos ter usada carga de fundo em rochas brandas.

**Tabela 3.9 - Características Técnicas da Amonite 1**  
Fonte: SPEL

Característica	Amonite 1
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	1,10 a 1,15 (gr/cc)
Velocidade de detonação (m/s)	4200 a 4600 (m/s)
Volume de gases	901 (L/kg)
Potencia	33*108 (kg/m/s)
Resistência a água	Má

**Tabela 3.10 - Características Técnicas das da Amonite 1**  
Fonte: SPEL

Cartuchos					
Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)	Peso aprox. (gr)	Encartuchamento		Peso líquido kg
25	140	76	Pap. Paraf.	Caixa de cartão exportação em caixa de madeira	25
40	550	750	Mangas de plástico		25,2
50	550	1200			24
60	550	1700			20,4
80	550	2800			25,5

### 3.3.5.5. Riogel Kupula (Hidrogel Encartuchado Sensível ao Detonador)

Riogel Kupula é o resultado dos últimos desenvolvimentos na tecnologia dos hidrogéis. Tem uma consistência macia mas sólida (ver figura 3.5) devido à adição de agentes de reticulação. A sua coloração prateada, deve-se ao conteúdo de alumínio. O mesmo é fabricado em vários formatos (ver figura 3.6) para satisfazer as necessidades das diversas aplicações.



Figura 3.5 - Embalagem plástica



Figura 3.6 - Riogel Kupula (reticulante)

Fonte: Maxam Cpea

### Utilização

- Carga de fundo e carga de coluna em furos com água.
- Iniciador do Anfo e do Amunite.
- Aplicações a céu aberto, subterrânea e construção civil.

### Vantagens

- Resistente a água;
- Combina sensibilidade e alta energia;
- Disponível em grande variedade de tamanhos;
- Maior energia que as emulsões;
- Não sofre cristalização por envelhecimento;
- Ampla variedade de aplicações.

### Recomendação

Não utilização em atmosferas com metano. Sensível ao detonador nº 8 ou ao cordão detonante 10 g/m. A temperatura de utilização deste produto deve situar-se entre -10°C e +60°C.

A temperatura de utilização refere-se a temperatura da massa do explosivo e não a temperatura ambiente.

### Segurança

Devem ser armazenados em paióis autorizados, em local fresco e seco, com boa ventilação. Assegurando-se de que o produto é sempre mantido afastado de chamas e fontes de calor.

Destruição: a destruição de explosivos é perigosa. Cumpra estritamente com as medidas de segurança de destruição de explosivos e com as instruções nas fichas de segurança.

#### Armazenamento

Armazenagem recomenda-se que sejam armazenados em paíóis autorizados, em local fresco e seco, com boa ventilação.

**Tabela 3.11 - Características Técnicas da Riogel Kupula**  
Fonte: SPEL

Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	1,2
Velocidade de detonação* (m/s)	3000 – 4800
Energia Efectiva Relativa (Calor de Explosão) (%)	
Força relativa em peso	106
Força relativa em volume	158
Volume de gases (L)	978

#### **3.3.5.6. Rioflex (Riogel Bombeado de Densidade Variável)**

O Rioflex representa a última tecnologia no campo dos explosivos bombeáveis para grandes detonações de superfícies.

É um agente explosivo do tipo hidrogel bombeável, de grande segurança no manuseamento e sensibilizado mediante gaseificação mecânica. Este produto se apresenta a granel em camiões com bomba de descarga superfícies.

O Rioflex apresenta um correcto comportamento perante a água e a existência de fendas nas perfurações, evitando a fuga de produto e selando literalmente as fissuras, graças a consistência dimensional que confere a acção dos aditivos reticulantes que se agregam durante a carga (ver figura 3.7).

Pode ser fabricado com distintas densidades na própria pedreira/obra pública segundo as necessidades dos padrões de perfuração, o que proporciona flexibilidade nos desenhos das detonações.

O Rioflex é apresentado em tanques de armazenamento mediante unidades móveis de sensibilização e bombeado directamente nos furos (ver figura 3.6).



Figura 3.6 - Camião sisterna com Riogel Kupula

Fonte: Maxam Cpea



Figura 3.7 - Processo de reticulação

A sua característica de carga a granel lhe permite encher completamente o volume do furo, incrementando a concentração de carga linear e permitindo a aplicação de malhas mais amplas com a consequente redução de custos de perfuração.

O Rioflex não é sensível ao detonador, e requer para fornecer á sua máxima prestação como agente explosivo, a aplicação de um multiplicador ou um explosivo de alta energia (ver tabela 3.12) como iniciador que proporcione um correcto regime de detonação.

### Aplicações

- Grandes detonações de produção em minas, pedreiras e obras públicas;
- Carga flexível em sistemas de optimização de custos de produção;
- Possibilidade de uso de carga em terrenos com certo grau de fissuração dada a consistência do produto.

### Vantagens

- Flexibilidade variável em termos de densidade;
- Resistência à água;
- Elevada energia devido ao baixo teor de água;
- Maximiza a geração de onda de choque potencializando a fragmentação da rocha;
- Permite a inibição de qualidade no uso em solo reactivo em gel, o que aumenta a resistência à água;

Pode ser produzido com qualquer tipo de Nitrato de Amónio, reduzindo a dependência do nitrato de amónio poroso; Reduz potencialmente a formação de fumos de NOx.

**Recomendações**

Não aplicar em presença de grisú ou após inflamáveis. - Recomenda-se usar para sua iniciação um multiplicador (Booster) de 450 g.

**Segurança**

A aplicação incorrecta pode resultar em altos níveis de gases indesejáveis após a explosão.

Temperatura do solo adequado entre 0°C a 55°C.

**Armazenamento e Transporte**

O Rioflex é transportado como uma matriz suspensa não sensibilizada, classificada como oxidante 5.1 e deve ser armazenado em tanques e silos, em conformidade com todos os regulamentos locais para armazenamento de materiais oxidantes.

**Tabela 3.12 - Características Técnicas da Rioflex**  
Fonte: SPEL

	Rioflex <sup>®</sup> 10000	Rioflex <sup>®</sup> 5000	Rioflex <sup>®</sup> 6000	Rioflex <sup>®</sup> 7000
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	1,10-1,30	1,10-1,30	1,10-1,30	1,10-1,30
Velocidade de detonação VOD (km/s)	4,3 à 5,5	4,3 à 5,5	4,3 à 5,5	4,3 à 5,5
Carga de Explosão (Volume constante)	3,13(MJ/Kg)	3,58	3,51	3,44
(REE-WS) (Anfo = 100%) <sup>2,3</sup>	95-100%	108-117%	106-115%	104-112%
(REE-BS) (Anfo = 100%) <sup>2,3</sup>	131-167%	148-190%	145-187%	142-183%
Volume de gases <sup>2</sup> (I/Kg)	960	970	967	964
Quantidade de furos residuais <sup>4</sup> (I/100g)	2,27 - 4,67	2,27 - 4,67	2,27 - 4,67	2,27 - 4,67
Tempo de permanência nos furos	4 Semanas	1 Semana	1 Semana	2 Semanas
Diâm. mínimo de aplicação	70 mm	114 mm	102 mm	89 mm

**3.3.6. Iniciação de explosivos**

Segundo a Spel, Podemos dizer que a iniciar um explosivo estamos a provocar a sua detonação. Esta iniciação pode ser feita através da introdução de um detonador num cartucho de explosivo, que entrará em contacto com o resto da carga, ou atrás da ligação de um detonador ao cordão detonante, que se encontra em contacto, ao longo de toda carga, transmitindo-lhe a detonação.

Estes são os dois procedimentos geralmente usados para iniciar a explosão. Dentre deste procedimentos há depois variações como quanto ao tipo de detonador que são: detonador

ordinário, detonador elétrico, detonador não elétrico, quanto ao tipo de cordão detonante (existência de diversas gramagens de cordão detonante).

#### **3.3.6.1. Detonadores elétricos**

Os detonadores elétricos são activados por intermedio da energia eléctrica. É composto por uma cobertura metálica, geralmente de alumínio. As partes que constituem os detonadores elétricos são: a eléctrica, a explosiva e no caso dos detonadores de retardo, a substancia retardadora.

##### **Parte eléctrica**

A parte eléctrica que se encontra na zona superior do casquilho é constituída pelo inflamador, pelos fios de ligação que possuem tonalidades de cores consoante as suas características, por outros elementos de protecção.

##### **Parte retardadora**

Após a combustão da carga retardadora é iniciada a combustão da carga primária. Uma vez que esta se encontra imediatamente abaixo da carga retardadora, para os detonadores que retardo; no caso de detonador instantâneos ou de tempo zero, apos a incandescência do inflamador e a combustão da pasta que o envolve, inicia-se a combustão da carga primária.

Por fim e após a combustão da carga primária, tanto para detonadores instantâneos como para os retardo, verifica-se a combustão da carga base ou secundaria.

##### **Parte explosiva**

Encontra-se na zona inferior da cápsula e que é composta por uma carga primária, constituída por um explosivo muito sensível, que ao receber a combustão vinda da parte retardadora detona e por uma carga secundária composta por um explosivo menos potente, em maior quantidade, é esta a última parte do detonador a reagir e a provocar a iniciação do explosivo em que está inserido (escorvado).

Nos detonadores eléctricos instantâneos não existe parte retardadora, logo a inflamação do filamento provoca, instantaneamente, a detonação do dispositivo de iniciação.

#### **3.3.6.2. Riodet (Detonador Eléctrico de Alumínio)**

Os detonadores eléctricos Riodet (ver figura 3.8) estão desenhados para uso em minas, pedreiras, construção civil e operações subterrâneas. Estão disponíveis em três serieis: Instantâneo (Z), microretardos (M) e retardos (D).

Os detonadores Riodet de Microretardos são fabricados com 25 tempos e os de Retardos com 16 tempos, proporcionando grande flexibilidade nos planos de fogo com intervalos de tempos curtos e longos respectivamente.

Os Riodet se apresentam em dois tipos de sensibilidade eléctrica.

Insensíveis (I): sensibilidade standard para aplicações normais;

**Altamente Insensíveis (AI):** para aplicações que envolvam risco de iniciação acidental por correntes externas.

Para facilitar a sua identificação, o tempo de retardo de cada detonador está marcado no fundo e na etiqueta de identificação que envolve o detonador (ver figura 3.9).

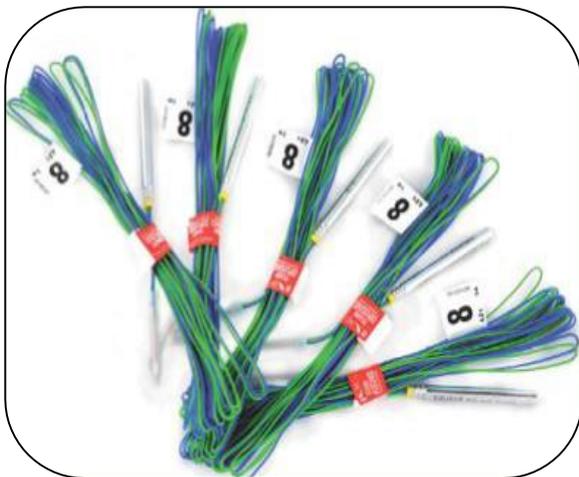


Figura 3.8 – Riodet

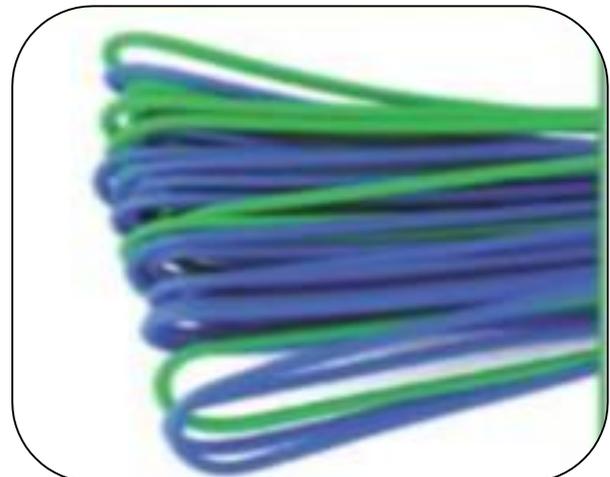


Figura 3.9 - Fios codificados por cores

Fonte: Maxam Cpea

Os detonadores eléctricos Riodet têm tempos precisos com uma probabilidade de sobreposição inferior a 1/10.000.

### Vantagens

- Seguro, fiável e de fácil utilização;
- Tempos precisos;
- Etiqueta de alta visibilidade;
- Resistente a água;
- Potência nº 8 assegura a iniciação de todos os explosivos sensíveis ao detonador;
- Resistente à alta pressão.

**Tabela 3.13 - Características Técnicas da Riodet**  
**Fonte: SPEL**

	Tipo I	Tipo AI
Resistência ponto (ohms)	0,3-0,5	0,03-0,05
Corrente disparo (mW.s/ohms)	8-16	1.110-2.500
Corrente de segurança (A)	0,45	4
Corrente recomendada (em série A)	2,5	25

**Tabela 3.14 - Embalagem Standard classe 1.1B (Riodet)**  
**Fonte: Maxam Cpea**

Comp. (m)	Unid. por caixa	Diâmetro/Fio (mm)	Peso Líquido (Kg)	Peso Bruto (Kg)
3*	500	0,6	15	17
4	500	0,6	19	21
5	250	0,6	11	13
6	250	0,6	14	16
7	250	0,6	16	18
9*	250	0,6	19	21
12	200	0,6	20	22
15*	120	0,72	21	23
18	100	0,72	21	23
20**	100	0,72	25	27
25**	60	0,72	20	22
30**	60	0,72	23	25

**Tabela 3.15 – Embalagem Standard classe 1.1B (Riodet)**  
**Fonte: Maxam Cpea**

Microretardos		Retardo Longo (Delay Seres)	
Retardo	Tempo (ms)	Retardo	Tempo (ms)
1	25	0	---
2	50	½	250*
3	75	1	500*
4	100	1½	750*
5	125	2	1.000*
6	150	3	1.500*

7	175		4	2.000*
8	200		5	2.500*
9	225		6	3.000*
10	250		7	3.500*
11	275		8	4.000*
12	300		9	4.500*
13	325		10	5.000*
14	350		11	5.500*
15	375		12	6.000*
16	400		14	7.000*
17	425		16	8.000*
18	450			
19	475			
20	500			
22	550*			
24	600*			
26	650*			
28	700*			
30	750*			

### 3.3.6.2. Detonador não elétrico

Os sistemas de iniciações não eléctricos são usados principalmente locais onde exista a possibilidade de haver iniciação indesejáveis, locais próximos a linhas eléctricas, vias ferias eletrificadas, etc. Para estes casos existem acessórios que substituem os detonadores electricos e permitem sequenciar correctamente as pegas de fogo.

Os detonadores não electricos são constituídos por um tubo de plástico que contem no seu interior uma substancia reativa, não explosiva, que mantem a propagação da onda de propagação de aproximadamente 2000m/s. Esta reação do tubo actua uniformemente como um sinal e tem energia suficiente, para iniciar um detonador.

Estaremos a citar alguns:

### 3.3.6.2.1. Rionel - Conector De Superfície

A série Rionel SCX (ver figura 3.10) foi desenhada para sequenciar detonações introduzindo intervalos de retardo entre diferentes furos da detonação, mediante conexões simples de superfície. A série Rionel SCX fornece sequenciamento de diferentes cargas entre os furos ou diferentes filas de furos. Quando usados em conjunto com o RIONEL MS, LP ou DDX, eles oferecem grande versatilidade no design do tempo de qualquer detonação.

O Rionel SCX é composto de um tubo de choque de diferentes comprimentos enrolados. Possui também um conector de plástico que contém um detonador de atraso de baixa carga de alta precisão que minimiza o ruído e estilhaços. O conector pode aceitar até 6 tubos e é codificado por cores, dependendo do atraso.

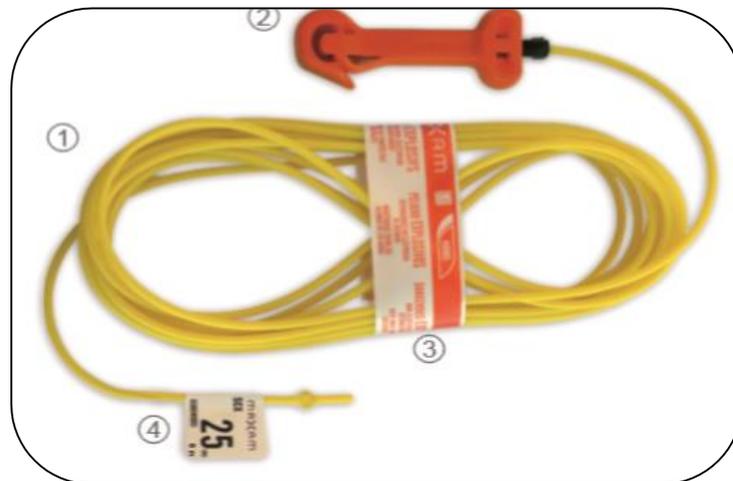


Figura 3.10 - Rionel SCX  
Fonte: Maxam Cpea

#### Vantagens

- Sistema seguro,
- Confiável, fácil e cómodo de usar;
- Rapidez de conexão para detonações com muitos furos;
- Maior segurança frente a correntes electromagnéticas;

Desenho, cores, etiquetas e embalagem que facilitam a sua visibilidade e identificação.

Tabela 3.16 - Tempo retardo do Rionel SCX  
Fonte: Maxam Cpea

Cor do Conector	Tempo (ms)
	0
	9

	17
	25
	33
	42
	67
	100
	150
	200

### 3.3.6.2.2. Rionel (Retardo Longo)

A série de detonadores de retardo longo Rionel LP foi desenhada para trabalhos de desmonte subterrâneo, túneis e galerias de avanço, sempre que não exista risco de inflamabilidade. Os retardos do RIONEL LP são maiores que os do RIONEL MS e utilizam-se em rebentamentos de interiores confinados, onde são requeridos maiores atrasos.

Todos os Rionel LP integram um ligador em forma de gancho (ver figura 3.11) ara facilitar as ligações dos detonadores às linhas mestras de Riocord (mínimo de 6 gr). Os detonadores Rionel LP são fiáveis e têm alta precisão, características fundamentais que se requerem em desmonte subterrâneo.

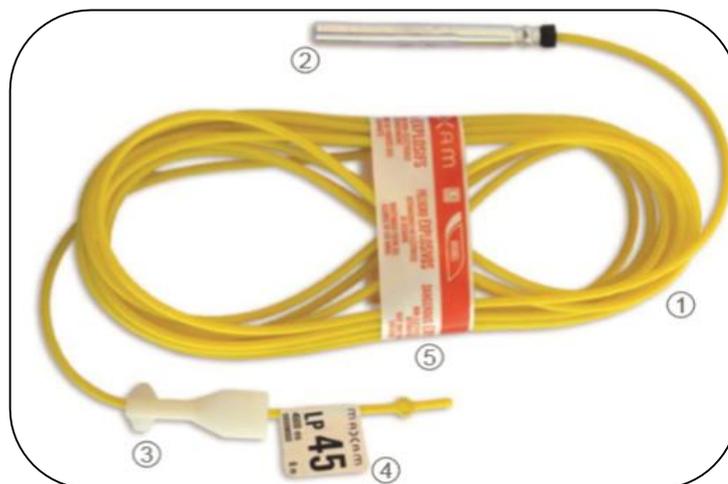


Figura 3.11 - Rionel (Retardo Longo)  
Fonte: Maxam Cpea

### Vantagens

- Seguro, fiável e de fácil utilização.

- Seguro na presença de correntes erráticas. Tubo de transmissão desenhado para resistir a tracção e alongamentos, evitando a sua danificação em normais condições de utilização.

O desenho, cor, etiquetas e embalagem facilitam a sua visibilidade e identificação.

**Tabela 3.17 - Tempo de Retardo de Rionel (Retardo Longo)**  
Fonte: Maxam Cpea

Retardo	Tempo (m/s)
0	-
1	100
2	200
3	300
4	400
5	500
6	600
7	700
8	800
9	900
10	1000
12	1200
14	1400
16	1600
18	1800
20	2000
25	2500
30	3000
35	3500
40	4000
45	4500
50	5000
55	5500
60	6000
70	7000

80	8000
900	9000

### 3.3.7. Detonadores Pirotécnicos

#### 3.3.7.1. Riocord (Cordão detonante)

O Riocord é um cordão detonante (ver figura 3.12) flexível com um núcleo feito de matéria explosiva (PETN). Tem uma velocidade de detonação de 7500 m/s, e quando usado correctamente, pode iniciar explosivos encartuchados e Riobooster. Também pode ser utilizado como linha mestra para iniciar detonadores não eléctricos ou com Riodelay atrasos de microretardos, potenciando uma grande variedade de sequências possíveis. Existem três tipos de Riocord, a saber: permissível, reforçado e standard.

#### Riocord permissível

O **Riocord permissível** é feito em 6g/m e uma camada constituída por um agente retardador na sua composição, tornando-o apropriado para ser utilizado em desmonte subterrâneo.

#### Riocord reforçado

O **Riocord reforçado** (ver figura 3.13) é usado em condições extremas em que características especiais tais como resistência à tensão e à abrasão. O Riocord 80 e Riocord 100 são usados em desmonte de contorno.



Figura 3.12 - Riocord cordão detonante



Figura 3.13 - Riocord Cordão reforçado

Fonte: Maxam Cpea

Toda a gama Riocord é resistente ao óleo e à água e flexível. O Riocord deve ser iniciado com um detonador de força 8 ou outra linha de Riocord. É muito importante que o cordão detonante seja verificado para assegurar que se encontra seco no local de iniciação.

### Vantagens

- Seguro, fiável e fácil de usar;
- Excelente resistência ao óleo e à água;
- Codificação por cor para uma rápida identificação;
- Boa flexibilidade e segurança na ligação.

#### 3.3.7.2. Nitrobooster

Os Reforçadores Nitrobooster (ver figura 3.14) são compostos por uma mistura de produtos explosivos de alta potência. Esta composição, extremamente estável, confere uma densidade aproximada de 1,6 g/cc.

Este produto foi desenhado para uma simples manipulação, com embalagem e formatos diferentes (ver tabela 3.14). Suas características de resistência a água e ao óleo, complementadas com uma curva de envelhecimento lento lhe conferem especificações adequadas para seu uso em condições de trabalho extremas.

Sua velocidade de detonação e potência explosiva alta lhe permite actuar como iniciador de todo tipo de explosivos: Anfo, Emulsões e Rioflex. Os Nitroboosters não são aptos para serem usados em mineração com riscos e grisús ou pó.



Figura 3.14 – Nitroboosters  
Fonte: Maxam Cpea

### Vantagens

- Sistema seguro, confiável e cômodo de usar.
- Rapidez de aplicação.
- Sistema de tampas que proporciona maior segurança e facilidade de manuseio.

**Tabela 3.18 – Formatos e Embalagens**  
**Fonte: Maxam Cpea**

Tipo	150 	250 	450 	1000 
Peso (g)	150	250	450	1000
Diâmetro (mm)	38,5	48,4	60	60
Comprimento (mm)	115	115	123	159
Unidades por caixa	168	100	56	24
Peso líquido (kg)	25,2	25,0	25,2	24,0
Peso bruto	26,2	26,6	26,2	25

### 3.3.7.3. Rastilho Plástico (Estopim)

O Estopim da Maxam é um acessório composto basicamente de um núcleo de Pólvora Negra Especial, revestido com camadas de fibras têxteis e materiais termoplásticos que lhe conferem confinamento, resistência à tracção e impermeabilidade (ver figura 3.15). É o veículo responsável pela condução contínua e uniforme de chama iniciadora de espoleta. O Estopim Maxam possui inigualável constância e uniformidade no tempo de queima, e alto poder de iniciação e fácil acendimento, devido ao tipo de pólvora empregada (ver tabela 3.18). O Estopim é fornecido em bobines com 500m.



**Figura 3.15 - Rastilho Plástico (Estopim)**  
**Fonte: Maxam Cpea**

#### Vantagens

- Sistema seguro, confiável, fácil e cómodo de usar;
- Boa resistência Mecânica.

Tabela 3.19 - Formato do Estopim  
Fonte: Maxam Cpea

Diâm. Externo	Comp.	Carga de Pólvora (g/m)	Tempo de queima	Resistência mínima à Tração
4,8 mm	500 m	70 g/m	* 137 ± 10 s/m	30 Kg

#### 3.3.7.4. Riodelay

Riodelay são retardos de cordão detonante usados para sequenciar os furos de detonação uns aos outros. Esta concebida, para conectar extremidades do Riocord (cordão detonante) por uma ligação do Riocord dentro do Riodelay (ver figura 3.16). Fornecendo uma sequência adequada que cobre a maioria das necessidades das detonações.

Riodelay é simetricamente desenhado com um formato bisdireccional para permitir a sua fácil conexão. O cordão detonante é fixo no interior do Retardo mediante umas cunhas de aperto unidas ao corpo principal facilitando o seu uso. O elemento de alta precisão do Retardo é alojado no corpo plástico e com base no seu código de cores especifica-se o período de retardo.



Figura 3.16 - Riodelay  
Fonte: Maxam Cpea

#### Vantagens

- Confiável, e fácil de usar.
- Código de cores para identificação rápida e fácil.
- Cunhas plásticas rígidas asseguram a colocação segura do cordão detonante.

#### 3.3.8. Equipamento de iniciação

##### 3.3.8.1. Explosore

Os explosores com condensador são equipamentos portáteis (ver figura 3.17) desenvolvidos para iniciar detonadores eléctricos.

Esse tipo de explosor é composto fundamentalmente por um gerador, um condensador e um circuito de disparo. O gerador produz a energia necessária (por exemplo, girando a manivela) que se armazena no condensador. Quando o condensador acumula a energia suficiente, esta pode ser libertada de forma automática ou controlada (em função do tipo de explosor) através das pontas ligadas ao circuito de iniciação.



Figura 3.17 - Explosor ZEB D/C  
Fonte: Maxam Cpea

Quando o condensador liberta a energia armazenada, é imediatamente alcançado o valor máximo, assegurando deste modo uma rápida e fiável iniciação de todos os detonadores. A capacidade de um explosor é determinada pela resistência máxima (ohms) do circuito de iniciação, que não deve exceder a resistência máxima autorizada para cada tipo de explosor.

Dependendo da área de operação, dispõem-se de dois tipos diferentes de explosores:

- Explosores para operações em atmosferas não explosivas;
- Explosores para operações em atmosferas potencialmente explosivas (por exemplo, minas com presença de gás grisú).

A duração do impulso de corrente para explosores que são usados em atmosferas potencialmente explosivas, deve ser menor do que 4 milissegundos.

### 3.3.8.2. Explosor ZEB NI/1

O explosor ZEB/NI1 é uma unidade portátil destinada a iniciar detonadores não eléctricos. A alimentação energética é feita por uma bateria padrão.

O explosor usa a energia que lhe é fornecida para gerar o impulso de corrente necessário para iniciar as variantes tubos de choque.

O explosor ZEB/NI1 é um aparelho portátil (ver imagem 3.18) leve que permite usar as técnicas do tubo de choque em vez do usual detonador iniciado electricamente. O dispositivo é um explosor especialmente pensado para iniciar os tubos de choque. O explosor ZEB/NI1 permite uma iniciação segura e fiável.



Figura 3.18 – Explosor ZEB/NI 1  
Fonte: Maxam Cpea

Para activar o sistema de iniciação é suficiente abrir a tampa do estojo de pele e ligar o conector do eléctrodo com o tubo. Com a chave de segurança na fechadura de bloqueio a iniciação pode ser preparada rodando a chave 90° até o LED do botão de iniciação acender.

Nesse momento o explosor está pronto a iniciar. O tubo de choque pode ser iniciado pressionando o botão de iniciação. Se a iniciação tiver de ser evitada ou parada, a chave deve ser retirada da fechadura de bloqueio.

### 3.4. Equipamentos de Perfuração

Tipos de Perfuratrizes Segundo Ricardo e Catalani (2007), os furos feitos a distâncias predeterminadas, requerem a utilização da perfuratriz, sistemas de avanço, apoio e locomoção e fonte de ar comprimido.

As perfuratrizes usadas na escavação de rocha são classificadas em:

- Percussivas\Rotativas,
- Percussivo-rotativas,
- Furo-abaixo (DTH).

### 3.4.1. Percussivas

A perfuratriz percussiva reproduz um giro na broca, imediatamente após cada golpe. Esse giro, sempre de um pequeno arco de círculo, é, portanto, descontínuo. Assim, ocorre a perfuração manual, caracterizada por dois movimentos distintos e independentes: golpeamento da broca, seguido de rotação da broca.

O acionamento geralmente é por ar comprimido, mas também à gasolina (para pequenos trabalhos) ou hidráulica (muito pesadas).



Figura 3.19 – Perfuratriz percussiva manual  
Fonte: Rezende, 2012.

### 3.4.2. Rotativas

O equipamento é montado sobre uma plataforma, permitindo uma maior facilidade de locomoção e não há percussões, pois a perfuratriz transmite à broca somente movimento de rotação, podendo demolir a rocha por corte, abrasão e esmagamento.

São utilizadas para furos de grandes profundidades, como prospecções geológicas, poços artesianos, prospecção e exploração de poços petrolíferos. Também utilizados para perfuração das rochas para a introdução de explosivos (RICARDO E CATALANI, 2007).]



Figura 3.20 – Perfuratriz rotativa  
Fonte: Rezende, 2012

### 3.4.3. Percussivo-rotativas

Ao contrário da perfuratriz percussiva que apresenta porte menor e tem rotação da broca descontínua, as perfuratrizes percussivo-rotativas possuem percussões sobre a broca, além da rotação contínua. Geralmente utilizada para perfuração de diâmetro maior (38 mm a 89 mm), podendo chegar a 125 mm. O movimento da rotação pode ser produzido por motor de pistões, colocado no cabeçote do equipamento ou por motor independente.



Figura 3.21 – Perfuratriz percussivo-rotativa  
Fonte: Rezende, 2012

### 3.4.4. Furo-abaixo (DTH)

Ao se atingir profundidades razoavelmente grandes para o avanço do furo, o esforço percussivo produzido na superfície é transmitido por meio das hastes até a extremidade do furo, acarretando uma dissipação de energia prejudicando o avanço da perfuração.

A perfuratriz furo-abaixo evita essa dissipação de energia, uma vez que o mecanismo de percussão está na extremidade da broca, junto à coroa, parte mais extrema da broca e que

efetivamente trabalha contra a rocha. Geralmente é aplicada em pedreiras de bancadas altas, acima de 20 m e possui um diâmetro de 75 mm a 225 mm.

As vantagens são que a limpeza do furo é mais eficiente e o rendimento em metros de furo é maior para a mesma quantidade de ar comprimido, e, as desvantagens, em que a velocidade de perfuração e a vida útil das pastilhas são menores, não trabalham muito bem em rochas fraturadas ou na presença de água (RICARDO E CATALANI, 2007).



Figura 3.22 – Perfuratriz furo-abaxo  
Fonte: Rezende, 2012

### 3.4.5. Locomoção própria

Com a evolução do mercado, as perfuratrizes foram montadas sobre tratores, geralmente sobre esteiras, dispensando a utilização de qualquer outro veículo auxiliar. Assim, gerou a facilidade e rapidez de deslocamentos mais longes e também o desenvolvimento de equipamentos mais pesados e com rotação independente. As perfuratrizes montadas sobre esteiras facilitaram o acesso em rampas íngremes e o deslocamento sobre terrenos irregulares, o que é comum no serviço de escavação de rocha (RICARDO E CATALANI, 2007).

### 3.4.6. Dimensionamento e seleção das perfuratrizes

Para selecionar e dimensionar as perfuratrizes deve-se seguir alguns parâmetros, como:

- Velocidade de perfuração dos equipamentos;
- Litologia dos maciços rochosos – tipo de rocha a perfurar;
- Condições estruturais dos maciços rochosos.

É necessário estabelecer uma velocidade de perfuração média que atenda aos planos de fogo e aos volumes de escavação de rocha, previstos no projeto e nos cronogramas da obra ou da

mineração. Após, será feito a seleção e a quantificação das máquinas necessárias e o fornecimento de ar comprimido.

### **3.5. Elementos geométricos do plano de fogo**

O desmonte a céu aberto tem características próprias que o individualiza dos outros tipos de explorações, nomeadamente de interior. Uma das principais características assente no facto do desmonte se efectuar por bancadas. Estas bancadas possuem características que variam consoante o tipo de rocha, o tipo de local de trabalho, o produto que se pretende obter, etc.

A conveniência de se ter uma bancada bem dimensionada apresenta as seguintes vantagens:

- Maior rapidez nos serviços
- Maior produção diária
- Melhor plano de ataque
- Melhor plano de pago
- Maior economia

Em termos de desvantagens, não existe nenhuma de grande relevo.

Para este tipo de desmonte pode dizer-te que não existe limite quanto ao numero de furos a executar, nem quanto a altura da bancada, mas sabe-se que quanto mais altas, estas foram, mais perigosas se tornam, tornando também mais difícil nas perfurações.

#### **3.5.1. Factores importante numa pega de fogo**

Os factores mais importantes para a realização de uma pega de fogo são:

- Diâmetro do furo
- Comprimento de furo
- Subfuração
- Afastamento
- Espaçamento
- Inclinação do furo
- Carga de um furo
- Atacamento ou tampão
- Consumo específico

### 3.5.2. Diâmetro de furo (d)

Silva (2014) revela que existem vários fatores que influenciam na escolha do diâmetro dos furos, dentre eles estão o tamanho desejado dos fragmentos, o tipo de explosivo utilizado, a vibração permitida do terreno, tipo de equipamento disponíveis etc.

Segundo Jimeno et al. (1987), se o diâmetro do furo for pequeno, o custo com perfuração e iniciação aumentam. Além disso, a colocação do tampão e dos conectores levam mais tempo e trabalho. Por outro lado, a razão de carregamento tende a ser baixa devido a melhor distribuição do explosivo no maciço. Geralmente os diâmetros mais usados são os que vão desde 2 polegadas até 4 polegadas.

### 3.5.3. Comprimento do furo (H<sub>1</sub>)

Após se fixar o diâmetro do furo passa-se a dimensionar a altura mais adequada para o diâmetro escolhido e para as condições existentes. Com tem dito anteriormente não são bancadas muito altas. Assim sendo, e se o furo for vertical, a altura do furo é dado pela seguinte expressão:

$$H_1 = H_b + 0,3 * A \quad (3.8)$$

Onde:

H<sub>1</sub>- altura do furo final

H<sub>b</sub> - altura de bancada

A - afastamento do furo a frente da bancada.

### 3.5.4. Subfuração (S<sub>f</sub>)

A necessidade de se executar subfuração facilita a execução da pega. No caso de não ser feita a subfuração, a base da bancada não será arrancada segundo um ângulo de 90 graus, não permitindo que esta fique horizontal, originando por isso repé. Este repé necessita de ser retido, precisando para tal se faça nova pega de fogo, o que encarece os trabalhos.

$$S_f = 0,3 * A \quad (3.9)$$

### 3.5.5. Inclinação do furo

Actualmente o hábito de fazer furos verticais em bancadas tende a diminuir, excepto em caso particulares, tais como obtenção de blocos de rochas, etc.

A execução de furos inclinados apresenta algumas vantagens, sendo de salientar:

- Bancada mais segura

- Melhor Produção da rocha
- Diminuição do consumo de explosivo
- Maior Afastamento E Espaçamento Entre Furos
- Eliminação Dos “Repés”
- Menor Vibração

As inclinações variam de local para local, podendo estar entre 10 e 30 graus, sendo os valores mais usuais compreendido entre 15 e 20 graus. Com a inclinação, a determinação da altura do furo passaria a ser feita através da seguinte expressão:

$$H_1 = \left( \frac{H_b}{\cos \alpha} \right) + 0,3 * A \quad (3.10)$$

Sendo  $\alpha$  o angulo do furo faz coma a vertical

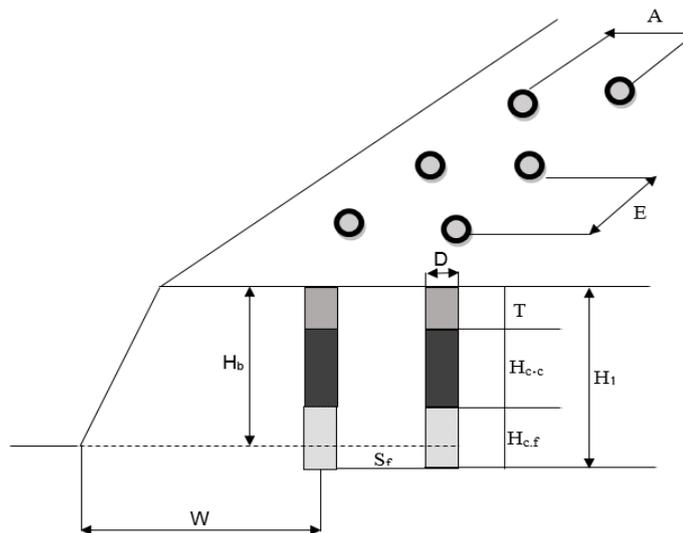


Figura 3.19 - Parâmetros fundamentais de uma bancada

Fonte: O autor

Onde:

A - afastamento

E - espaçamento

d - diâmetro de perfuração

H<sub>b</sub> - altura da bancada

S<sub>f</sub> - subfuração

T - tampão ou atacamento

H<sub>c,c</sub> – altura da carga de coluna

$H_{c.f}$  - altura da carga de fundo

$H_1$  - comprimento de furo

$W$  - Linha de menor resistência (afastamento)

### 3.5.6. Afastamento (A)

Wyllie e Mah (2004), explicam que a escolha certa do afastamento faz com que a detonação dos explosivos gere uma onda de choque que vai em direção à face livre e, ao chegar lá, é refletida pela mesma, gerando tensão e a fragmentação da rocha de maneira eficiente. Quando o afastamento é muito grande, essa onda de choque não é refletida, resultando em pouca fragmentação e perda geral de eficiência.

Por outro lado, se o afastamento é pequeno, as fendas radiais geradas se intensificarão, permitindo a dissipação dos gases explosivos com consequente perda de eficiência, ultralançamento e problemas de sobrepressão atmosférica.

Ainda segundo o mesmo autor, a relação existente entre a altura do banco ( $H_b$ ) e o afastamento (A) deve estar entre três e quatro para gerar bons resultados na detonação, ou seja,  $3 < H_b/A < 4$ .

Jimeno et al. (1987), complementa dizendo que várias fórmulas foram desenvolvidas ao longo dos anos para o cálculo do afastamento, mas todos os valores convergem para uma faixa que varia entre 25 a 40D, onde D é o diâmetro de perfuração.

### 3.5.7. Espaçamento (E)

Espaçamento é a distância que existe entre dois furos consecutivos na mesma fila de furos, o espaçamento que permite bons resultados de fragmentação e arrancamento da rocha. Através da variação do espaçamento (E) e do afastamento (A) pode-se variar o tipo de fragmentação.

Assim:

Se aumentar **E** e diminuir **A**, a rocha ficará mais fragmentada, logo com blocos de menor dimensão.

Se diminuir **E** e aumentar **A**, a rocha ficará menor fragmentada, logo com blocos de maior dimensão.

### 3.5.8. Altura de carga do fundo ( $H_{c.f}$ )

Para Jimeno et al. (1987) são necessárias diferentes energias para se quebrar a rocha no fundo e no meio do furo. Para que isso ocorra devem ser utilizados explosivos de grande densidade e

força na carga de fundo, onde é mais difícil de se deslocar a rocha, e explosivos de força média e baixa densidade na carga de coluna, onde é mais fácil a retirada.

Jimeno et al. (1987) apud Langerfors acredita que o comprimento da carga de fundo deve ficar entre 0,6A a 1,3A. Ricardo e Catalani (1977) sugerem que a Equação 31 é a melhor para o cálculo do comprimento da carga de fundo.

Assim a parte corresponde a carga de fundo é dada por:

$$H_{c,f} = 1,3 * A \quad (3.11)$$

A altura de carga de coluna ( $H_{c,c}$ ) é dada por:

$$H_{c,c} = H_l - (T + H_{c,f}) \quad (3.12)$$

O restante do furo é para o tampão (atacamento).

### 3.5.9. Tampão (T)

O atacamento pode ser considerado como o fechar do furo. Segundo Jimeno et al. (1987), a porção que fica acima do material explosivo e preenchido com material inerte, no furo, é chamado de tampão. É utilizado para confinar os gases provenientes da detonação. Se o tampão for muito pequeno poderá causar um escape prematuro dos gases e problemas de sobrepressão atmosférica e ultralaçamento. Por outro lado, se o tampão for muito grande, poderá ocasionar a presença de matações no topo da bancada, pouca fragmentação e aumento do nível de vibração.

Spel acrescenta que o atacamento não deve ultrapassar o valor do afastamento, pois pode originar blocos de grandes dimensões, vindos da parte superior da bancada.

### 3.5.10. Consumo específico ( $C_e$ )

O consumo específico pode definir-se como o peso de explosivo utilizado na pega de fogo, pelo volume total de rocha a desmontada. Usualmente este cálculo é simplificado e efectuado unicamente utilizando como referencia o peso do explosivo utilizado num furo e volume de rocha que se furo desmonta.

Tabela 3.19 - Parâmetros utilizados no Projecto Lunhinga “Luó”

Parâmetros	Dados/Valores
Tipo de rocha	Gneisses
Velocidade de onda longitudinal (km/s)	5380

Sonda perfuratriz «Titon-500» (mm)	152
Densidade da rocha (g/cm <sup>3</sup> )	2770
Angulo do furo	75°
Tipos de explosivos	Amunite e Riogel
Altura da bancada	15
Comprimento do furo	17,5
Espaçamento (m)	5
Afastamento	5
Atacamento (m)	4,7
Sobrefuração (m)	2,5
Consumo específico dos explosivos (kg/m)	0,55
Volume/furo (m <sup>3</sup> )	375
Carga total (kg)	206,3

**CAPITULO IV: RESULTADOS E DISCUSSÃO****4.1. Compatibilizar substâncias explosivas em função característica das rochas**

A escolha do explosivo a desmontar uma rocha deve ser feita, sempre, em função das características mecânicas dessa rocha. Os explosivos diferem em densidade, velocidade de detonação, energia, etc. e cada um se adapta melhor a cada característica de determinado tipo de rocha.

Essa adaptabilidade explosivo-rocha foi classificada pelo U.S. Bureau of Mines através da grandeza denominada “Impedância característica” do explosivo ou da rocha, definidas pelas relações:

$$I_e = \rho_e * v_D \quad (4.1)$$

$$I_r = \rho_r * v_s \quad (4.2)$$

Onde:

$\rho_e$  - densidade do explosivo ( $\text{g/m}^3$ )

$v_D$  - velocidade de detonação do explosivo (m/s)

$\rho_r$  - densidade da rocha ( $\text{g/m}^3$ )

$v_s$  - velocidade da onda longitudinal na rocha da em (km/s) e definida pela

$$v_s = C_p = \sqrt{\frac{E*(1-\mu)}{\rho_r(1+\mu)*(1-2\mu)}} \quad (4.3)$$

Onde:

$E$  - módulo de elasticidade

$\mu$  - coeficiente de poisson

A partir dessa grandeza, e com base em serie de investigações o U.S. Bureau of Mines enunciou o seguinte principio: “quanto maior for a impedancia do explosivo ou quanto mais proxima esta estiver da impedancia caracteristica da rocha maiores quantidade de energia do explosivo serão absorvidas pela rocha” .

Se uma deformação crítica é tomada como um critério de ruptura, as rochas com maiores valores de módulo de Young requerem uma maior energia dos explosivos para a sua fragmentação.

É habitual aquando da escolha do explosivo para o desmonte de um maciço rochoso, utilizar o seguinte critério, a impedância do explosivo a utilizar deverá ser mais próxima da impedância acústica do maciço rochoso (produto da velocidade de propagação sísmica no maciço pela densidade da rocha que o constitui (Gomes et al., 2008).

Dividindo a expressa (14) pela expressa teremos a expressa (15) que denominada com sendo relação de impedância.

$$N_z = \frac{\rho_e * VD}{\rho_r * VS} \quad (4.4)$$

Ao analisar da expressão (4.4), podemos verificar que existem três situações diferente:

- A relação de impedâncias ( $N_z$ ) é igual a um (1).
- A relação de impedâncias ( $N_z$ ) é maior que um (1).
- A relação de impedâncias ( $N_z$ ) é menos do que um (1).

#### 4.2. Impedância da rocha e do explosivo

Passando para a escolha dos tipos de explosivos a utilizar em carga de coluna e carga de fundo, é necessário determinar a razão entre a impedância da rocha e do explosivo, devendo ser utilizado o explosivo cuja razão seja a mais próxima de 1, ou seja, o que apresentar o valor de impedância, mais aproximado do valor da impedância da rocha.

##### 1) Cálculo de impedância da rocha

$$I_r = \rho_r * v_s \quad (4.5)$$

$$I_r = 2,770 * 5380$$

$$I_r = 14902,6 \text{ kg/m}^2 * \text{s}$$

##### 2) Cálculo da impedância do explosivo.

Calculos das impedâncias das substâncias explosivas que se aproxima da impedância do projecto Lunhinga, ver tabela 4.

Tabela 4 - Impedância do explosivo

Sustâncias Explosivas	Densidade ( $\rho_e$ ) ( $\text{g/cm}^3$ )	Velocidade de detonação (VD) (m/s)	Impedância ( $\text{kg/m}^2 * \text{s}$ ) $I_e = \rho_e * VD$
Riogel Kupula	1,20	4800	5760
Anfo	0,80	3000	2400

Amonita	0,82	3100	2542
Rio flex 7000	1,28	5400	6912
Gelatina I	1,43	6000	8580
Gelatina II	1,60	6300	10080
Gelatina III	1,50	6500	9750
Gelamonite 20	1,40	5800	8120
Gelamonite 33	1,45	6000	8700

### 3) Relação de impedância da rocha e explosivos ( $N_z$ )

Cálculo da relação de impedância da rocha e do explosivo para que se encontre a razão entre a impedância do explosivo e da rocha que se aproxime a 1, ver tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Relação de impedância

Rocha	Explosivos								
	Riogel Kupula	Anfo	Amonita	Rio flex 7000	Gelatina			Gelamonite	
					I	II	III	20	33
Gneisse	0,39	0,16	0,17	0,46	0,58	0,7	0,65	0,54	0,58

De acordo com os cálculos feitos sobre a relação da impedância, a substância explosiva mais próxima da impedância da rocha ou mais próxima de 1, é Gelatina II, ver tabela 4.1.

Iremos considerar para os cálculos a seguir, os seguintes dados: relação de impedância ( $N_z$ ) 0,7; densidade do explosivo Gelatina II ( $\rho$ ) 1,60g/m<sup>3</sup>, diâmetro do explosivo Gelatina ( $d_e$ ) 80 mm, comprimento da carga 0,55 m, diâmetro da broca ( $d_{br}$ ) 152 mm.

#### 4.3. Pressão máxima transmitida à rocha ( $P_{tm}$ )

$$P_{tm} = \frac{2 * PD}{1 + N_z} \quad (4.6)$$

Onde:

$N_z$  - relação de impedancia

PD - pressão de detonação do explosivo

**1) Cálculo de pressão de detonação**

$$PD = \frac{\rho_e * VD^2}{4} \quad (4,7)$$

$$PD = \frac{1,60 * 6300^2}{4} = 15,876 \text{ MPa}$$

**2) Cálculo de Pressão máxima transmitida a rocha (Ptm)**

Conhecendo os valores da relação de impedância e a pressão de detonação é possível calcular a pressão máxima transmitida à rocha.

$$Ptm = \frac{2 * PD}{1 + Nz} \quad (4,8)$$

$$Ptm = \frac{2 * 15,876}{1 + 0,7} = 18,6 \text{ MPa}$$

**4.4. Cálculos dos parâmetros das operações de perfuração-detonação.**

Tendo já escolhido o explosivo para a pega de fogo, iremos levando em consideração os seguintes parâmetros para o cálculo de pega de fogo: diâmetro de furo de 6 polegadas (0,152 m), resistência a compressão 70,9 MPa, altura da bancada de 15 m, explosivos Gelatina II e Anfo.

Calcularemos alguns parâmetros de plano de fogo utilizando o método de Jimeno et al.(1987).

**1) Cálculo de afastamento e espaçamento**

Calcularemos os parâmetros de fogo com afastamento e espaçamento utilizando as fórmulas de Jimeno et al.(1987), ver tabela 4.

**Tabela 4.2 - Cálculo de afastamento e espaçamento**  
Fonte: Jimeno et al. (1987)

Parâmetros de Projecto	Resistência a compressão (MPa)			
	Baixo	Médio	Alto	Muito alto
Afastamento (A)	<70	70-120	120-180	>180
	39D	37D	35D	33D
Espaçamento (E)	<70	70-120	120-180	>180
	51D	47D	43D	38D

**1.1) Cálculo de afastamento (A)**

$$A = 37 * D \quad (4,10)$$

Onde:

D – diâmetro do furo

$$A = 37 * 0,152 \text{ m} = 5,624 \text{ m}$$

### 1.2) Cálculo de espaçamento (E)

$$E = 47 * D \quad (4,11)$$

$$E = 47 * 0,152 \text{ m} = 7,144 \text{ m}$$

### 2) Calculo tampão (T)

**Tabela 4.3 - Cálculo de Tampão**  
Fonte: Jimeno et al. (1987)

Parâmetros de Projecto	Resistência a compressão (MPa)			
	Baixo	Médio	Alto	Muito alto
Tampão	<70	70-120	120-180	>180
	45D	34D	32D	30D

$$T = 34 * D \quad (4,12)$$

$$T = 34 * 0,152 = 5,168 \text{ m}$$

### 3) Cálculo da subfuração (S<sub>f</sub>)

$$S_f = 0,3 * A \quad (4,13)$$

$$S_f = 0,3 * 5,624 \text{ m} = 1,687 \text{ m}$$

### 4) Cálculo do comprimento do furo (H<sub>1</sub>)

Por se tratar de um furo inclinado, utilizaremos a seguinte formula:

$$H_1 = \left( \frac{H}{\cos a} \right) + 0,3 * A \quad (4,14)$$

Onde:

H<sub>1</sub> - Comprimento do furo

H<sub>b</sub> - Altura da bancada

a - ângulo do talude

$$H_1 = \left( \frac{15}{\cos 20} \right) + 0,3 * 5,624 \text{ m} = 17,649 \text{ m}$$

**5) Cálculo da altura da carga do fundo ( $H_{c.f}$ )**

$$H_{c.f} = 1,3 * A \quad (4,15)$$

$$H_{c.f} = 1,3 * 5,624 \text{ m} = 7,311 \text{ m}$$

**6) Cálculo da altura carga de coluna ( $H_{c.c}$ )**

Com o resultado obtido da altura da carga do fundo, é possível determinar a altura da carga de coluna.

$$H_{c.c} = H_1 - (T + H_{c.f}) \quad (4,16)$$

$$H_{c.c} = 17,649 \text{ m} - (5,168 \text{ m} + 7,311 \text{ m}) = 5,171 \text{ m}$$

**7) Cálculo de concentração da carga do fundo ( $q_f$ )**

**Tabela 4.4 – Característica técnica da Gelatina**  
Fonte: Spel

Explosivo	Diâmetro (mm)	Comprimento do cartucho (m)	Densidade (kg)	Peso do Cartucho (kg)
Gelatina II	80	0,55	1500	4,30

$$q_f = \frac{\text{Peso do cartucho}}{\text{comprimento do cartucho}}$$

$$q_f = \frac{4,30 \text{ kg}}{0,55 \text{ m}} = 7,818 \text{ kg/m}$$

**8) Cálculo da carga do fundo ( $Q_f$ )**

$$Q_f = H_{c.f} * q_f$$

$$Q_f = 7,311 \text{ m} * 7,818 \text{ kg/m} = 57,157 \text{ kg}$$

**9) Cálculo de número de cartucho na carga do fundo ( $N_{\text{cart}}$ )**

Dados apresentados na tabela 4.4, para cálculo de número de cartucho na carga do fundo e de alguns parametros importante que vem a seguir.

$$N_c = \frac{\text{Carga do fundo (kg)}}{\text{Peso do cartucho (kg)}}$$

$$N_{\text{cart.}} = \frac{57,157 \text{ kg}}{4,30 \text{ kg}} = 13,29 \approx 13 \text{ cartuchos}$$

### 10) Cálculo de altura da carga do fundo real ( $H_{\text{cf}}$ )

Tendo a número de cartucho e o comprimento do cartucho a se utilizar há necessidade de se fazer reajustes da altura da carga do fundo.

$$H_{\text{cf r}} = N_{\text{cart}} * \text{Comprimento do cartucho} \quad (4,18)$$

$$H_{\text{cf r}} = 13 * 0,55 \text{ m} = 7,15 \text{ m}$$

### 11) Cálculo do altura da carga de coluna real ( $T_r$ )

$$H_{\text{c.cr}} = H_1 - (T_r + H_{\text{cf r}}) \quad (4,19)$$

$$H_{\text{c.cr}} = 17,649 \text{ m} - (5,168 \text{ m} + 7,15 \text{ m}) = 5,331 \text{ m}$$

### 12) Cálculo do tampão real ( $T_r$ )

$$T_r = H_1 - (H_{\text{c.cr}} + H_{\text{cf r}})$$

$$T_r = 17,649 \text{ m} - (5,331 \text{ m} + 7,15 \text{ m}) = 5,018 \text{ m}$$

### 13) Cálculo de concentração da carga de coluna ( $Q_f$ )

$$q_f = H_{\text{c.cr}} * q_c$$

$$q_f = 5,331 \text{ m} * 7,818 \text{ kg/m} = 41,677 \text{ kg}$$

### 14) Cálculo da carga de coluna ( $Q_c$ )

$$Q_c = H_{\text{c.cr}} * q_c \quad (4,20)$$

$$Q_c = 5,331 \text{ m} * 41,677 \text{ kg/m} = 222,18 \text{ kg/furo}$$

### 15) Cálculo de carga total por furos ( $Q_t$ )

$$Q_t = Q_c + Q_f \quad (4,22)$$

$$Q_t = 222,18 + 57,157 = 279,337 \text{ kg/furo}$$

### 16) Cálculo do volume de rocha por furo a arrancar ( $V_f$ )

$$V_f = H_b * A * E \quad (4,23)$$

$$V_f = 15 * 5,331 * 7,15 = 571,749 \text{ m}^3$$

**17) Cálculo do volume total a arrancar ( $V_t$ )**

$$V_t = V_f * n \quad (4,24)$$

Onde:

n - número de furos, n= 10 furos

$$V_t = 571,749 * 10 = 5.717,49 \text{ m}^3$$

**18) Cálculo do consumo específico ( $C_e$ )**

De acordo com Jimeno et al. (1987), a razão de carregamento pode ser entendida como a quantidade de explosivo necessária para fragmentar 1m<sup>3</sup> de rocha. Wyllie e Mah (2004) salientam que a razão de carregamento é o principal parâmetro para se avaliar a produção do desmonte e o conseqüente grau de fragmentação da rocha. Para esses mesmos autores, pode-se calcular a razão de carregamento pela equação 4,25.

$$C_e = \frac{Q_{cf} + Q_{cc}}{Hb * A * E} = \frac{Q}{V_f} \quad (4,25)$$

$$C_e = \frac{279,337}{15 * 5,624 * 7,144} = 0,488 \text{ kg/m}^3$$

**Tabela 4.6 - Competências de rocha vs consumo específico de explosivo**  
Fonte: Jimeno et al, 2003

<b>Tipo de Rocha</b>	<b>Consumo específico</b>
Dura	0,60 - 1,50
Média	0,30 - 0,6
Brandas ou muito fracturada	0,10 - 0,30

**19) Cálculo de rendimento de desmonte**

$$R_c = \frac{V_t}{H1} \quad (4,26)$$

$$R_c = \frac{5.717,49 \text{ m}^3}{17,649 \text{ m}} = 323,95 \text{ m}^3/\text{m}$$

**4.5. Custo de perfuração e detonação de rocha**

Segundo Ricardo e Catalani (2007), por meio dos valores do consumo de explosivos e dos metros de perfuração por metro cúbico de rocha, determina-se o custo da perfuração e

detonação, sendo a soma de ambos um índice suficiente para se analisar a conveniência econômica do plano de fogo.

### 1) Cálculo de custo do metro de perfuração de um determinado diâmetro.

10 m ..... 70 usd

17,649 m ..... M

$$M = \frac{17,649 \text{ m} * 70 \text{ usd}}{10 \text{ m}} = 123 \text{ usd} = 80.474,05 \text{ kzs} \quad (4,29)$$

Números de furos a ser perfurado serão 10 furos, multiplicado os números de furos por custo de custo de metro de perfuração de determinado diâmetro o valor será 804.740,5 kzs.

### 2) Cálculo dos custos dos kg de explosivos de cargas do fundo e carga de coluna.

Gelatina II .....8.53 usd (5.594 kzs)

13 cartuchos \* 5.594 kz = 72.722 kzs

10 furos \* 72.722 kz = 727,220 kzs

25 kg de Anfo..... 2,84 usd (1.863,99 kzs)

10 furos \* 1.863,99 kzs = 18.639,9 kzs

#### 2.1) Custos dos explosivos por furo

Custos dos explosivos por furo ( $C_{ex}$ ) = custo da carga do fundo + custo da carga de coluna

Custos dos explosivos por furo ( $C_{ex}$ ) = 5.594 kz + 1.863,99 kzs + 7.457,99 kzs = 14.915,98 kzs

#### 2.2) Custos dos explosivos em todos furos

Custos dos explosivos em todos furos ( $C_{ext}$ ) = custo da carga do fundo total + custo da carga de coluna total.

Custos dos explosivos em todos furos ( $C_{ext}$ ) = 727,220 kzs + 18.639,9 kzs = 745.859,9 kzs

### 3) Cálculo de custo de sistema de iniciação

Detonador eléctrico (7,9 MTS)-UND ----- 6,46 usd (4.235,73kzs)

10 furos \* 4.235,73 kzs = 42.357,73 kzs

Cordão detonante NP10 – MTS ----- 0.85 usd (557,86 kzs)

10 furos \* 557,86 kzs = 5.578,6 kzs

### 3.1) Custo de sistema de iniciação por furo

Custo de sistema de iniciação por furo ( $C_{si}$ ) = Detonador eléctrico + Cordão detonante

Custo de sistema de iniciação por furo ( $C_{si}$ ) = 4.235,73kzs + 557,86 kzs = 4.793,59 kzs

### 3.2) Custo de sistema de iniciação total

Custo de sistema de iniciação total ( $C_{sit}$ ) = Detonador eléctrico total + Cordão detonante total

Custo de sistema de iniciação total ( $C_{sit}$ ) = 42.357,73 kzs + 5.578,6 kzs = 47.935,6 kzs

## 4) Custo de detonação

Somando custo do metro de perfuração de um determinado diâmetro, Custos dos explosivos por furo, e custo de sistema de iniciação por furo.

### 4.1) Custo de detonação por furo

Custo de detonação por furo= custo de metro de perfuração de determinado diâmetro + Custo de sistema de iniciação por furo ( $C_{sit}$ ) + Custos dos explosivos total ( $C_{ex}$ )

Custo de detonação por furo = 80.474,05 kzs + 4.793,59 kzs + 14.915,98 kzs = 100.183,62 kzs

### 4.2) Custo de detonação total

Custo de detonação total = Custo de metro de perfuração de determinado diâmetro total + Custo de sistema de iniciação total + Custos dos explosivos total

Custo de detonação total = 804.740,5 kzs + 47.935,6 kzs + 745.859,9 kzs = 1.598.536 kzs

### 4.3) Cálculo de custo de Gnáisses desmontado

$$\text{Custo m}^3 \text{ por Gnáisses desmontado} = \frac{\text{custo de detonação}}{V_t} \quad (4,33)$$

$$\text{Custo m}^3 \text{ por Gnáisses desmontado} = \frac{100.183,62 \text{ kzs}}{571,749 \text{ m}^3} = 175,223 \text{ kzs/m}^3$$

Resumo de cálculo de parametros calculados, ver a tabela 4.8.

Tabela 4.8 – Resumo parâmetro calculado de Projecto Lunhinga

<b>Parâmetros</b>	<b>Dados/Valores</b>
Tipo de rocha	Gneisses
Velocidade sísmica da rocha (m/s)	5380
Densidade da rocha (g/cm <sup>3</sup> )	2,770
Diâmetro do furo (m)	0,152
Ângulo do furo	20°
Tipos de explosivos	Gelatina II e Anfo
Altura da bancada	15
Afastamento (m)	5,624
Espaçamento (m)	7,144
Atacamento (m)	5,328
Sobrefuração (m)	1,687
Comprimento do furo	17,649
Carga do fundo real (kg/furo)	57,157
Carga de coluna (kg/furo)	222,18
Concentração da carga do fundo (kg/furo)	7,818
Concentração da carga de coluna (kg/furo)	41,677
Altura da carga do fundo real (m)	7,15
Altura da carga de coluna real (m)	5,331
Altura da carga de tampão real (m)	5,013
Números de cartucho da carga do fundo	13
Volume de rocha a desmontar por furo (m <sup>3</sup> )	571,749
Volume total de rocha a desmontar (m <sup>3</sup> )	5.717,49
Consumo específico	0,488

Ao se analisar o custo por cada 1 m<sup>3</sup> a se desmontar de rocha gneisse gasta-se 175,223 kzs/m<sup>3</sup>, havendo desta forma redução de custo por cada 1 m<sup>3</sup> a se desmontar ver gráfico 1,

Comparação de custos de Gnáisses desmontado

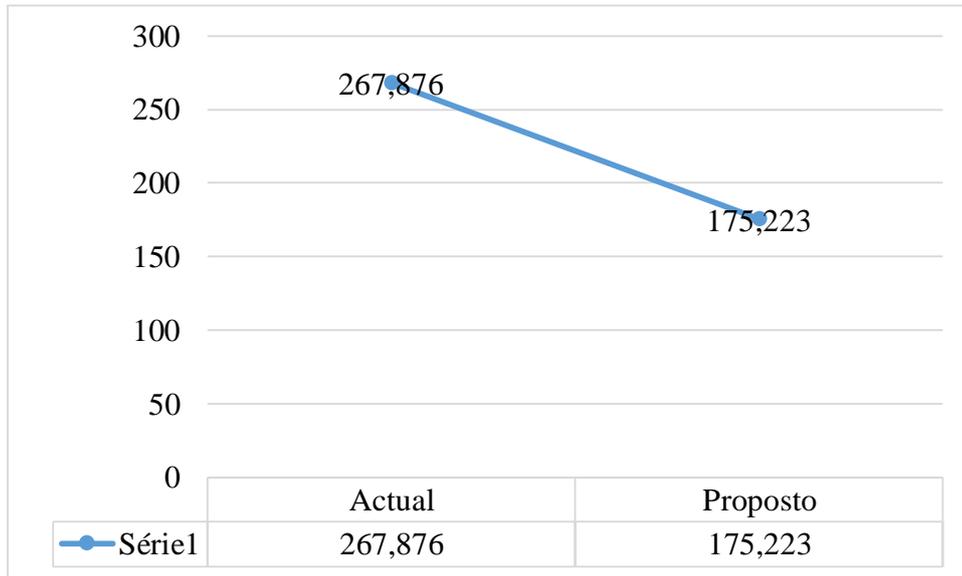


Gráfico 1: Comparação de custos de Gnáisses desmontado

No gráfico 2, é possível verificar a maximização do rendimento do desmonte proposto se compararmos ao rendimento do desmonte actual, tendo um acrescimo de rendimento de 110,67 m<sup>3</sup>/m.

Comparação de rendimento de desmonte

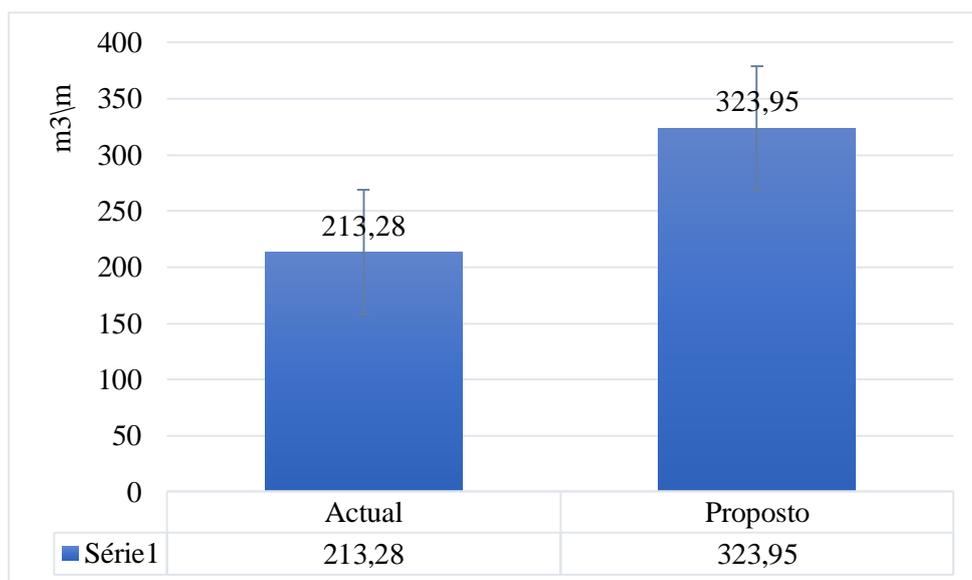
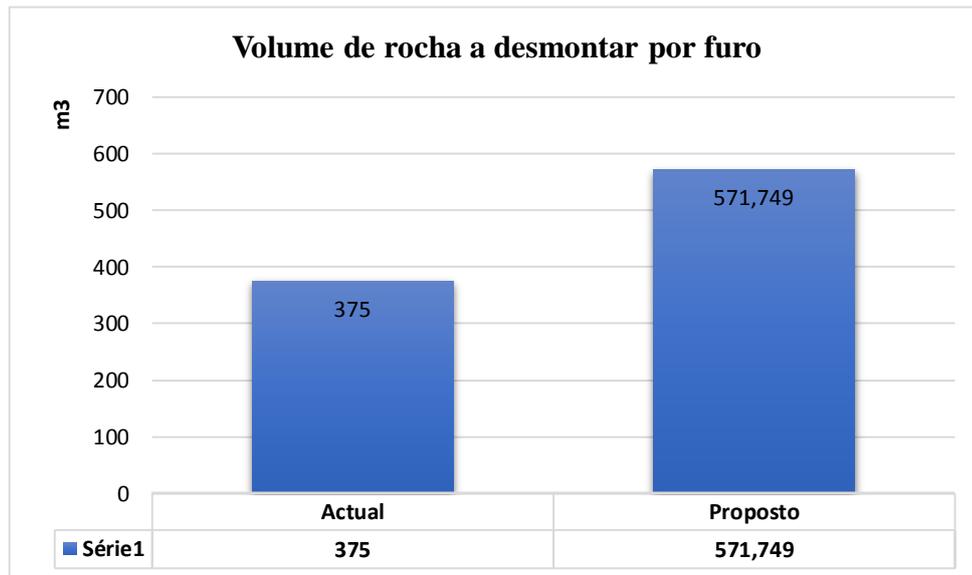


Gráfico 1 – Rendimento de desmonte

Se compararmos o volume de rocha desmontado actual e proposto é possível verificar o aumento de volume de rocha a ser desmontado de 196,749 m<sup>3</sup>, ver gráfico 3.

**Volume de rocha a desmontar por furo**



**Gráfico 3 – volume por furo desmontar**

## **CAPITULO V - IMPACTOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS A DESMONTES DE ROCHAS COM EXPLOSIVOS**

Os principais impactos ambientais decorrentes de desmontes de rochas com explosivos estão associados à dissipação da fração de energia liberada pelo explosivo na detonação que não é transformada em trabalho útil.

Os impactos ambientais nos desmonte são:

- Poeiras e gases tóxicos
- Ultralançamento
- Danos ao maciço remanescente
- Vibrações propagadas pelo terreno e outros

### Poeiras e gases tóxicos

Poeira, ou material particulado em suspensão, é gerada em operações de desmonte de rochas durante a perfuração do maciço pela ação das ferramentas de corte, aliado à limpeza do furo com o uso de ar comprimido, e durante a detonação com a ejeção de material constituinte do tampão e de fragmentos gerados. Equipamentos de perfuração dotados de coletores de pó ou a realização de perfuração a úmido são medidas de contenção. Detonações em condições atmosféricas que facilitem a dispersão da poeira minimizam seus efeitos sobre a população.

### Ultralançamento

Dele decorrem os maiores riscos pessoais e materiais passíveis de ocorrer em um desmonte de rochas com explosivos. Sua prevenção dá-se na elaboração de um bom plano de fogo, não sendo, entretanto, suficiente para evitá-los. Silva et al (2000) citam as seguintes causas de ultralançamentos: - afastamento insuficiente ou excessivo - impróprio alinhamento dos furos - iniciação instantânea de furos em filas consecutivas - ocorrência de anomalias geológicas - tampão inadequado - ultraquebras ou fragilização da face livre, decorrentes de detonações anteriores

### Danos ao maciço remanescente

A ação do explosivo sobre o maciço remanescente ao desmonte pode ocasionar a fragmentação e/ou deslocamento de material além da última linha de perfurações, podendo acarretar a ocorrência de ultralançamentos em desmontes subseqüentes. Pode ser causa também de instabilidade de taludes (Cerelo et al, 1987).

Vibrações propagadas pelo terreno

A fração da energia liberada pela detonação de cargas explosivas, transmitida ao maciço e não absorvida na fragmentação e lançamento de sua parcela sujeita ao desmonte provoca perturbações que se manifestam pela movimentação de suas partículas constituintes em torno de sua posição de equilíbrio, que será tão acentuada quanto maior for a intensidade da perturbação, dentro dos limites elásticos do meio.

Essa movimentação de partículas é transmitida àquelas situadas em seu entorno, e assim sucessivamente, causando a propagação da onda através do maciço (princípio de Huygens). Manifesta-se inicialmente como ondas compressivas, às quais se seguem ondas secundárias ou cisalhantes; sua interação em interfaces com o ar gera ondas de superfície Rayleigh e Love, denominadas genericamente ondas sísmicas. A propagação dessas ondas sísmicas é afetada, em sua intensidade, pela energia liberada na fonte, distância percorrida, características do meio, tipo de onda, frequência, ângulo de incidência com interfaces entre meios distintos e descontinuidades existentes no meio.

Vibrações são, portanto, decorrentes da resposta do maciço a tais perturbações, e são quantificadas através das grandezas deslocamento, aceleração e velocidade de partícula, assim denominada para diferenciá-la da velocidade de propagação da onda. Dadas as características da fonte, essas vibrações são classificadas como transientes. São, provavelmente, a principal causa de conflitos envolvendo empreendimentos que empregam em sua atividade produtiva o desmonte de rochas com a utilização de explosivos e sua vizinhança. Os altos níveis de vibrações podem ser diminuído fazem a escolha do tipo adequando de explosivo.

**CONCLUSÃO**

Apresentam-se, as principais conclusões que se consideraram pertinentes relativamente aos pontos abordados neste trabalho

1. A caracterização geológica do maciço rochoso no Projecto Lunhinga, para o desmonte com explosivos é importante pois ajuda a otimizar esta operação, racionalizando uso de explosivos e acessórios, reduzindo assim os custos do desmonte.
2. O conhecimento do processo de arranque de rocha no Projecto Lunhinga, foi importante para controle e maximização do desmonte com explosivos.
3. Ao propormos a utilização da gelatina II e Anfo, obtivemos melhores resultado com relação aos explosivos utilizados anteriormente e por conseguinte reduzimos os custos.

## **RECOMENDAÇÕES**

### **Para melhorar o desmonte e perfuração no Projecto Lunhinga, sugere-se:**

1. Recomenda-se ao Projecto Lunhinga a fazer os estudos aprofundados com relação aos tipos de explosivos que se adequem com a característica da rocha em questão.
2. Ter em conta a relação de impedância, de forma a não utilizar os explosivos mais do que necessário, gastando muito dinheiro com a detonação.

### **Para o Departamento de Engenharia de Minas da UAN, sugere-se:**

1. Recomendou aos estudantes de engenharia a fazer os estudos relacionados com diâmetro do furo, presença da água nos furos, toxicidade dos gases da pega e segurança do explosivo.
2. Motivar aos estudantes de engenharia de mina a fazer a fazerem vistas constantes ao Projecto Lunhinga, aliando assim a prática com a teoria.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. Geologia de Engenharia, Propriedades Índice e Classificação das Rochas 3.
2. Profa. Jisela Aparecida Santanna Greco, Escavação em Rochas.
3. Jorge Guilherme Borralho Oliveira, Desmonte de Rocha a Céu Aberto com Recurso a Explosivos.
4. Catalogo Maxam Cpea Edição Nº 2.
5. Itamar Luiz de Oliveira Júnior, Análise de Desmonte de Rocha para Construção de um Vertedouro de Barragem em Mato Verde/Mg, 2017.
6. Lopez Jimeno, Manual de Perforación.
7. Projecto Típico das Operações de Perfuração e Detonação nas Minas da Sociedade Mineira « Luó ».
8. Bazaba Francisco, L.N.: Estudo de desmonte com explosivo na pedreira de calcário de EL Alto (Espanha), particularizando a fragmentação, as projecções e a onda aérea, Trabalho de monografia, UAN, 2010.
9. Sociedade Portuguesa de explosivo (SPEL), manual de explosivos e suas aplicações.
10. Material do professor Yoandro Dieguez Garcia, Criterios de Selección de las Sustancias Explosivas para voladura de Rocas.
11. Luiz Eduardo Oliveira Cunha, Estudo de Plano de Fogo para Otimização dos Custos de Transporte e Britagem.
12. António Cassule Da Silva, Análise dos Efeitos Gerados pelas Vibrações, Resultantes da Fragmentação da Rocha Gnaisse na Pedreira Geomineral. Trabalho De Monografia, UAN, 2010.
13. Tiago da Costa da Silva, Avaliação de carga máxima por espera através de lei de atenuação visando a minimização de danos decorrente das operações de desmonte de rochas nas escavações de Arena Pernambuco.
14. Manuel Rocha, Mecânica das Rochas - Lisboa : LNEC, 1981.
15. Armando Neves de Castro, Relatório Integrado de Estágio de Adaptação Profissional para Enquadramento nos Serviços de Geologia.

16. José Lúcio Pinheiro Geraldi, Plano de fogo a céu aberto e desmontes esculturais.
17. Jair Carlos Koppe e João Felipe Coimbra Leite Costa, Operações de Lavra em Pedreiras.
18. João Marcos de A. Corsin, Controle de vibração em desmorte com explosivo.
19. Caetano Dallora Neto, Análise das Vibrações Resultantes do Desmorte de Rocha em Mineração de Calcário e Argilito Posicionada Junto à Área Urbana de Limeira (Sp) e Sua Aplicação Para A Minimização de Impactos Ambientais.
20. PRESTON, C. J.: «New Methods in Production Blast Monitoring and Optimization,». Du Pont Canadá. Inc. 1983.
21. LOPEZ JIMENO, E.: «Caracterización del Macizo Rocoso en Relación con el Diseño de Voladuras». Canteras y Ex-plotaciones. Abri I 1985.
22. Wilson Siguemasa Iramina, Aula 3 – Desmorte de Rocha por Explosivos.
23. José L. dos Santos Teixeira, qualidade da Fragmentação no desmorte de Rocha: Análise Preliminar.
24. Itamar Luiz de Oliveira Júnior, Análise De Desmorte De Rocha Para Construção De Um Vertedouro De Barragem Em Mato Verde/Mg.
25. Bruna Elque Rodrigues de Lima, Otimização do Desmorte de Rocha Calcária do Estado do Tocantins: Um Estudo Comparativo.
26. Valdir Costa e Silva, Curso de MIN 210 - Operação Mineira
27. Pedro Miguel Saraiva Cabral Fernandes, Sensibilidade ao Choque de Explosivos.
28. Ingeniería geológica / Luis I. González de Vallejo... [et al.]. - Madrid [etc.] : Prentice Hall, 2002.
29. Carla Fereira Viera Martins, redução da razão linear de carregamento para aumento da granulometria do material demontado em rocha alteradas.
30. Escavações em rocha a céu aberto.