

PROBLEMAS GERADOS PELA EXTRAÇÃO DE ROCHAS E PROPOSTAS PARA
MITIGAÇÃO DO IMPACTO SONORO.

Tito Luiz de Araujo Neto

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA
MECÂNICA.

Aprovada por:

Prof. Jules Ghislain Slama, D.Sc.

Prof. Webe João Mansur, Ph.D.

Prof. Moysés Zindeluk D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

JUNHO DE 2006

ARAUJO NETO, TITO LUIZ DE

Problemas Gerados pela Extração de
Rochas e Propostas para Mitigação do
Impacto Sonoro [Rio de Janeiro] 2006

XII, 200 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ,
M. Sc. , Engenharia Mecânica, 2006)

Dissertação – Universidade Federal
do Rio de Janeiro, COPPE.

1. Operação em Pedreiras
2. Extração de Rochas
3. Problemas de Ruído e Vibração

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

Eu dedico este trabalho:

A Deus e a todos os espíritos, que em sua infinita bondade e generosidade me ampararam por toda vida.

A meus pais e minha esposa Rose, por sempre me apoiarem e incentivarem a prosseguir nos estudos.

A meu filho, para que tenha a certeza que perseverar traz bons frutos.

Aos amigos que muito contribuíram para realização deste trabalho.

Agradecimentos:

- Aos professores do COPPE por compartilharem seus conhecimentos e experiências.
- Ao professor Jules G. Slama, por nos acolher junto ao COPPE para a realização deste trabalho.
- Ao amigo Roberto Pinto, companheiro incansável de todas as horas, com sua clareza de opinião e propriedade nas sugestões.
- Ao amigo Alexandre Antonini da empresa VMA engenharia de explosivos e vibrações, por nos aproximar da realidade dos procedimentos e operações com explosivos.
- Ao amigo Marcelo da empresa Grom Acústica e Automação, pelo auxílio na elaboração do mapa de simulação sonora.
- Ao meu irmão Wagner e minha cunhada Andréa pelas sugestões e incentivo.
- A FEEMA pela oportunidade da realização deste trabalho.
- Ao amigo Pedro Alberto R. Couto, do SINDIBRITA, pelas informações disponibilizadas.

Resumo da Dissertação apresentada a COPPE/RJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

PROBLEMAS GERADOS PELA EXTRAÇÃO DE ROCHAS E PROPOSTAS PARA
MITIGAÇÃO DO IMPACTO SONORO.

Tito Luiz de Araujo Neto

Junho/ 2006

Orientador: Jules Ghislain Slama.

Programa: Engenharia Mecânica

Este trabalho tem o objetivo de identificar os principais problemas advindos da exploração mineral, em particular a extração de rocha com a utilização de explosivos, bem como elencar as ações mitigadoras para a redução do impacto sonoro das operações de extração.

Abrange uma pequena apresentação das operações realizadas, do mercado de pedras para a construção civil, das tecnologias existentes para extrações de diferentes produtos, os métodos extrativos, os efeitos e conseqüências das operações das pedreiras no meio ambiente.

Na parte final, é realizado um estudo de caso real, com apresentação de dados medidos e uma simulação utilizando-se o programa *Matlab* juntamente com a lógica matemática de conjuntos nebulosos (lógica Fuzzy). Com isto buscamos representar o provável incômodo sonoro proveniente das operações de desmonte de rocha.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/RJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Sciences. (M.Sc.)

PROBLEMS GENERATED FROM THE EXTRACTION OF ROCKS AND
PROPOSALS FOR REDUCTION OF SONOROUS IMPACT.

Tito Luiz de Araujo Neto

June/2006

Advisor: Jules Ghislain Slama

Program: Mechanical Engineering

This work aims to identify the problems brought by the mineral exploration, in particular from the extraction of rocks with explosive use, as well as rank the possible actions for the reduction of the sonorous impact of the operations of extraction.

It encloses a small presentation of the accomplished operations, the market of rocks for the civil construction, the existing technologies for extractions of different products, the extractive methods, the effect and consequences of the operations of the quarries in the environment.

In the final part, a study of a real case is done, with the presentation of measured data and a simulation using the Matlab program together with the mathematical logic of misty sets (Logical Fuzzy). With this we search to represent the probable sonorous bothering proceeding from the operations of rock dismounting.

SUMÁRIO

LISTA DE DEFINIÇÕES.....	ix
CAPÍTULO I – RECURSOS MINERAIS.....	1
1.1 UTILIZAÇÃO DOS RECURSOS MINERAIS.....	1
1.2 CONTEXTO GLOBAL E REGIONAL.....	6
CAPÍTULO II – OPERAÇÕES EM PEDREIRAS.....	11
2.1 EXTRAÇÃO DE ROCHAS.....	11
• RELAÇÃO CARGA E DISTÂNCIA.....	17
• FLUXO DAS OPERAÇÕES.....	25
• NR – 21, TRABALHO À CÉU ABERTO.....	26
2.2 EXPLOSIVOS.....	27
• TIPOS E USOS.....	28
2.3 TECNOLOGIAS DE EXTRAÇÃO.....	46
• MÉTODOS DE DESMONTE A CÉU ABERTO.....	46
• ROCHA ORNAMENTAL.....	34
• ROCHA INDUSTRIAL.....	38
• MINERAIS INCOERENTES.....	46
• DESMONTE HIDRÁULICO.....	46
• CORTE COM MAÇARICO.....	50
• TÉCNICA DO FIO HELICOIDAL.....	50
• TÉCNICA DO FIO DIAMANTADO.....	51
• SERRAS DIAMANTADAS DE CINTA OU CORRENTE.....	58
• TECNOLOGIA JATO DE ÁGUA.....	58

• TECNOLOGIA DA ARGAMASSA EXPANSIVA.....	62
• DESMONTE SUBTERRÂNEO.....	69
CAPÍTULO III – EFEITOS NO AMBIENTE.....	82
3.1 AS CONSEQÜÊNCIAS DA MINERAÇÃO.....	82
3.2 PROBLEMAS GERADOS POR DETONAÇÕES EM PEDREIRAS.....	89
3.3 RUÍDO IMPULSIVO.....	108
CAPÍTULO IV – PESQUISA E NORMAS.....	111
4.1 PESQUISA EM PEDREIRAS.....	111
4.2 NORMAS DE RUÍDO E VIBRAÇÃO.....	118
CAPÍTULO V – VISÃO AMBIENTAL.....	130
5.1 AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL.....	130
5.2 A MODERNA GESTÃO DA MINERAÇÃO.....	134
5.3 INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS.....	137
5.4 EXPOSIÇÃO DOS TRABALHADORES AO RUÍDO.....	141
5.5 QUALIDADE DO AR.....	148
CAPÍTULO VI – ESTUDO DE CASO.....	152
6.1 MEDIÇÕES E SIMULAÇÕES.....	156
CAPÍTULO VII – PROPOSTAS PARA MITIGAÇÃO DOS PROBLEMAS DE RUÍDO E VIBRAÇÃO.....	172
CAPÍTULO VIII – CONCLUSÃO.....	177
CAPÍTULO IX – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	179
CAPÍTULO X – ANEXOS.....	184

DEFINIÇÕES

Afloramento: é a exposição de rocha ou minério na superfície do terreno.

Banco ou bancada: sistema de exploração mineral em que a extração do material é realizada em degraus devido as condições topográficas.

Beneficiamento ou tratamento: processamento da substância mineral extraída, preparando-a com vistas à sua utilização industrial posterior.

BGS: Brita graduada simples, mix de pedra britada com diferentes granulometrias.

BGTC: Brita graduada traçada com cimento, mix de pedra britada com adição de cimento.

Bica corrida: Brita 01 e 02 mais pó de pedra, utilizada para subleito de pavimentação.

Bota-fora: local para deposição do estéril da mina e, às vezes, para o rejeito da usina de beneficiamento.

Caçamento: camada estéril que recobre a jazida mineral e que deve ser retirada para efeito de extração do minério na lavra a céu aberto.

Compartimentação geológica: situação física que alguns minerais se encontram na natureza em função de sua formação geológica.

Cristal: é a forma externa, geometricamente definida, da substância mineral.

Desmonte hidráulico: desmonte e desagregação do corpo mineral realizado pelo impacto de um jato d'água lançado por um monitor.

Estéril: termo usado em geologia econômica para as substâncias minerais que não têm aproveitamento econômico.

Jazidas aluvionares: depósitos formados por sedimentos transportados pelas águas dos rios que os acumulam em bancos formando jazidas.

Jazidas minerais: considera-se jazida toda massa individualizada de substância mineral ou fóssil aflorando à superfície ou existente no interior da terra, em quantidades e teores que possibilitem seu aproveitamento em condições econômicas favoráveis.

Lavra ambiciosa: é aquela exercida de modo a dificultar ou impossibilitar o aproveitamento ulterior da mina.

Lavra clandestina: é aquela praticada sem título hábil(de concessão ou licença / registro), que a autorize ou justifique.

Mina: é a jazida mineral em fase de lavra, abrangendo a própria e as instalações de extração, beneficiamento e apoio.

Mina concedida: é aquela cujo direito de lavra está consubstanciado em ato emanado do Governo Federal.

Mina manifestada: em lavra, ainda que transitoriamente suspensa a 16 de julho de 1934 e que tenha sido manifestada na conformidade do artigo 10 do decreto 24.642 de 10 de julho de 1934 e da Lei nº 94 de 10 de setembro de 1935.

Mineral: é toda substância natural formada por processos inorgânicos e que possui composição química definida. O mineral não significa somente matéria sólida, pois água e mercúrios em temperatura ambientes são líquidos.

Minerais combustíveis: minerais que são utilizados como matérias-primas para a produção de metais.

Minerais metálicos: são aqueles que podem ser utilizados como matérias-primas para a produção de metais.

Minerais não-metálicos: são aqueles não utilizados para a obtenção dos metais, mas sim como matérias-primas para diversos setores da indústria.

Minério: mineral ou associação de minerais que pode, sob condições econômicas favoráveis ser utilizado como matéria prima para a extração de um ou mais metais. Na falta de designação adequada, extensivo também a não-metálicos.

Bens minerais carentes: são os que ainda não são conhecidos no território nacional, criando assim a necessidade de importação.

Bens minerais deficientes: são aqueles que ocorrem em quantidades insuficientes para satisfazer ao consumo interno, sendo, portanto, necessária sua importação.

Bens minerais suficientes: são os que possuem reservas que poderão suprir as necessidades do país em longo prazo, podendo até ser exportado em determinadas circunstâncias.

Bens minerais abundantes: são os que, a julgar pelas reservas conhecidas, poderão, além de suprir as necessidades internas, ser exportados sem risco para o abastecimento nacional a longo prazo.

Ocorrência mineral: indícios que poderão indicar a existência de uma jazida mineral.

Plano de fogo: detalhamento da distribuição de cargas explosivas.

Potencial efetivo: áreas onde existem reservas minerais em volume e quantidade que justifiquem economicamente a extração.

Potencial mineral: áreas e regiões nas quais ocorrem reservas minerais que indicam a possibilidade de sua exploração.

Potencial restrito: áreas e regiões nas quais os depósitos minerais ocorrem em pequenas quantidades e/ou baixos teores não se justificando, economicamente, o seu aproveitamento.

Recuperação da reserva: relação entre a reserva de minério que pode ser extraída e a sua reserva total conhecida.

Rejeito: rochas ou minerais inaproveitáveis presentes no minério e que são separados deste, total ou parcialmente, durante o beneficiamento.

Rocha: é um agregado de uma ou mais espécies de minerais constituindo unidades definidas da crosta terrestre. Rocha simples é aquela constituída de um único mineral; rocha composta é a constituída de vários minerais como o granito, composto basicamente de quartzo, feldspato, mica e outros minerais secundários.

Superficial: é o proprietário do terreno, excluindo o bem mineral que porventura nele exista.

Rocha fresca ou sã: é aquela em que os elementos originais ou primitivos não sofreram transformações movidas pelo intemperismo.

Rocha magmática: é aquela formada pelo resfriamento e consolidação do magma, material em estado de fusão (semelhante às lavas vulcânicas) que se encontram no interior da terra. Ocorrem, como via de regra, em forma de corpos maciços. (Rochas magmáticas, topografia acidentada e corpo maciço. Não apresentam camadas).

Rocha metamórfica: é toda originada da ação da pressão e temperatura, sobre outras rochas. Apresentam camadas inclinadas ou dobradas. (Rochas metamórficas: topografia acidentada e mineral orientados em plana inclinada ou dobra).

Rocha sedimentar: é aquela formada em regiões topograficamente mais baixas (vales, depressões) pelo acúmulo de sedimentos, que são transportados e depositados nesses locais. Posteriormente, pelo seu próprio peso ou pela cimentação por meio de soluções circulantes,

ocorre sua consolidação. Apresenta-se em camadas horizontais ou quase.(Rochas sedimentares: Topografia suave a plana, camadas horizontais).

Capítulo I

1.1 UTILIZAÇÃO DOS RECURSOS MINERAIS

A existência de recursos minerais em um certo território é uma decorrência dos fenômenos geológicos que ocorreram ali num passado remoto.

Os minerais, geralmente, acham-se largamente disseminados nas rochas, mas poucas vezes formam concentrações passíveis de extração em condições econômicas.

As jazidas minerais são essas concentrações naturais de minérios e minerais que existem como consequência de fenômenos geomorfológicos ocorridos em períodos muito anteriores à presença humana, muitos deles ainda continuam a se processar porém a uma velocidade imperceptível no período de uma vida humana.

A formação das jazidas não se realizou de maneira uniforme e constante, mas, ao contrário, em períodos de maior atividade, separados por épocas de relativa serenidade no interior da Terra.

Para a exploração das jazidas minerais são necessárias condições naturais que independem da ação do homem de sua condição socioeconômica ou do desenvolvimento cultural.

Satisfeitas as primeiras, a utilização dos minerais fica condicionada a fatores humanos diretamente ligados à capacidade tecnológica e ao desenvolvimento político e econômico.

A expansão dos conhecimentos tecnológicos nas últimas décadas permitiu estender a maior número de países a possibilidade de utilizar os recursos minerais, ultimamente presenciamos um surto de progresso material que se amplia cada vez mais em todos os continentes.

A exploração dos minerais na Antiguidade foi realizada ao acaso, seguindo os afloramentos que despertavam curiosidade e atenção; com o decorrer dos tempos foram sendo catalogados fatos e observações que orientavam as explorações bem sucedidas e assim acumulou-se uma experiência que vem da mineração na Europa desde a Idade-Média.

Tanto no domínio da pesquisa geológica quanto na exploração e extração dos minérios e no beneficiamento necessário para entregar ao consumidor o produto utilizável, tem havido notáveis aperfeiçoamentos nestas últimas décadas.

Algumas jazidas são facilmente reconhecidas porque se encontram na superfície do solo apresentando características que despertam a atenção pela disparidade com os materiais comuns, ao redor, enquanto outras encontram-se em locais a grande profundidade e só podem ser descobertas por meio de processos geofísicos, geoquímicos ou por sondagens profundas.

As jazidas que afloram na superfície podem ser descobertas facilmente pelos prospectores, pessoas muitas vezes possuidoras de poucos conhecimentos técnicos, mas dotadas de grande capacidade de observação, percepção e persistência.

A descoberta ou estudo de jazidas não aflorantes, ao contrário, exige condições só acessíveis a grupos detentores de avançado desenvolvimento tecnológico e grande disponibilidades financeiras.

Entre as condições que facilitam a exploração dos recursos minerais de um local, salientam-se, além da existência dos próprios recursos, a disponibilidade de energia, o acesso a fontes abundantes de água, vias de acesso e transporte entre zonas de exploração e o mercado consumidor, disponibilidade de técnicas apropriadas e capital necessário à implantação de meios de produção adequados a cada caso.

A existência de uma jazida é condição necessária, mas não suficiente para sua transformação numa mina, com todas as atividades complementares.

É indispensável dispor-se de energia para extrair o minério, e leva-lo da forma natural até a forma utilizável, moê-lo, preparando-o para as operações de beneficiamento ou para dimensionamento exigido pelo consumidor.

A água é necessária aos trabalhos de lavagem e enriquecimento, bem como pode ser utilizada para mitigar problemas de poluição do ar.

O transporte é fator de grande importância quando se trata de movimentação de grandes massas, sobretudo de minérios de baixo valor unitário.

O fator tecnológico é decisivo nas explorações minerais e só depósitos excepcionalmente ricos podem suportar técnicas obsoletas ou emprego abusivo de mão-de-obra; a mecanização e a aplicação de processos aperfeiçoados constituem-se em condições necessárias para a garantia de êxito na exploração.

Finalmente, todo o conjunto de atividades complexas e intensivas só pode ser realizado se observados os parâmetros de controle e conservação ambiental, aliados à disponibilidade de recursos financeiros e de planejamento que atenda às implicações econômicas e sociais de cada região.

Os recursos minerais são bens esgotáveis, e não renováveis. Sua exploração transforma riqueza potencial em utilidades contribuintes para o bem-estar da coletividade. Pelo fato de não serem reprodutíveis, os recursos minerais vão escasseando cada vez mais à medida que se desenvolve a exploração e a atividade industrial.

O desenvolvimento e aprimoramento das técnicas de utilização e exploração são o meio de que se dispõe para retardar o mais possível a época do esgotamento das fontes de bens primários minerais.

A conservação dos recursos minerais por meio de uma eficiência maior na utilização, poupança no uso dos mais escassos, reciclagem dos materiais empregados e a substituição de processos obsoletos é uma atitude que se impõe em benefício das gerações futuras.

Para a boa compreensão do valor dos recursos minerais é importante ter conhecimento dos conceitos de mineral, rocha, minério, jazida, mina etc.

Mineral. É uma substância inorgânica de origem natural precisamente definida pelas suas propriedades físicas e químicas. Há milhares de minerais já devidamente estudados e catalogados, continuando, entretanto, as descobertas de novas espécies como resultado de investigações mais pormenorizadas e pela aplicação de métodos de pesquisa mais aprimorados.

Rocha. É um agregado de um ou vários minerais, formando as grandes massas da crosta terrestre. Em certos casos, a rocha pode ser formada de uma só espécie mineral, como é o caso do calcário, constituído por calcita, ou os folhelhos formados de argila, ou as camadas de quartzito formadas somente de quartzo. As rochas podem ser coesas, como o granito, ou inconsolidadas, como as areias.

Mais comumente, as rochas são constituídas por mais de uma espécie mineral, algumas predominantes, formando componentes essenciais, e outras em pequena proporção, constituindo os minerais acessórios.

Uma das rochas mais comuns é o granito, formado de quartzo, feldspato alcalino e mica, podendo ter como componentes acessórios, anfíbios, granada, turmalina, zircão etc.

As rochas são divididas em três grandes grupos: as **eruptivas**, que são formadas pela consolidação do magma; as **sedimentares**, que são formadas pela deposição de

partículas minerais ou orgânicas e as **metamórficas**, que , formadas de qualquer das maneiras anteriormente mencionadas, sofreram posteriormente alterações profundas que ocasionaram transformações na textura, na composição mineralógica etc.

Minério. É um mineral ou rocha que contém um metal ou mineral explorável em condições econômicas. O minério é a fonte de onde se extraem os metais ou outras substâncias minerais não-metálicas.

Há minerais que gozam da propriedade de serem também minérios, como a hematita, formado por óxido de ferro (Fe_2O_3) e onde mais comumente se extrai esse metal. O minério é, às vezes, uma rocha, como no caso da canga da nossa região ferrífera, que é uma verdadeira rocha conglomerática, formada por fragmentos de hematita cimentados por limonita.

Algumas vezes, os minerais, as rochas e os minérios, embora com alto teor do elemento visado, não podem ser aproveitados por causa da presença de acompanhantes nocivos, incompatíveis com o emprego pretendido.

Considera-se *jazida* toda massa individualizada mineral ou fóssil aflorando à superfície ou existente no interior da Terra, e que tenha valor econômico; *mina* é a jazida em lavra, ainda que suspensa.

As condições necessárias para a transformação de uma jazida em mina variam com o tipo do material existente, seu valor comercial, a concentração, os minerais acompanhantes, a potência do corpo do minério, a profundidade a que ele se encontra e outras condições que influem sobre o custo unitário do produto útil obtido.

Certos minérios exigem tratamento mais difícil ou oneroso que outros; alguns, embora se apresentando na jazida em pequena concentração, podem sofrer tratamentos em grande escala, o que permite obter o material útil em condições muito vantajosas.

1.2 CONTEXTO GLOBAL E REGIONAL

O Contexto Global

O grau de desenvolvimento de um País tem diversos indicadores, um dos mais aceitáveis, é o consumo *per capita* de agregados para a construção civil. Este indicador reflete a real intensidade de desenvolvimento estrutural de uma cidade, pois está diretamente associada a vias de escoamento de produção, obra de arte como viadutos e pontes, saneamento básico, hospitais, escolas, moradias e toda a sorte de elementos intrínsecos ao desenvolvimento econômico e social de uma nação (SINDIBRITA¹).

No Brasil, este indicador de desempenho tem representado de forma geral, a situação econômica de país de terceiro mundo. Temos um consumo médio *per capita* da ordem de 1,4 toneladas. Para se traçar um paralelo, nos Estados Unidos da América este consumo é de mais de 8 toneladas. Em Ontário, no Canadá, recordes de consumo foram registrados em grandes surtos de desenvolvimento, superando a marca de 15 toneladas de agregados por habitante. Na Europa, o consumo se situa, há muitos anos, acima de 7 toneladas. Nos Estados de São Paulo e Rio de Janeiro, onde as condições de desenvolvimento econômico são as maiores do país, este consumo é respectivamente de 4 toneladas e 2,1 toneladas por habitante.

Estes números indicam o quanto à sociedade brasileira é carente de desenvolvimento básico. Assim, como o processo de desenvolvimento é iminente, sobretudo de acordo com as previsões para o início do terceiro milênio, estes números confirmam a enorme demanda reprimida existente, indicando a importância da produção destes minerais para nosso País. Observemos alguns dados.

¹ SINDIBRITA – Sindicato da Indústria de Mineração de Brita do Estado do Rio de Janeiro

Na França:

- São consumidos de 100 a 300 toneladas de agregados na construção de uma moradia;
- Uma estrutura predial básica consome de 2.000 a 4.000 toneladas de agregados;
- Um quilômetro de via férrea consome aproximadamente 10.000 toneladas;
- Um quilometro de auto-estrada utiliza cerca de 30.000 toneladas de agregados;

Para o Brasil tem-se dado da FIPE/USP²:

- Uma unidade básica de moradia de 35 metros quadrados consome perto de 21 toneladas de agregados, o que dá 0,35 metros cúbicos por metro quadrado construído;
- Em habitações populares, uma unidade básica de 50 metros quadrados consome algo em torno de 68 toneladas de agregados, ou 0,8 metros cúbicos por metro quadrado construído;
- Em uma obra padrão de 1.120 metros quadrados para escolas são consumidos 985 metros cúbicos de agregados, ou 1.175 toneladas;
- Em pavimentação urbana, o consumo varia de acordo com a densidade habitacional da cidade. Assim, um quilometro de via pavimentada com 10 metros de largura, consome, de 2.000 à 3250 toneladas de agregados.

Especificamente para o consumo de brita, relacionam-se os seguintes dados do DER-SP³:

- Um quilometro de estrada vicinal consome 1.200 metros cúbicos de brita na formação de sua base;

² FIPE/USP: Fundação Instituto de Pesquisas/Universidade de São Paulo

³ DER/SP – Departamento de Estradas de Rodagem – São Paulo

- Um quilometro de estrada vicinal consome 210 metros cúbicos de produtos de pedreiras na capa asfáltica;
- Um quilômetro de estrada vicinal consome 200 metros cúbicos de brita na construção de estruturas de drenagem;
- Em São Paulo, um quilometro de estrada pavimentada normal consome 5.500 metros cúbicos de brita;

Dados semelhantes e de impacto similar estão disponíveis em todo o País. Para visualizarmos a importância destes bens minerais, a produção anual de agregados para a construção civil em todo o País é de mais de 200 milhões de toneladas, figurando-se atualmente em primeiro lugar na produção nacional de minerais, superando até mesmo o minério de ferro. Além disso, são os únicos bens minerais que são produzidos em praticamente todo o território nacional.

O Contexto Regional

O Estado do Rio de Janeiro tem atualmente a segunda maior produção de pedra britada do País, com volumes que, não raro, atingem a casa dos 10 milhões de metros cúbicos.

Notadamente junto ao município do Rio de Janeiro e cercanias, inúmeras obras e mobiliários urbanos melhoraram a qualidade de vida da população. Marcos da construção civil, como a construção do Aterro do Flamengo, o Aeroporto Internacional, o Maracanã, a ponte Rio-Niterói, a Linha Vermelha, a Linha Amarela e mais recentemente o Programa de Despoluição da Baía de Guanabara, tiveram seus projetos baseados nas condições de fornecimento deste bem mineral. Assim, o preço de um produto de tal importância social deve garantir o acesso às mais diversas administrações públicas e privadas devem permitir que obras de caráter autônomo sejam desenvolvidas.

O preço final da pedra britada, ou seja, o preço do minério posto na obra é consideravelmente afetado pelo custo do transporte ou frete, tendo em vista o baixo valor agregado do produto. A título de ilustração, na Alemanha estudos feitos indicam que os cofres públicos seriam onerados em 250 milhões de Marcos anuais caso houvesse um aumento médio de apenas 10 quilômetros de distância entre o ponto de produção e o ponto de consumo. Nos Estados Unidos, a Associação Nacional de Agregados, indica que o preço da brita colocada na obra seria duplicado com um aumento de 24 milhas no transporte entre a produção e o consumo. Diversos outros estudos e constatações somente reafirmam que maiores distâncias entre as obras e a produção de brita acarretam significativos aumentos de preços finais do produto, onerando substancialmente o custo e a viabilização destas obras. Basicamente, é por isso que as pedreiras operam em áreas próximas aos centros urbanos.

Na verdade as empresas produtoras de brita eram, no passado, consideradas estratégicas para o desenvolvimento das cidades e melhoria da qualidade de vida de seus cidadãos. Eram vistas como produtoras de insumos básicos para o desenvolvimento da construção civil, fonte de avanços sobre fronteiras que o modelo de crescimento desejava à época.

Assim, durante décadas as empresas de mineração desenvolveram-se como paradigmas do desenvolvimento, suportando os marcos de construção das cidades. A transformação dos valores das últimas décadas veio trazer uma condição oposta a do passado. As empresas de mineração de brita passaram a ser vistas como ameaças à qualidade de vida, ao invés de serem consideradas como produtoras de benefício social. O balanço entre os benefícios e custos sociais impostos por este tipo de atividade industrial passa a ser, assim, o reflexo do choque entre o novo e o antigo. Parte de um processo de

transformação, estas empresas encontram-se presas dentro de um contexto tecnológico onde o ultramoderno ainda convive com o ultrapassado.

Capítulo II

2.1 EXTRAÇÃO DE ROCHAS

A atividade industrial das pedreiras resume-se no desmonte de rocha e seu posterior beneficiamento produzindo brita e pó-de-pedra, dentro de uma faixa granulométrica.

O mercado consumidor básico é constituído pelas obras de construção civil e pavimentação.

Uma empresa de mineração de rochas para uso imediato na construção civil opera retirando do subsolo o bem mineral necessário para a utilização *in natura*, trabalhando de forma simples para atender às especificações de granulometria exigidas pelas aplicações e a demanda do mercado. Assim, as aplicações dos produtos resultantes do processo de beneficiamento do material minerado, variam de acordo com sua granulometria. Segundo o SINDIBRITA, no concreto, utiliza-se principalmente a brita nº 1, enquanto que na massa asfáltica usa-se o pó-de-pedra e a brita nº 0, já em lastros de vias férreas usa-se a brita nº 3. São, ainda, usuais as aplicações diferenciadas e específicas para cada tipo de obra, impondo-se à empresa demandas por produtos isolados ou em mix de produtos próprios e outros produtos. Os principais produtos são:

- Pó de pedra
- Brita nº 0
- Brita nº 1
- Brita nº 2
- Brita nº 3
- Pedra-de-mão
- Bica corrida
- BGS
- BGTC

O processo produtivo é composto por três etapas básicas que podem ser classificadas de acordo com as funções que acumulam. A primeira delas, é a etapa de lavra do bem mineral propriamente dito. O processo de produção tem início com a remoção do capeamento ou solo residual que em alguns casos cobre a rocha sã (foto 01). Após a limpeza do terreno

este material estéril é depositado em locais onde inexitem rochas aproveitáveis, chamados “bota fora”.

Em seguida vem a fase de perfuração da rocha, com furos variando em diâmetro e profundidade.



Foto 01 – Decapagem do terreno

Estes furos são feitos por perfuratrizes de carreta e marteletes pneumáticos.

A escolha do modo de perfuração depende da lavra e da produção da empresa. Outro detalhe é a inclinação dos furos verticais, cujos ângulos varia de 15° a 20°.

Após a perfuração vem o carregamento com explosivo e o desmonte da bancada, operação denominada de fogo primário. Esta operação é feita de acordo comum “Plano de fogo” previamente elaborado sob a supervisão de engenheiros com experiência em planejamento de lavra. A etapa consiste no carregamento dos furos com explosivos previamente selecionados e dentro de especificações técnicas condizentes com o melhor desempenho e segurança. Carregados, os furos são ligados por cordéis detonantes (foto 02) e ou acessórios de iniciação pontual e, posteriormente iniciados e detonados.

Forma de carregamento dos furos.

Divide-se o carregamento do furo em três partes: carga de fundo; carga de coluna e tamponamento. A carga de fundo representa propriamente o desmonte, sendo, portanto mais concentrada ou densa que a carga de coluna. A maior concentração serve para romper a base da bancada, pois é nesta posição que a “resistência da rocha” é proporcionalmente maior que nas proximidades da superfície.

A carga de coluna auxilia no desprendimento e fragmentação da bancada. Por último, vem o tamponamento, que pode ser feito com, pó-de-pedra (mais usado); serragem; pedrisco ou tamponamentos pré-moldados de material plástico já existentes no mercado. Esta vedação é responsável pela



Foto 02 – Detalhe de ligação

redução da expansão dos gases através do colar do furo. Conseqüentemente o tampão serve para reduzir o nível de pressão sonora resultante da detonação. Todavia, um tampão de altura elevada ou mau dimensionada, pode incrementar a vibração transmitida pelo solo.

A detonação de cargas explosivas confinadas em furos cilíndrica gera tensões dinâmicas que normalmente se propagam na forma de ondas sísmicas. Em seguida a detonação do explosivo, as paredes do furo ficam sujeitas a uma perturbação dinâmica violenta, que ocorre num intervalo de tempo da ordem de microssegundos, provocando deformações e fraturas ao redor do furo (figura 01).

Ondas x Face Livre

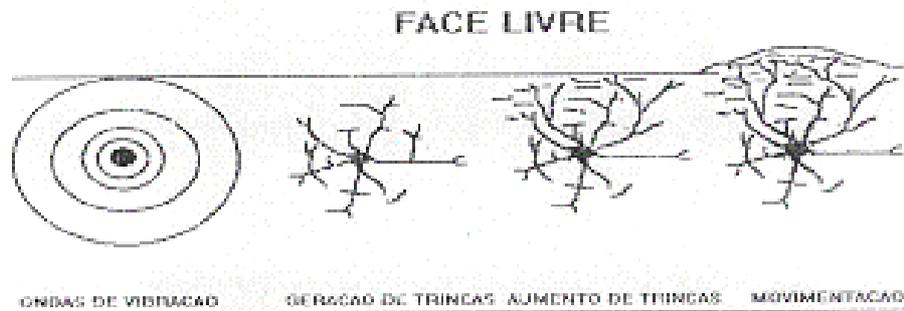


Figura 1 – Deformações e fraturas

Outros fenômenos e ou fatores seguem esta fase, todavia nos limitaremos a estes.

Segundo Bollinger (1980) existem duas zonas básicas associadas a geração de ondas sísmicas, a saber:

Zona de geração – Na qual se libera a energia dos explosivos. Pressões da ordem de 10^2 a 10^5 atmosferas são geradas em curtíssimo tempo. A certa distância da explosão, estes processos inelásticos cessam e dão lugar a efeitos elásticos. Pequena quantidade de energia liberada na explosão é convertida na forma elástica. Estes distúrbios elásticos se propagam na forma de ondas sísmicas.

Zona de Transmissão Sísmica – Esta zona é caracterizada por feitos elásticos, ou seja, parte do meio sólido retorna as suas configurações iniciais após a passagem do distúrbio sísmico.

Três tipos básicos de ondas são produzidos na explosão:

- a) Ondas primárias **P** ou ondas de tração e compressão;
- b) Ondas secundárias **S** ou de cisalhamentos;
- c) Ondas de superfície: Rayleigh e Love.

As duas primeiras são conhecidas também como ondas de corpo, pois se propagam no interior do material (figura 02). A terceira somente se propaga ao longo da superfície, cuja amplitude decresce rapidamente com a profundidade.

A direção das ondas primárias (ondas de tração e compressão) é coincidente com o movimento das partículas do solo já as ondas secundárias (ondas de cisalhamento) apresentam direção de propagação transversal a direção do movimento das partículas (figura 02). Estas ondas não transportam matéria, mas apenas representam a transferência de energia de um ponto a outro do solo e dependem das propriedades elásticas dos materiais nos quais se propagam.

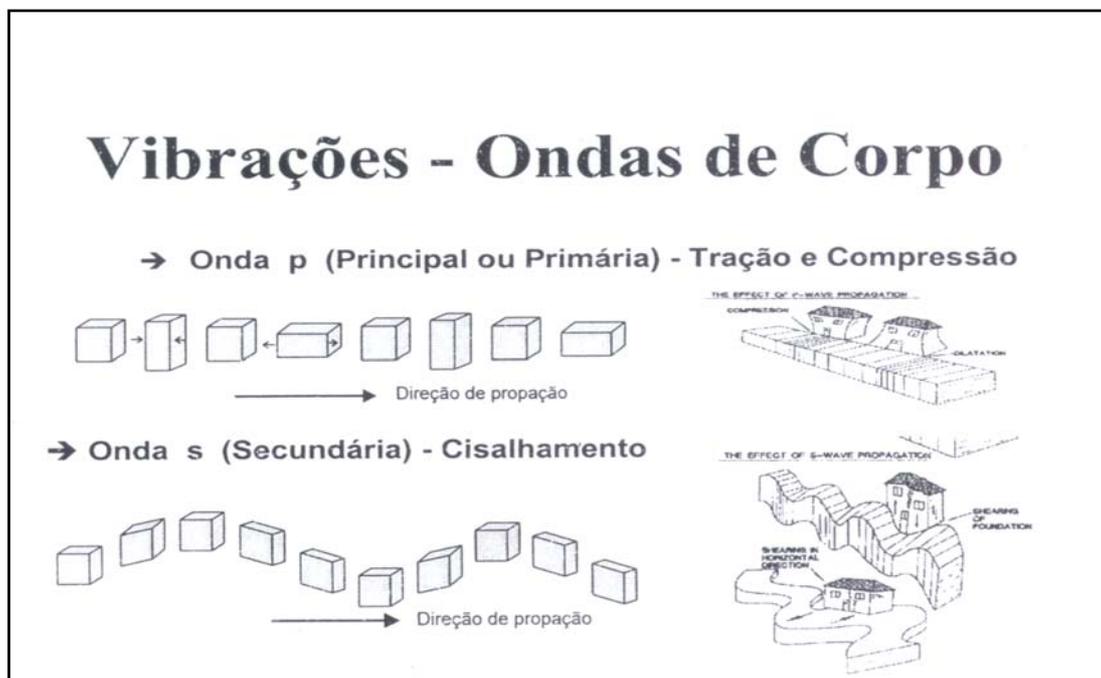
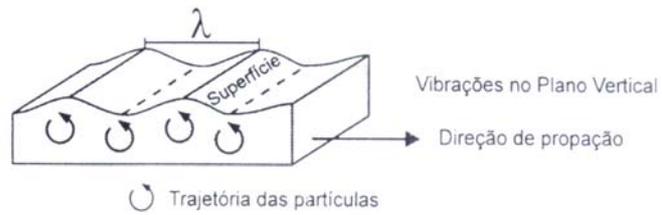


Figura 02 – Ondas Primárias e Secundárias

Ondas de Superfície

→ Onda Rayleigh



→ Onda Love

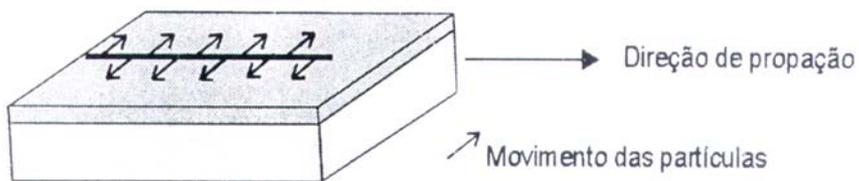


Figura 03 – Ondas secundárias

A tabela 01 seguinte fornece alguns dados sobre ondas **P** (ondas primárias ou ondas de compressão), **S** (ondas secundárias ou de cisalhamento) e **R** (ondas de Rayleigh ou de superfície) em diversos materiais, segundo Bollinger (1980).

Tabela 01 – Tipos de onda em diversos materiais

Tipo de Material	Ondas P Velocidade em m/seg	Ondas S Velocidade em m/seg	Ondas Rayleigh Velocidade em m/seg	Densidade (g/cm ³)
Granito	3960-6100	2130-3350	1960-3082	2,67
Gabro	6550	3440	3165	2,98
Basalto	5610	3050	2806	3,00
Dunito	7990	4080	3754	3,28
Arenito	2440-4270	910-3050	837-2806	2,45
Calcário	3050-6100	2740-3200	2521-2944	2,65
Folhelho	180-3960	1070-2290	985-2107	2,35
Sal	4390-6490	-	-	2,20
Gipsita	2130-3660	1100	1012	2,30
Ardósia	3660-4450	2870	2641	2,80
Mármore	5790	3510	3229	2,75
Quartzito	6050	-	-	2,85
Xisto	4540	2870	2641	2,80
Gnaisse	4720-5580	-	-	2,65
Aluvião	500-1980	-	-	1,54
Argila	1130-2500	580	534	1,40
Solo	150-760	90-550	81-506	1,1-2,0
Tilito	400	-	-	1,5-2,0
Areia	1400	460	423	1,93
Gelo	3350	-	-	0,9
Ar	340	-	-	-
Aço	6100	3050	2806	7,70
Ferro	5790	3200	2944	7,85
Alumínio	6550	2990	2750	2,70
Concreto	3570	2160	1987	2,7-3,0
Borracha	1040	30	28	1,15
Plástico	2350	1520	1396	-
Celulose	3600	1710	1573	-
Água	1460	-	-	1,0

RELAÇÃO ENTRE CARGA EXPLOSIVA E DISTÂNCIA:

A intensidade das ondas sísmicas e a distância seguem a seguinte lei:

$$V = K \left(\frac{R}{\sqrt{Q}} \right)^{-m} = K (DE)^{-m} \quad (1)$$

V = velocidade da partícula em mm/seg.

R = Distância, em metros, na horizontal, entre o ponto de medição e o ponto de detonação.

Q = Carga máxima de explosivo (em quilograma) a ser detonada por retardo (por espera).

O valor de **K** e **m** são definidos em função do desmonte e do maciço rochoso.

A ABNT³ adotou pela Norma NBR 9653 os valores de: impacto pelo ar = 134 dB linear e velocidade de partícula, medida no lugar sujeito a danos V = 15 mm/seg. Esses valores já sofreram uma revisão, no sentido de aprimoramento de nova NBR⁴.

134 dB linear corresponde a um valor de pico = 100 Pascais.

Valor de pico = $10 \text{ Log } (P/P_0)^2$ onde P = pressão e P_0 = Pressão de referência = 20 micro Pascais = $20 \mu\text{Pa} = 20 \times 10^{-6} \text{ Pa}$ Valor de Pico = $134 = 10 \text{ Log } (P/20 \times 10^{-6})^2$
 $= 20 \text{ Log } (P \times 10^5/2)$

$134/20 = 6,7 = \text{Log } (P \times 10^5/2)$, donde $10^{6,7} = P \times 10^5/2$ $P = 2 \times 10^{6,7} \times 10^{-5} = 2 \times 10^{1,7} = 2 \times 50,12 = 100 \text{ Pa} = 100 \text{ Pascais}$.

Os valores da velocidade de vibração (V) e a distância reduzida ($R/Q^{1/2}$) são respectivamente, colocadas no eixo das ordenadas e das abscissas, em papel bi-log. O valor de K e de m (definidos em função do desmonte e do maciço rochoso) são obtidos graficamente por interpolação.

A NBR⁴ 9653 da ABNT⁵, revisão outubro / 2005 adota:

Impacto de ar (Air Blast): 134 dB (Linear)

Velocidade da partícula (medida no alvo sujeito a danos) em função da frequência pode variar: 15 a 50 mm/s.

⁴ NBR 9653 – Guia para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações em áreas urbanas

⁵ ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

DISTÂNCIA REDUZIDA (DR)

A distância reduzida é um desenvolvimento da lei de propagação do USBM⁶, e constitui um meio prático e efetivo no controle da vibração. A distância reduzida é definida pela relação:

$$DR = 2,2 \times R / (Q^{1/2}) \quad (2)$$

Sendo:

R = distância do tiro à estrutura (metros).

Q = carga máxima por espera (por retardo) (KG)

Se

DR > 50 → CONDIÇÕES DE VIBRAÇÃO SEGURAS

25 < DR < 50 → CUIDADOS DEVEM SER TOMADOS

DR < 25 → PROBABILIDADE DE DANOS.

O que observamos na prática, usando equipamentos sismógrafos modernos, para uma determinada lavra a céu aberto, após várias medições simultâneas (é necessário no mínimo três medidores), localizados em pontos previamente escolhidos, é possível obter-se uma série de valores de medição. Assim, por exemplo, após algumas detonações, com todos os dados anotados do plano de fogo, é possível obter-se a curva ajustada para aquela lavra que relaciona a carga de explosivo com os níveis de ruído e vibração. Isto conduz à determinação das cargas máximas por espera, e conseqüentemente definir planos de fogo ideais para evitar reclamações das comunidades próximas. É necessária medição futura de acompanhamento, pois é muito comum, em períodos de muita demanda de brita, aumentar-se os desmontes de rocha baseados tão somente nas encomendas, e aí podem começar as reclamações da população lindeira.

⁶ USBM – United State Bureau of Mines

Outro ponto importantíssimo é estabelecer a forma de desmonte das bancadas de forma que se faculte sempre a movimentação de equipamentos com a segurança devida, pois há necessidade de acessos para novas perfurações e manter a praça de produção com trajeto fácil.

Sismógrafos modernos possuem canais triortogonais para registro de vibrações pelo terreno e um canal para medida de níveis de pressão acústicas provenientes de detonações. O equipamento é configurado de tal maneira que o operador determine os valores de ordem de grandeza de trigger (gatilho) para disparar as medições e gravá-las na memória, ou seja, o equipamento fica instalado no campo “aguardando” que os valores de trigger, determinados pelo operador, cheguem até ele, para então disparar o início do processo de medição. Isto evita colocar valores indesejáveis na memória do equipamento ocupando espaço dos registros, enquanto não ocorre o evento que iremos medir. Assim, ficam arquivados, na memória do equipamento, tão somente os valores referentes à detonação. Lembramos que as medições ficam em locais distantes da extração mineral, e muitas vezes sem linha direta de visibilidade a olho nu. Por isso, a extrema necessidade de se usar o trigger. Tais sismógrafos calculam automaticamente os valores máximos de deslocamento, velocidade e aceleração de partícula em cada canal X; Y; Z. Para o item velocidade de partícula, mostra ainda para cada máximo a frequência (em Hertz) medida de zero ao valor de pico e o instante de ocorrência (em milisegundos) a partir do início de seu acionamento. Calcula ainda a resultante vetorial da velocidade de partícula, analisando em incrementos de tempo de um milisegundo. A forma de onda é também impressa sob comando do usuário. Tais sismógrafos têm os seus registros gravados nas atividades de campo descarregados (download) em computador, ambiente windows.

Com o material desagregado na praça de lavra ou na bancada inferior (foto 03), iniciam-se as etapas de carregamento (foto 05), transporte e desmonte secundário.

O carregamento é feito por máquinas carregadeiras que fazem o enchimento dos caminhões fora-de-estrada para que o material seja levado até a planta de beneficiamento. Os blocos de dimensões maiores que a capacidade de admissão dos



equipamentos de beneficiamento instalados são novamente fragmentados através “fogacho” (“fogo secundário”) ou um equipamento montado em escavadeira chamado rompedor hidráulico (foto 04), produzindo blocos menores que podem ser processados pelos britadores.

Foto 03 – Material desagregado na bancada



Foto 04 – Rompedor hidráulico

Neste ponto inicia-se a segunda etapa do processo produtivo chamada beneficiamento. Os blocos de rocha transportados são basculados no alimentador vibratório responsável pela condução gradativa do material ao britador primário de mandíbulas (foto 07). Este britador realiza uma primeira redução dimensional dos blocos, que são levados via correias transportadoras até o complexo de rebitagem (foto 06). Após a rebitagem do material, um sistema de peneiras vibratórias e classificatórias passa a operar no sentido de separar as diversas faixas granulométricas acondicionando-as em silos ou pilhas a céu aberto (figura 04).



Foto 05 – Carregamento / Transporte



Foto 06 – Pátio de britagem

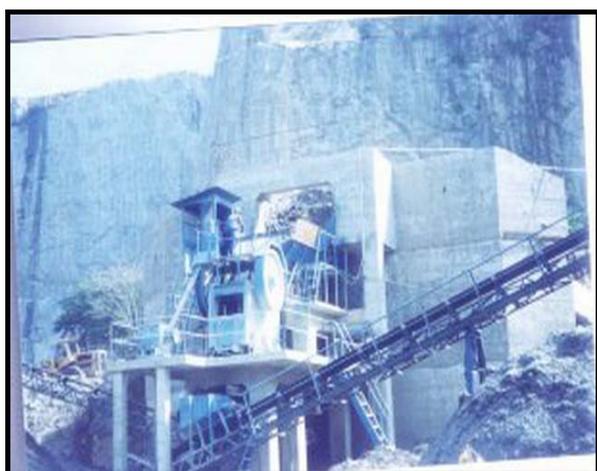


Foto 07 – Vista do britador

O produto assim está pronto para a comercialização nas diversas granulometrias como visto na tabela 02:

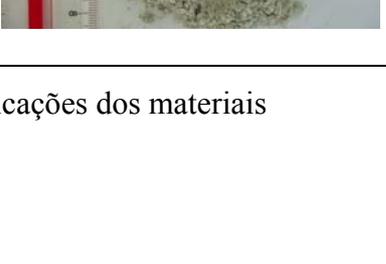
Material		Granulometria
Pedra nº 3		25 a 50 mm
Pedra nº 2		12 a 25mm
Pedra nº 1		5 a 12 mm
Pedrisco grosso		2 a 5 mm
Pedrisco médio		0,5 a 2 mm
Pedrisco fino		0,08 a 0,5 mm
Pó-de-pedra		0,08 mm

Tabela 02 - especificações dos materiais

A terceira etapa consiste na estocagem e comercialização dos produtos, feita pelo enchimento dos caminhões de entrega pelas pás-carregadeiras quando estocados a céu aberto (figura 04), ou diretamente dos silos quando armazenados nestes. Os caminhões próprios ou de terceiros, realizam o transporte final do produto até o cliente de acordo com as especificações solicitadas.

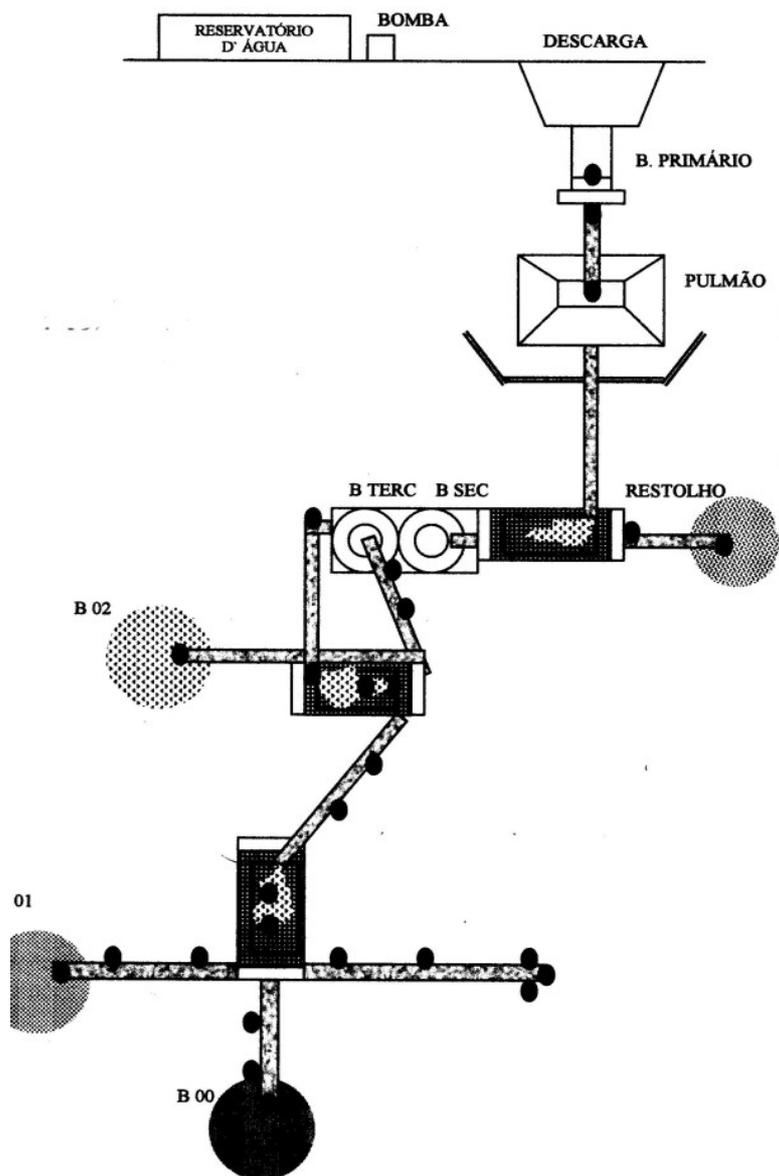
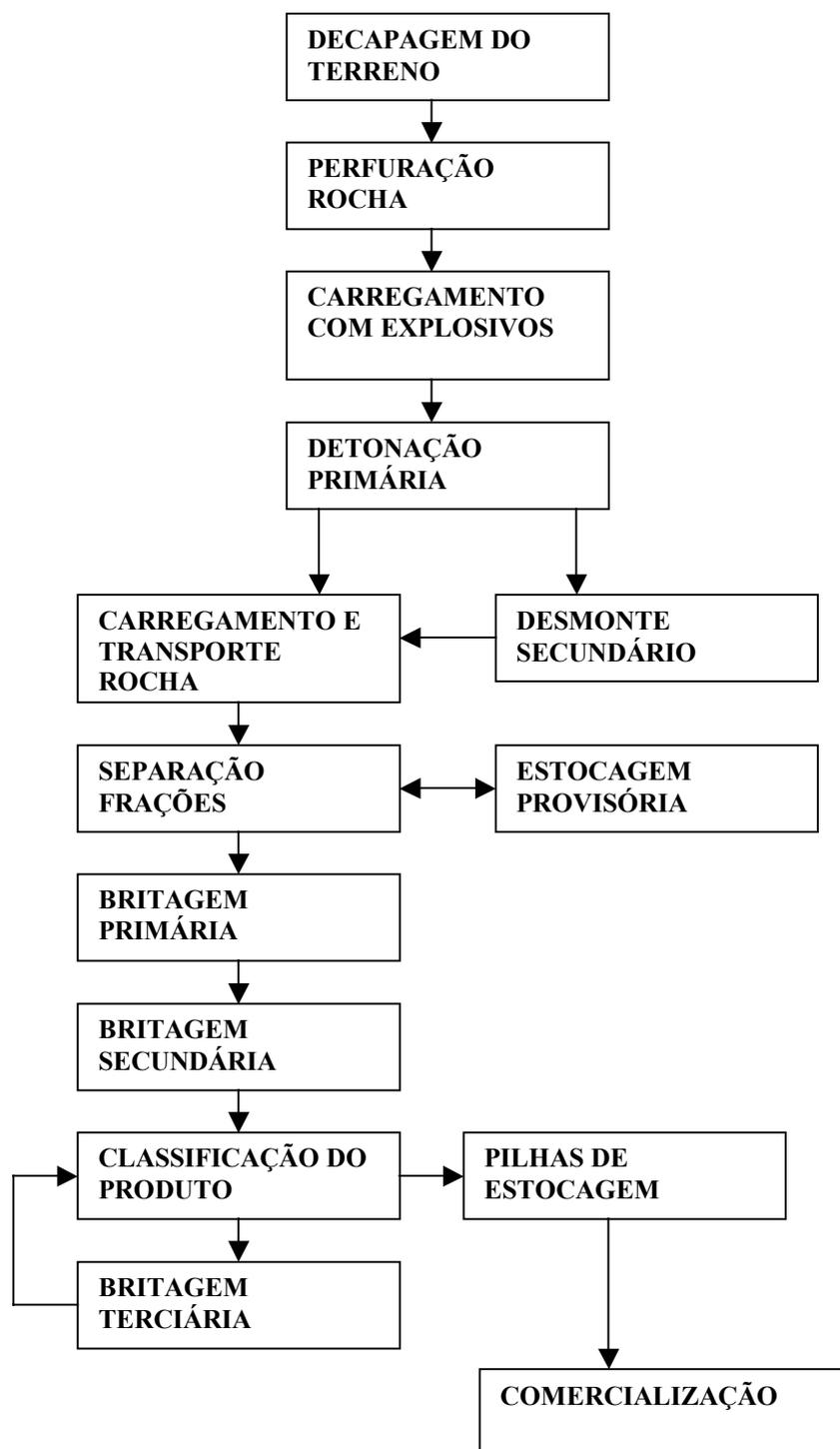


Figura 04 – Esquema do Pátio de armazenagem

Para uma melhor compreensão das operações e atividades desenvolvidas em uma pedreira apresentamos o fluxo a seguir (fluxograma 01).

Fluxograma do Processo



Quanto aos trabalhos realizados a céu aberto a Norma Regulamentadora nº 21 (NR – 21 Trabalho a Céu Aberto) define algumas medidas para proteção ao trabalhador. Apresentamos abaixo um fragmento desta NR que tem implicações com os trabalhos de extração mineral:

NR⁷ – 21 – TRABALHO A CÉU ABERTO

21.1 Nos trabalhos a céu aberto é obrigatória a existência de abrigos, ainda que rústicos, capazes de proteger os trabalhadores contra intempéries.

21.2 Serão exigidas medidas especiais que protejam os trabalhadores contra insolação excessiva, o calor, o frio, a umidade e os ventos inconvenientes.

...

21.11 A cobertura será sempre feita de material impermeável, imputrescível, não combustível.

⁷ NR – Norma Regulamentadora da Consolidação das Leis do Trabalho

2.2 EXPLOSIVOS

Explosivos são substâncias químicas que devidamente iniciadas reagem liberando uma grande quantidade de energia num curto espaço de tempo. Os explosivos podem ser divididos basicamente em duas categorias:

- Baixo explosivo – pólvora negra (nitrato de potássio e nitrato de sódio), etc;
- Alto explosivo – dinamite (base nitroglicerina).

Enquanto a característica de decomposição do baixo explosivo é a deflagração ou queima, a do alto explosivo é a detonação. Os dois tipos de decomposição podem diferir em mecanismo, porém a grande diferença está na velocidade. A pólvora negra (foto 06) queima progressivamente em contraste com o alto explosivo cuja decomposição é quase instantânea. Na combustão pode-se observar uma reação de oxidação geralmente por conta do oxigênio do ar o que leva a uma baixa velocidade de reação, já na detonação ocorre uma reação com a participação exclusiva do oxigênio intrínseco da substância explosiva elevando a velocidade de reação em função da quantidade de energia envolvida no processo, que sempre está acompanhada de uma onda de choque também conhecida como onda de detonação, conferindo através da elevada pressão dinâmica um enorme poder de ruptura.

Os explosivos industriais são 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 decomposição podem ser iniciadas das seguintes formas:

- Agentes mecânicos – pressão, atrito, impacto, vibração;
- Ação do calor – aquecimento, faíscas, chama;
- Ação de outro explosivo – espoletas, *boosters*, ou iniciadores.

Existem várias espécies de dinamites em uso e cada uma delas é subdividida em outros tipos diferenciados.

A detonação de altos explosivos envolve uma decomposição extremamente rápida das moléculas do explosivo. Isto se dá numa zona de reação gerando uma onda detonante cuja velocidade de propagação varia entre 1500 a 8500 m/seg.

É importante observar que a diferença no efeito produzido pela queima e detonação, não acontece na quantidade de energia liberada, mas sim na taxa de liberação de energia. Existem explosivos que passam da queima à detonação.

Em trabalhos de pedreira normalmente são necessários acessórios de detonação, que se constituem em dispositivos ou produtos para iniciar cargas explosivas, fornecer chama para iniciar explosão ou propagar uma onda detonante de ponto a ponto.

Existem inúmeros acessórios, tais como estopim de segurança (foto 08), acendedores (foto 09), etc. Os detonadores variam desde espoletas simples (foto 10) a espoletas elétricas de espera e cordel detonante (foto 11).

O cordel detonante se constitui num pequeno núcleo cilíndrico de explosivo, coberto por uma camada protetora, cuja função é isolar o núcleo de abrasões ou outros danos físicos e reduzir a possibilidade de penetração de água ou umidade. O cordel detonante não transmite chama a um explosivo, como no caso do estopim, apenas inicia as cargas de altos explosivos (foto 12) através da detonação de seu núcleo. A explosão do núcleo precisa ser iniciada por uma espoleta ou outro produto similar.

A quantidade de explosivos necessária para o desmonte de um metro cúbico de rocha, chama-se “razão de carregamento” do furo. Conhecida ou arbitrada a razão de carregamento e obtido o volume de rocha deslocado por cada furo, determina-se a carga

de explosivo por furo. Sabendo-se o número de furos detonados em um fogo, chegamos a carga de explosivos por fogo ou detonação.

Há vários tipos de cordel detonante no mercado. É necessário ainda o uso de reforçadores (foto 14) para romper a base da bancada, como também é importante a utilização de retardos (foto 15) que possibilitam um desmonte mais controlado e eficiente.

Algumas das principais propriedades dos explosivos são: força; densidade; sensibilidade; velocidade; resistência à água e produção de gases.

Parte dessa energia é utilizada para desagregar a rocha, fragmentando-a e lançando-a a uma certa distância de sua posição original, junto à praça de produção, formando pilhas que podem ser trabalhadas por equipamentos de carregamento.

A seguir exemplos de explosivos mais utilizados em Desmonte de rocha.



Foto 08 – Pólvora negra



Foto 09 – Estopim hidráulico



Foto 10 – Acendedor, embalagem individual



Foto 11 – Espoleta comum



Foto 12 – Cordel detonante



Foto 13 – Alto explosivo, emulsão encartuchada.



Foto 14 – tipos de reforçadores



Foto 15 – Diferentes tipos de retardos



Foto 16 – Explosivo pulverulento derramável.

Para orientar a utilização, manuseio e armazenagem de explosivos temos a Norma Regulamentadora nº 19 (NR – 19 EXPLOSIVOS), que apresenta diversas orientações e tabelas para garantir a segurança no uso de explosivos.

Quanto às atividades que utilizem explosivos também a Norma Regulamentadora nº 16 (NR-16 ATIVIDADES E OPERAÇÕES PERIGOSAS) apresenta algumas determinações que influem na atividade de extração mineral.

Os pontos mais relevantes das duas normas citadas acima se encontram no Anexo I.

2.3 TECNOLOGIAS DE EXTRAÇÃO.

Métodos de Desmonte a Céu Aberto

A exploração a céu aberto pode ser feita por:

- Degraus direitos (bancadas)
- Arranque de pequenas ou grandes massas

Nas explorações a céu aberto a dimensão dos degraus deve garantir a execução das manobras com segurança, obedecendo às seguintes condições:

- A altura das bancadas não deve ultrapassar 15 m, mas na configuração final, antes de se iniciarem os trabalhos de recuperação paisagística, esta não deve ultrapassar os 10 m;
- Na base de cada bancada deve existir um patamar, com, pelo menos, 2 m de largura, para permitir, com segurança, a execução dos trabalhos e a circulação dos trabalhadores, não podendo na configuração final esta largura ser inferior a 3 m, tendo em vista os trabalhos de recuperação;
- Os trabalhos de arranque numa bancada só devem ser retomados depois de retirados os escombros provenientes do arranque anterior, de forma a deixar limpos os pisos que os servem;
- Relação entre o porte da máquina de carregamento e a altura da frente não inferior a 1.

Sendo a exploração a céu aberto realizada, na sua grande maioria, por bancadas, é necessário a existência, de acordo com a lei em vigor, de um plano de trabalhos contendo os seguintes elementos:

- altura das frentes de desmonte (bancadas);
- largura das bases das bancadas;
- diagramas de fogo, caso existam;
- situação das máquinas de desmonte em relação à frente e as condições da sua deslocação;
- condições de circulação das máquinas de carregamento, perfuração e transporte;
- condições de circulação dos trabalhadores;
- configuração da escavação durante os trabalhos e no final dos mesmos, devendo-se ter em conta a estabilidade das frentes e taludes;
- e local de deposição de eventuais escombros e terras de cobertura, área e forma a ocupar por estes.

Os métodos de desmonte a céu aberto podem ser:

- Flanco de encosta;
- Corta (abaixo da superfície).

O método de desmonte está essencialmente dependente das características da exploração, pelo que o método usado para explorações de rocha ornamental será completamente diferente do usado em explorações de rochas industriais. Assim, dado o fato de as operações inerentes ao método de desmonte dos dois tipos de exploração serem diferentes, optou-se por tratá-los separadamente.

Rocha Ornamental

Nas explorações de rocha ornamental programa-se o desmonte de blocos primários, blocos esses que são definidos de acordo com as características do maciço, as produções requeridas, mão de obra e equipamentos disponíveis. Entende-se por tempo de desmonte de um bloco primário o tempo necessário à exploração até à retirada completa do estéril e do minério gerado pelo mesmo. A exploração de um bloco primário faz-se em 6 operações fundamentais, as quais se dividem por sua vez em operações secundárias.

As operações fundamentais após a limpeza da rocha útil, são:

- Furação
- Corte
- Derrube
- Esquartejamento
- Extração
- Acabamento

A definição de cada uma das operações deve constar no plano de lavra e tem por objetivo o aproveitamento máximo de blocos de dimensão comercial. O desmonte inicia-se com a operação de furação (Foto 17), sendo os furos realizados com o objetivo de definir materialmente a área do bloco primário e a largura das fatias, isto é a dimensão do bloco a desmontar (figura 05). Após a execução dos referidos furos é introduzido o fio helicoidal diamantado, roçadora ou jacto hidráulico com vista à realização do corte de levante (corte de fundo). Em seguida, para individualização do bloco primário, são realizados os cortes laterais. Uma vez terminada a individualização do bloco primário, procede-se ao corte do bloco em fatias que definem o bloco maior

transportável, com a operação de esquadramento. Após as fatias se encontrarem plenamente individualizadas, são derrubadas sendo os blocos transportados por grua ou através de outro equipamento de transporte se a cota estiver ligada ao exterior por rampa. Se o material exceder em peso a capacidade da grua, as dimensões forem superiores ao arco máximo da monolâmina, ou apresentar irregularidades excessivas, serão esquadrados na pedreira.

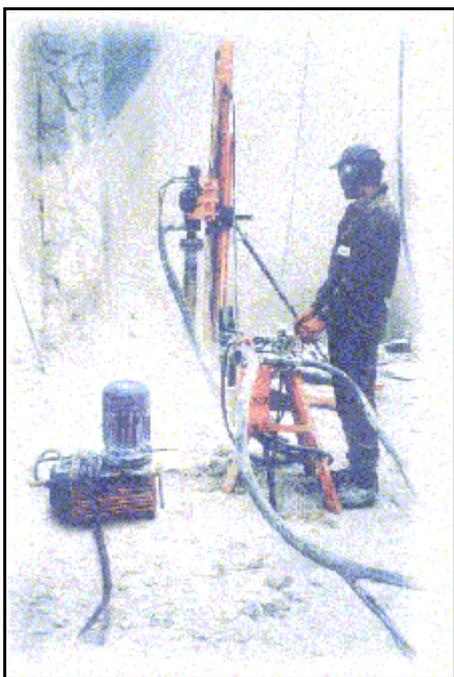


Foto 17 - Operações fundamentais e acessórias de desmonte de rocha ornamental (Granito)

O derrube de uma fatia é realizado com o auxílio de uma almofada ou macaco hidráulico (figura 05), que originam o desequilíbrio da fatia até esta cair numa "cama" previamente realizada (. A cama tem uma dupla função: amortecer o impacto da queda da fatia derrubada, minimizando a quantidade de fraturas induzidas pelo choque, e ajudar posteriormente a operação de esquadramento, permitindo a passagem do fio adiantado, sem que seja necessário proceder a nova furação. A cama é normalmente construída com terra, fragmentos de rochas e pneus velhos).

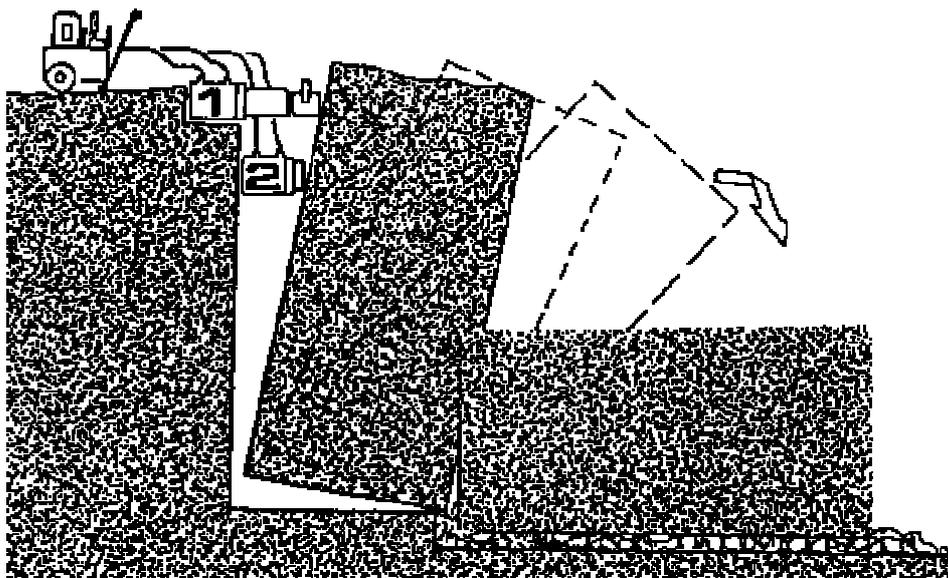


Figura 05 - Pormenor da operação de derrube de uma fatia

O esartejamento é sem dúvida a operação crítica no que diz respeito ao correto planejamento das operações. Este é bastante influenciado pelas características de fratura do bloco, operações anteriores e posteriores (figura 06), e pelo mercado. O desmonte termina com a limpeza da frente retirando-se o estéril para o bota-fora com o recurso de pá carregadora, e elevando o minério para o parque de blocos por grua ou dumper. Pelo fato de os blocos apresentarem dimensões e formas muito variadas (foto 18), torna-se necessário efetuar uma operação de acabamento. Esta operação, realizada pela monolâmina, tem por objetivo a correção total dos blocos transportados, com vista a posterior comercialização ou a serragem.

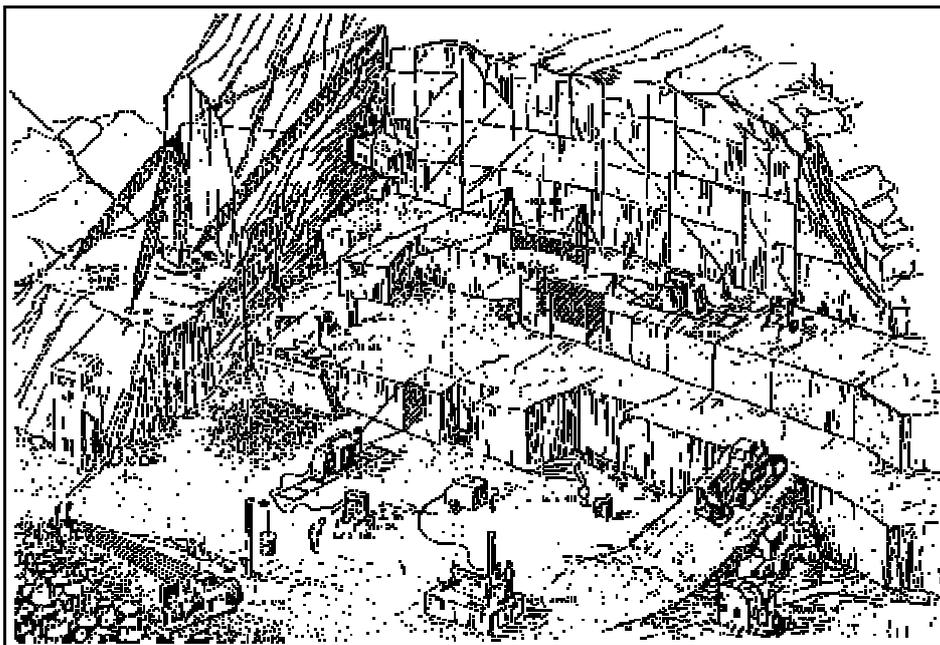


Figura 06 - Operações fundamentais de uma exploração de rocha ornamental (Mármore)

Quer a cota quer a frente em flanco de encosta terão uma inclinação que está limitada pelas características geomecânicas do maciço, sendo esta inclinação função da relação altura/patamar.



Foto 18 – Vista geral de lavra de blocos

Rocha Industrial

A indústria de rocha, ao invés da indústria extrativa de rocha ornamental, realiza o desmonte do minério com arranque por explosivos no caso de massa mineral consistente, ou por arranque direto ou hidráulico em massas incoerentes. Por conseguinte as operações fundamentais de uma exploração de rocha industrial são totalmente diferentes das operações realizadas numa exploração de rocha ornamental (Figura 07).

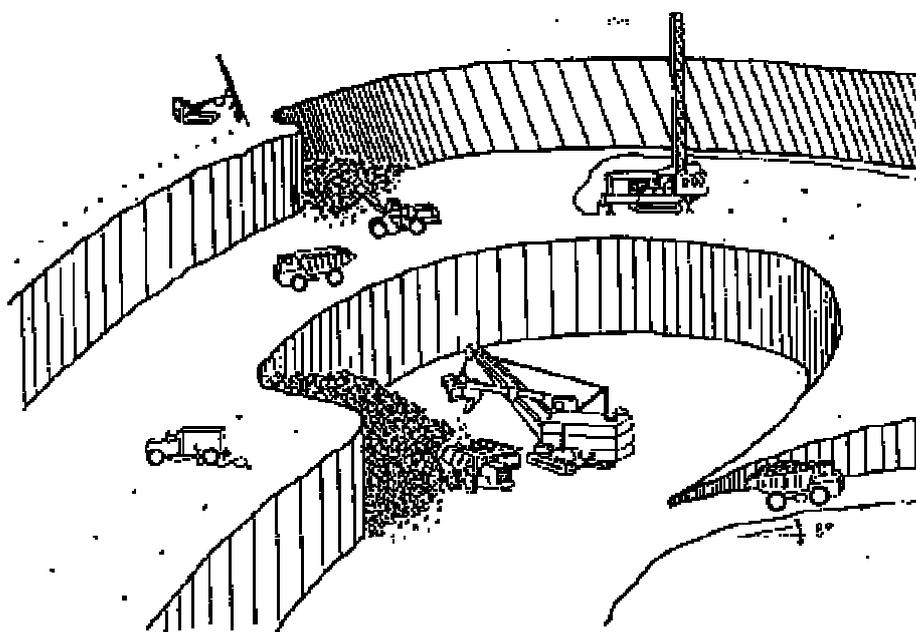


Figura 07 - Operações fundamentais de uma exploração de rocha industrial

Neste tipo de exploração são realizadas na frente de desmonte detonações com o intuito de proceder ao arranque do minério. A realização destes desmontes obedece a determinados critérios e fatores que determinam a concepção e eficiência da mesma. Quando existe compartimentação geológica é indispensável introduzir a sua presença na previsão da fragmentação, em virtude de as descontinuidades dos maciços rochosos serem responsáveis por distribuições irregulares da energia explosiva, quer absorvendo, quer dispersando as ondas da explosão através de fendas pré-existentes na

vizinhança dos furos. O diâmetro das cargas explosivas deve ser tão próximo quanto possível do diâmetro dos furos, no caso de explosivos encartuchados, não deve ser nem tão pequeno que impeça o desenvolvimento completo da detonação, nem tão grande que possa originar vibrações, sopros exagerados, ou mesmo o fenômeno da sobrefraturação da rocha remanescente. Em seguida é apresentada uma figura onde podemos observar a configuração de uma típica exploração a céu aberto (figura 08).

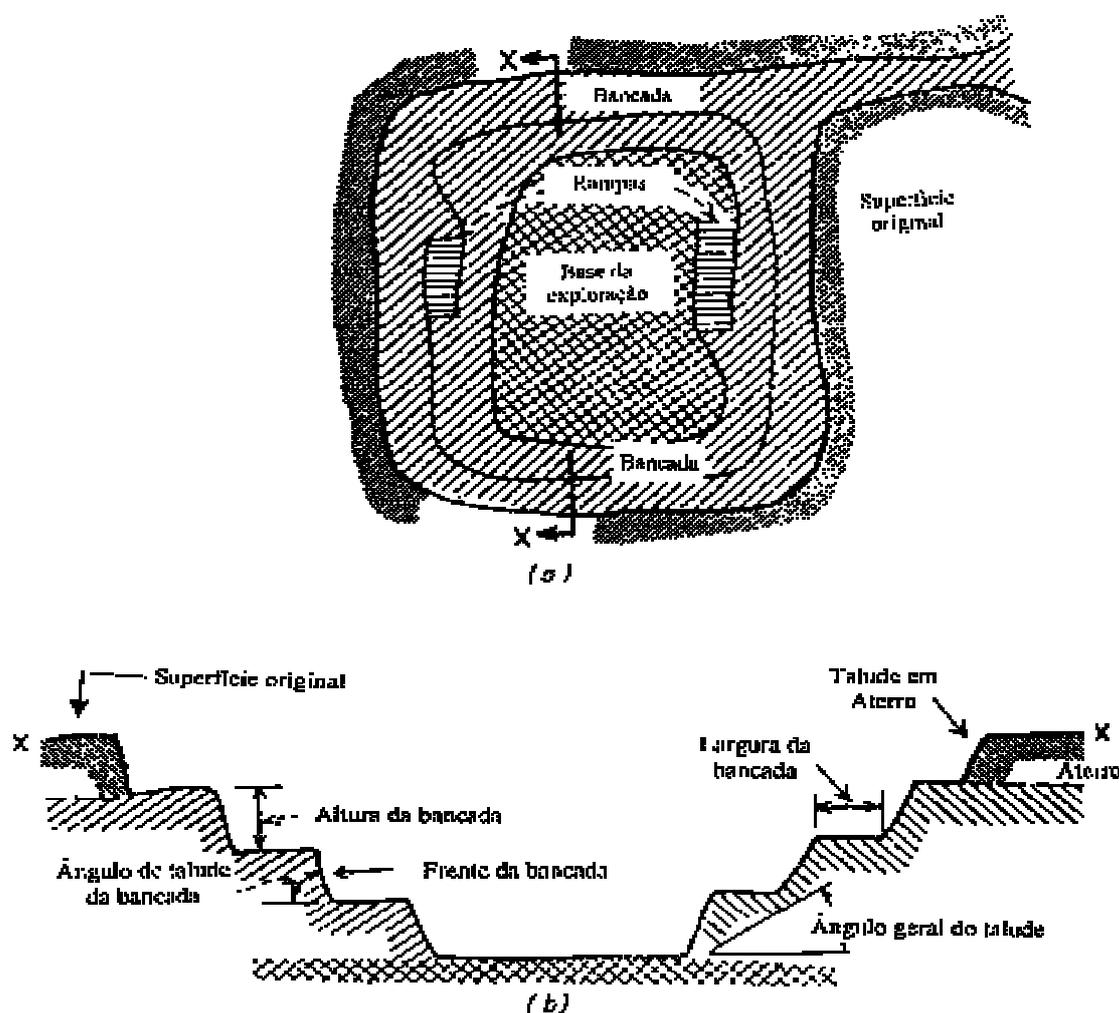


Figura 08 - Típica exploração de rocha industrial a céu aberto

Na etapa de estabelecimento do diagrama de fogo deve-se ter em atenção fatores (figura 09) importantes como:

- Produção por desmonte.
- Diâmetro do furo.
- Comprimento do furo.
- Subfuração.
- Inclinação do furo.
- Distância (afastamento) à face livre.
- N° de furos.
- Espaçamento entre furos.
- Tamponamento.
- Carga específica.
- Consumo específico.

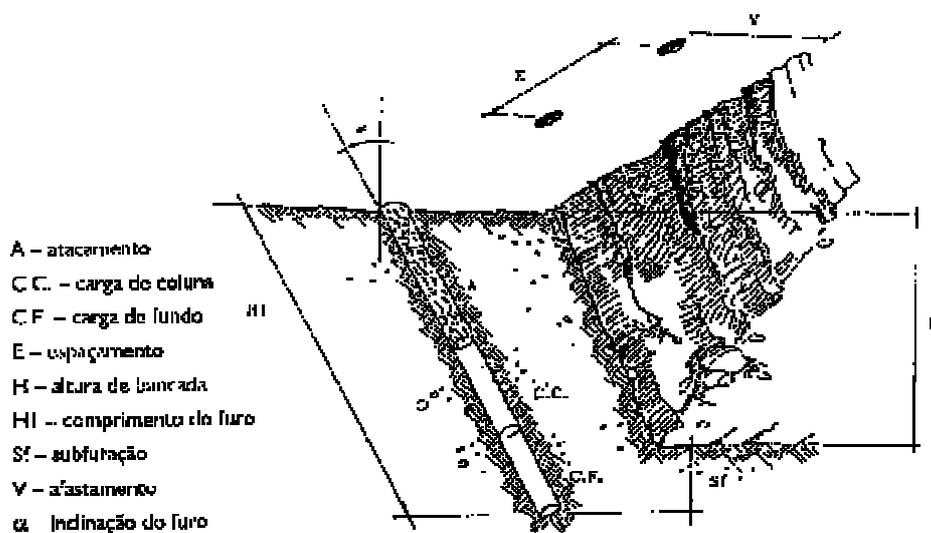
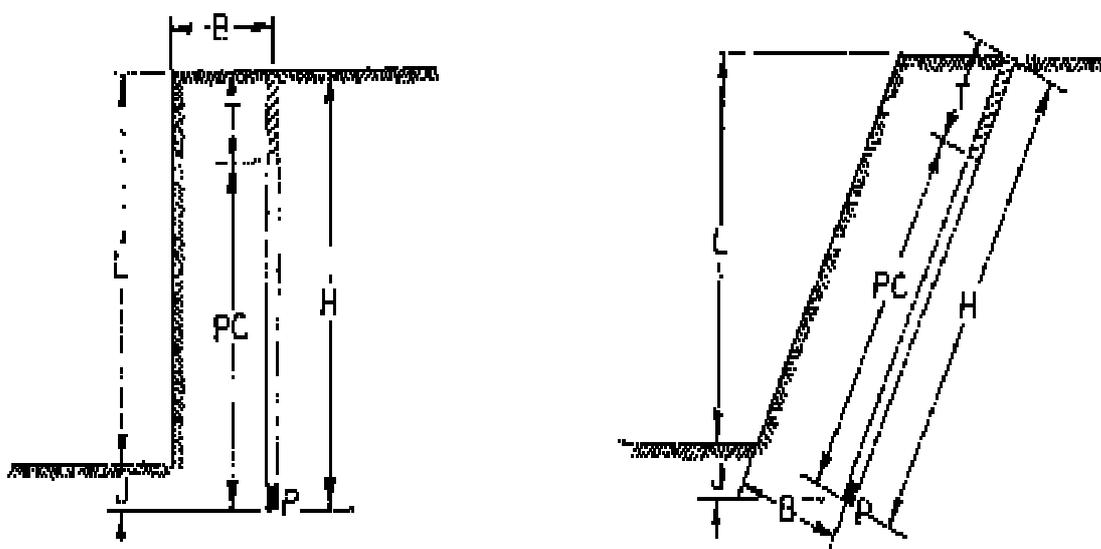


Figura 09 - Fatores importantes num desmonte a céu aberto
 (Extraído de EXPLOSA, 1994)

O diâmetro do furo (figura 10) depende das propriedades da rocha a ser desmontada, do grau de fragmentação pretendido, da altura da bancada, e está normalmente condicionado ao tipo de equipamento disponível. Após a seleção do

diâmetro do furo, dimensiona-se o comprimento mais adequado para o diâmetro escolhido e para as condições existentes, tendo em consideração a inclinação destes, a altura da bancada e a subfuração. A subfuração, que varia consoante à distância à face livre e inclinação dos furos, facilitam a execução do desmonte. No caso de não ser feita a subfuração, a base da bancada não será arrancada segundo um ângulo de 90°, originando por isso um repé.



A-Furo Vertical

J - Subfuração

B - Distância à face livre

T - Tamponamento

B-Furo Inclinado

L - Altura da bancada

H - Comprimento do furo

PC - Comprimento da carga

P - Detonador

Figura 10 - Nomenclatura de um furo
(Adaptado de ATLASCOPCO)

O uso de furos inclinados é uma prática bastante comum nas detonações, uma vez que apresenta algumas vantagens, tais como:

- Bancadas mais seguras.
- Melhor fragmentação.
- Maior produção.
- Diminuição do consumo de explosivo.
- Menores vibrações.

O ajustamento da distância à face livre e o espaçamento entre furos permite melhorar os resultados de fragmentação e arranque da rocha, que se traduzem numa diminuição do consumo específico de explosivo. O tamponamento deve ter um comprimento semelhante ao valor da distância à face livre de modo a não originar blocos de grandes dimensões provenientes da parte superior da bancada, não devendo ser muito inferior, pois nesse caso existe a possibilidade dos gases da explosão se escaparem e provocarem projecções além da perda do efeito da expansão gasosa sobre a rocha.

Deve ser realizado com material de granulometria fina ou com material destinado para o efeito, tal como argila, areia não silicosa, pó da furação, água em manga de plástico, etc. Nos diagramas de fogo a céu aberto a energia do explosivo necessária para que se produza a ruptura da rocha não é constante em toda a altura da bancada. Com efeito, as tensões libertadas pela detonação devem ser superiores à resistência da rocha ao longo da bancada, especialmente na sua base. Por tal razão a carga de fundo possui geralmente maior energia que a carga de coluna, embora a dimensão desta última dependa da altura da bancada. O tamponamento, embora seja muitas vezes esquecido, é uma operação muito importante. Se esta operação não for corretamente executada pode acontecer que se originem no interior do furo, vazios, o

que origina uma grande quebra no rendimento do explosivo, devido à perda de eficiência por parte deste. Outro aspecto importante a evitar é a folga (desacoplamento), que se define pela relação entre os diâmetros dos furos e o diâmetro das cargas explosivas, a qual deve ser o mais próximo possível da unidade, para a qual contribuirá uma boa compactação do explosivo do furo. O consumo específico pode definir-se como a relação entre o peso de explosivo utilizado na pega de fogo e o volume total de rocha desmontada. No que concerne ao dimensionamento dos diagramas de fogo (figura 11), este tem sido elaborado por diversas fórmulas envolvendo os respectivos parâmetros geométricos, algumas com certo fundamento científico, mas quase todas baseadas em relações empíricas.

RELATÓRIO DE DETONAÇÃO PARA SISMOGRAFIA			
Cliente: Tamoio Mineração	Tipo de Rocha: Gnaíse	Data: 10/06/2005	
Local: Estr. Ligação, 1397- Jacarepaguá- RJ	Fraturada (X) SIM () NÃO	Horário: 10:50	
Banco:	Coordenadas:	Blaster: Mineiro	
ESPECIFICAÇÕES			
A) Afastamento	2,50 m	H) Empolamento	60 %
B) Espessamento	3,75 m	I) Material Tamponado	Brita 1
C) Altura da Bancada	8,00 m	J) Profundidade do Tampão	2,00 m
D) N° de Furos	23 unid	L) Diâmetro dos Furos	3 "
E) Profundidade dos Furos	9,00 m	M) Condições do Tempo	Bom
F) Sub-Furação	1,00 m	N) Temperatura	21 °
G) Inclinação dos Furos	10 °	O) N° de Fogachos	— unid
EXPLOSIVOS E ACESSÓRIOS UTILIZADOS			
Dinamite Encartuchada	325 Kg	Retardo p/ Cordel	— unid
Dinamite Granulada	525 Kg	Esp fi Elet Coluna	23 unid
Bonster	23 unid	Esp fi Elet Superfície	20 unid
Cordel	27 m	Iniciador	02 unid
FOGO PRIMÁRIO			
P) Total de Explosivos =	850 Kg	S) Fator Explosivos "in situ" = (P)/(Q)=	492,7 g/m ³
Q) Vol. Rocha "in situ" = (A)x(B)x(C)x(D) =	1725 m ³	T) Fator Explosivo Empolado = (P)/(R)=	308,0 g/m ³
R) Vol. Rocha Empolado = (Q)x(H) =	3200 m ³	U) Carga de Explosivos/Espera =	36,96 Kg
ESQUEMA DE LIGAÇÃO			
LEGENDA			
Furo inicial sem retardo	Furo com retardo de 17 ms	Furo com retardo de 25 ms	Furo s/ retardo
Observação: A operação de detonação e os dados acima mencionados são de responsabilidade da contratante.			
SISMOGRAFIA			
Operador	Oswaldo Ferreira/ Paulo Tostes		
Local de Instalação do Sismógrafo-02-(S/5295)	Local : Ao lado do estacionamento		
	Posicion. em relação ao evento	(x) frente () costas () laterais	
		(X) Tripé () Base Fixa () Gesso () Outros	
Resultado I	GEOFONE	0,57	mm/seg
	MICROFONE	117	dBL

Figura 11 – Diagrama de fogo e informações do desmonte.

Existem também ábacos e até régua de cálculo construídas para o mesmo fim, mas quase todos estes métodos apresentam o inconveniente de desprezarem um grande número de variáveis que influenciam o fenômeno de desmonte. Assim, é habitual alguma dessas fórmulas pretenderem aplicar-se a todos os tipos de rocha, outra não introduzem indicações sobre as propriedades do explosivo, etc. A principal razão para que existam tais expressões aproximadas deve-se à complexidade, variabilidade e elevado número de parâmetros que influem nos resultados de um desmonte.

ATEHISON considerou a existência de 20 parâmetros distintos que têm influência decisiva nos desmontes, dividindo-os em 3 grupos:

- Parâmetros relativos ao explosivo: densidade, velocidade de detonação, pressão de detonação, volume de gases libertados e energia disponível.
- Parâmetros referentes ao carregamento dos explosivos nos furos: diâmetro e comprimento dos furos, natureza do tamponamento, espaço livre entre o explosivo e paredes do furo, tipo de escorvamento e ponto de iniciação.
- Parâmetros relativos à rocha: densidade, velocidade sísmica, índice de absorção de energia, tensão de ruptura à compressão e à tração, heterogeneidade e estrutura do maciço rochoso.
- Além destes há a considerar certos fatores externos (como por exemplo, a natureza e toxicidade dos fumos e a resistência do explosivo à unidade existente no interior dos furos) que podem ditar a escolha de tipos de explosivos em contradição com as regras gerais. Por conseguinte, o recurso às fórmulas empíricas e ao trabalho por tentativas é muitas vezes as únicas soluções disponíveis para projetar adequadamente um desmonte, face à dificuldade intrínseca do problema. Segundo a ordem indicada, a partir do conhecimento do diâmetro dos furos determina-se o afastamento das cargas, e este último permite calcular os restantes parâmetros geométricos do diagrama de fogo. Devemos salientar que o processo de seleção do tipo de explosivo a utilizar em determinado desmonte deve ser coerente com o seu mecanismo de atuação após a detonação, e com a reação da rocha aos correspondentes efeitos mecânicos.

Tecnologias de extração

Desmonte hidráulico

A exploração de massas minerais incoerentes pode ser feita por desmonte direto ou desmonte hidráulico. O desmonte direto pode ser manual ou mecânico e consiste em atacar diretamente à frente de desmonte de modo a individualizar o minério. Por conseguinte a sua utilização está limitada a massas minerais que sejam facilmente desagregadas. São várias as explorações de massa mineral por desmonte direto mecânico, sendo a exploração de argila, areia e outros materiais de construção as mais comuns. Nas explorações de argila, areia, cascalho ou quaisquer outras massas de fraca coesão, devem ser observadas as seguintes regras:

- Se a exploração não for feita por bancadas, o perfil da frente não deve ter inclinação superior ao ângulo de talude natural do terreno.
- Se a exploração for feita por bancadas, a sua base horizontal não pode ter, em nenhum dos seus pontos, largura inferior à altura do maior dos dois degraus que separa, e as frentes não podem ter inclinação superior à do talude natural.
- Se o método de exploração exigir a presença normal de trabalhadores na base do degrau, a sua altura não pode exceder 2 m.

O desmonte hidráulico consiste em utilizar a força hidráulica (essencialmente água) nas frentes de desmonte para a desagregação do minério. De todos os sistemas de exploração existentes, o hidráulico é o único que permite combinar o desmonte de um material, o seu transporte para uma estação de tratamento e sua recuperação nessa mesma estação, assim como o posterior escoamento dos resíduos com a energia obtida

por um fluxo de água. Aplica-se fundamentalmente onde os materiais são desagregados por ação de água à pressão, como os aluviões de ouro, cassiterita, diamantes, rútilo, zircônio; formações argilosas, arenosas e outras. Os equipamentos hidráulicos são equipamentos de desmonte, constituídos por uma lança ou canhão orientável, de largo diâmetro, que projeta um jato de água sobre o maciço rochoso, que permite desagregar e arrastar os materiais, cujo estado de consolidação é apropriado para tal finalidade.

A utilização destes equipamentos tem as seguintes vantagens:

- Desmonte contínuo do material a explorar.
- Infra-estrutura mineira reduzida.
- Equipamentos mais econômicos.
- Menores necessidades de pessoal e com menor especialização.
- Baixo custo de operação.

Os inconvenientes principais são:

- Condições específicas do material a desmontar.
- Grandes necessidades em caudal e pressão de água.
- Necessidade de grandes áreas para retenção de resíduos.
- Escassas probabilidades de seletividade.
- Aplicabilidade do sistema quando o processo de tratamento posterior é feito em via úmida.
- Condições topográficas adequadas para a circulação dos materiais desmontados.
- Disposições restritivas sobre contaminação e impacto ambiental.

Na realização do desmonte hidráulico devem ser observadas as seguintes regras:

- Os operários e os equipamentos que efetuam o desmonte devem estar protegidos por uma distância adequada de forma que os possíveis desmoronamentos e deslizamentos do talude não os atinjam.
- É proibida a entrada de pessoas não autorizadas nos taludes onde se realiza o desmonte hidráulico.
- O pessoal, no desmonte hidráulico deve estar provido de equipamento específico e adequado para serviços em condições de alta umidade.
- Para instalações do desmonte hidráulico que funcionam com pressões de água acima de 10 Kg/cm^2 devem ser cumpridas as seguintes regras adicionais:
 - a) os tubos, os acoplamentos e os suportes das tubagens de pressão devem ser apropriados para esta finalidade (certificados dos fornecedores, provas aleatórias)
 - b) deve existir um suporte para o equipamento
 - c) a instalação deve ter um dispositivo para desligar a bomba de pressão em caso de emergência, podendo este ser acionado pelo pessoal que estiver a trabalhar com o equipamento.

De acordo com as características mecânicas do maciço rochoso existem dois esquemas de exploração básicos:

- Desmonte direto do material que se encontra na frente de trabalho.
- Desmonte do material, após uma previa desagregação.

O princípio geral de trabalho quando é possível desmontar o maciço diretamente, corresponde ao seguinte esquema operativo:

- Projeção do jato sobre o pé do talude de modo a criar uma sobrecavação do mesmo até que se origine a queda do talude.
- O material desmontado é submetido à ação do jato de modo a promover a sua desagregação e escoamento ao longo do canal de transporte.
- Uma vez limpa a frente, o equipamento é aproximado da nova frente de trabalho, repetindo-se o ciclo.

As distintas possibilidades de posicionamento do equipamento dão origem a três esquemas de exploração, segundo as direções relativas do jato projetado e da polpa escoada:

- a. Em direção.
- b. Em contracorrente.
- c. Misto.

O desmonte em direção é caracterizado pela direção de circulação da polpa coincidir com a direção do jato de água projetado, sendo aplicado sobre frentes com altura inferior a 8 m.

O desmonte em contracorrente aplica-se fundamentalmente em grandes frentes de trabalho que podem variar entre os 20 a 30 m, sendo esta a altura máxima permitida por motivos de segurança. O desmonte misto é utilizado quando se aplicam vários equipamentos na mesma frente de trabalho, permitindo o arranque do material situado na zona intermédia de dois equipamentos.

Corte com maçarico jet flame.

Corte feito através de uma lança com a chama na temperatura de 1.600 °C; isto provoca dilatação diferencial dos minerais (principalmente quartzo) que vão se soltando e são soprados sob forma de areia. Forma-se assim uma fenda de 10 a 20 cm de largura e de até 6 m de profundidade. Varias fendas formam o corte em forma de gaveta composto de 2 fendas laterais, verticais, distanciadas de 1,2 m, de lado e outro, e da fenda, também vertical, de fundo. Observe-se que o exemplo é apenas para rochas graníticas, pois o jet flame é limitado às rochas com quartzo.

Técnica de linha de furos.

Execução de furos horizontais de levante de cerca de 0,8 m de comprimento, espaçados de 8-10 cm, na base da gaveta; carregamento e detonação destes furos de levante.

Para a perfuração destes furos, espaçados de 10 cm, utilizam-se marteletes pneumáticos leves, individuais ou vários marteletes montados em paralelo em suporte que os dirija.

Os furos podem ser expandidos por madeira encharcada, cunhas ou por expansores hidráulicos ao invés de explosivos.

Técnica com fio helicoidal.

Trata-se de um fio de aço composto de 3 cabos torcidos que corre por cima de roldanas. O fio arrasta material abrasivo, como quartzo, utilizado para calcários, ou esmeril para rochas silicáticas. O sentido do retorcimento é invertido a cada 30 m de

cabo. O comprimento do fio pode variar de 500 a 3.000 m. A técnica está hoje caindo em desuso, esta sendo substituída pelo fio diamantado.

Para cortes em pedreiras, sem faces livres exceto a superior, fazem-se sondagens verticais de grande diâmetro, na faixa 300 a 500 mm, resultando em poços na rocha. Em cada par de poços introduz-se progressivamente uma estrutura metálica, suporte de polia na extremidade: o fio helicoidal passará pelas polias e de um poço ao outro, aprofundando-se progressivamente.

Quando já existir um degrau de bancada, efetuam-se furos verticais e horizontais, na base da bancada, de diâmetro da ordem de 90 mm, e que se encontram dentro do maciço. Passa-se o fio helicoidal fazendo-se uma alça e fechando com a polia motora de um guincho. Esta técnica é semelhante à utilizada para fio diamantado.

Técnica com fio (ou cabo) diamantado

Os fios diamantados são compostos por cabo de aço inox de tipo flexível, composto de fios torcidos, com diâmetro de 5 mm, sobre o qual são enfiadas pérolas (bead) diamantadas, de 11 mm de diâmetro, separadas por anéis de borracha e/ou molas espaçadoras. O número de pérolas pode variar de 32 a 40 por metro. Os trechos de cabo são emendados por conexões de rosca ou conexões de pressão (foto 19). O cabo pode variar em comprimentos de 50 a 70 metros com trechos de 5 a 10 metros (Rozes, B.,1985 p.30).



Foto 19 – Fios e acessórios

O fabricante Tyrolit dá as seguintes indicações sobre a performance de seus produtos, mostrando a faixa extensa de aplicações (tabela 3).

Tabela nº 3 – Especificação e Aplicações

Especificação	Pérolas/m	Aplicação
Tyrolit		
MS30	32	Corte fácil de mármore
MS40	32	Longa vida em rocha mole
MS60	40	Vida mais longa que MS40
MS70	40	Longa vida em rocha cristalina
GS40	40	Corte fácil de rochas duras
GS60	40	Longa vida em rochas duras
GS80	40	Para rochas duras e abrasivas
GS90	40	Vida mais longa que GS80
SS40	40	Rochas abrasivas

Parte-se de um degrau de bancada. Na base do degrau faz-se um furo na horizontal, no nível da bancada inferior, com perfuratriz de 90 a 140 mm de diâmetro. No alto do degrau, no nível da bancada superior executa-se furo vertical, que irá encontrar o furo anterior. Passa-se então o cabo diamantado pelos dois furos, fazendo uma alça que é esticada e acionada por uma roldana motriz no nível da bancada inferior.

A roldana motriz (foto 20) é movida por um guincho, em torno de 50 HP, montado sobre trilhos inclinados ao contrário da frente, de forma a manter o cabo esticado; isto pode ser obtido, também, através de cremalheira, de sistema hidráulico ou de sistema de contrapesos com regulagem, automática ou não, da tensão do cabo.

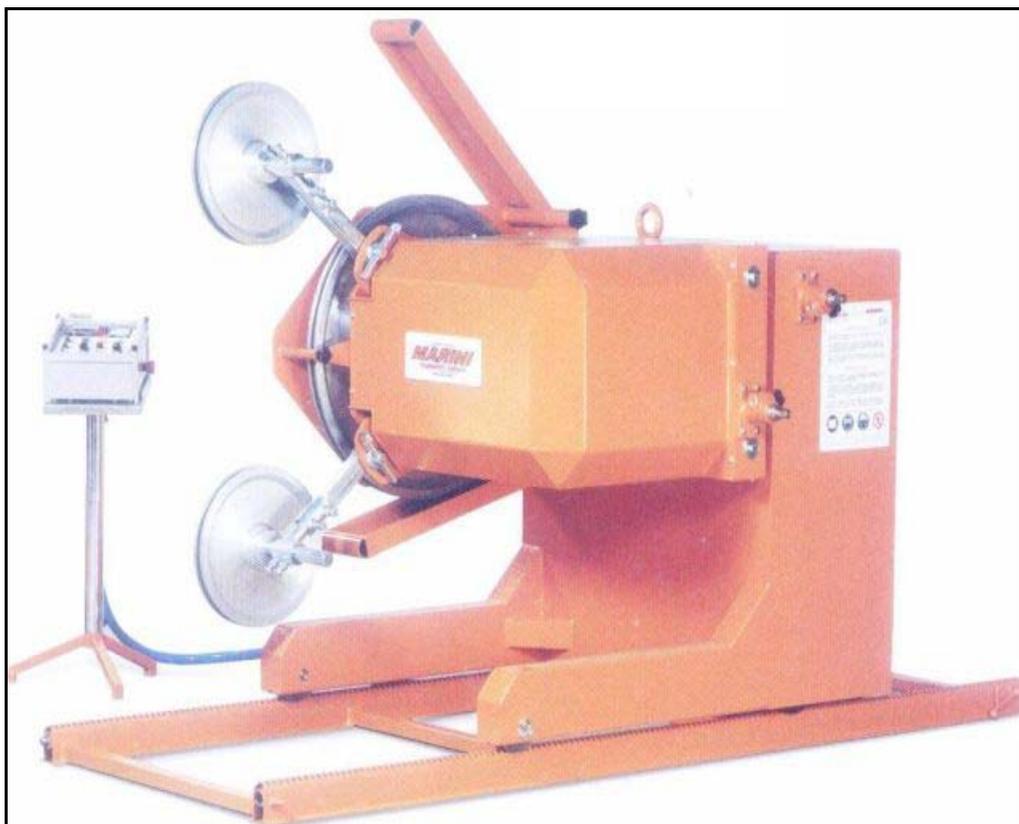


Foto 20 – Equipamento de corte a fio diamantado

O fio diamantado pode ser utilizado em cortes verticais em bancada, como no referido exemplo (foto 21), em corte horizontal em bancada ou no esquadreamento após desmonte.

A seguir apresentamos desenhos ilustrativos das operações realizadas para realização dos cortes com este equipamento (figuras 12, 13,14 e 15) :

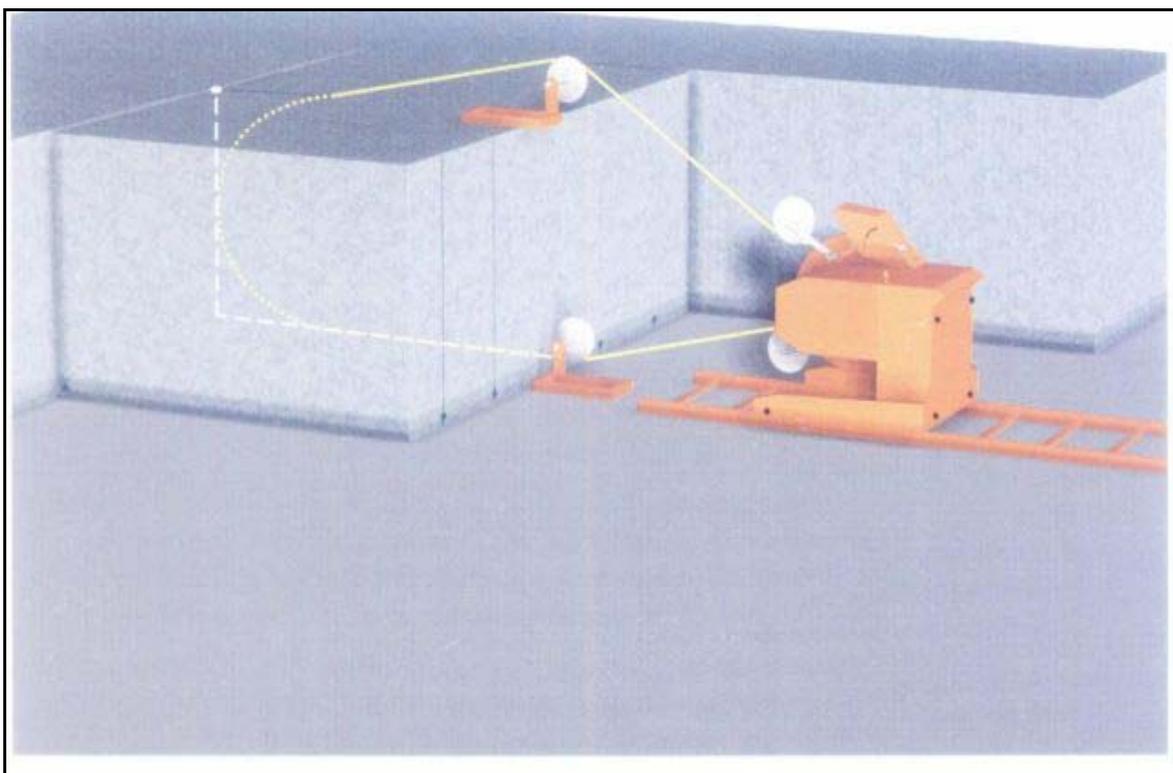


Figura 12 – Corte vertical

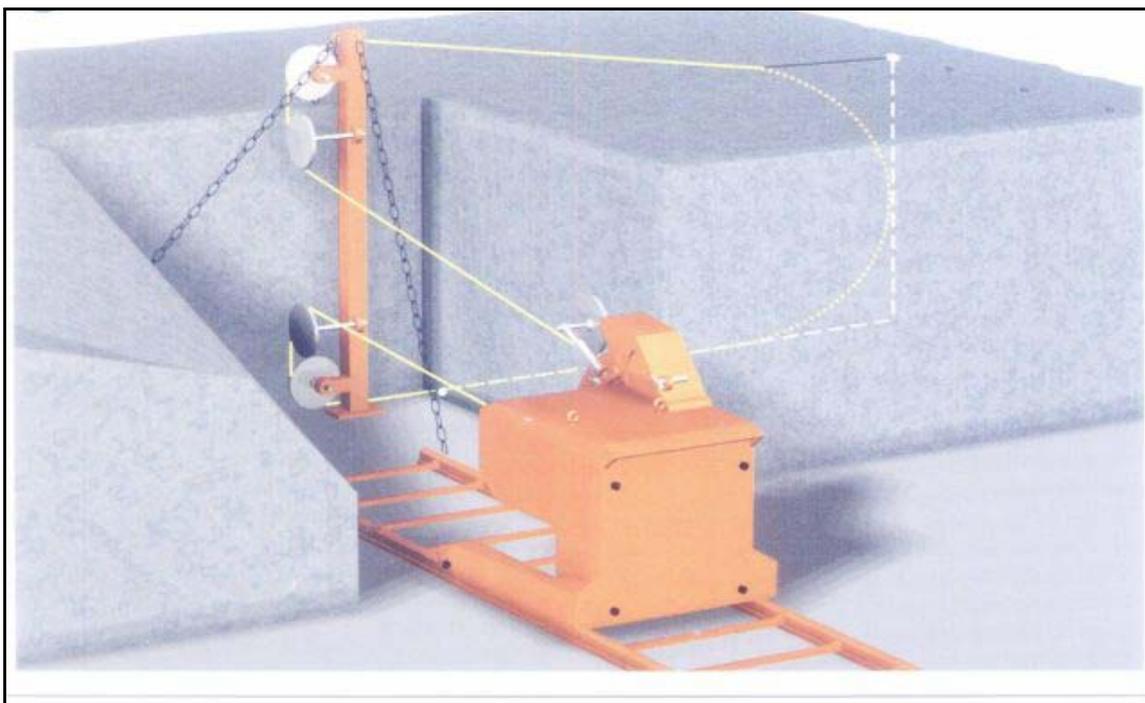


Figura 13 – Corte lateral

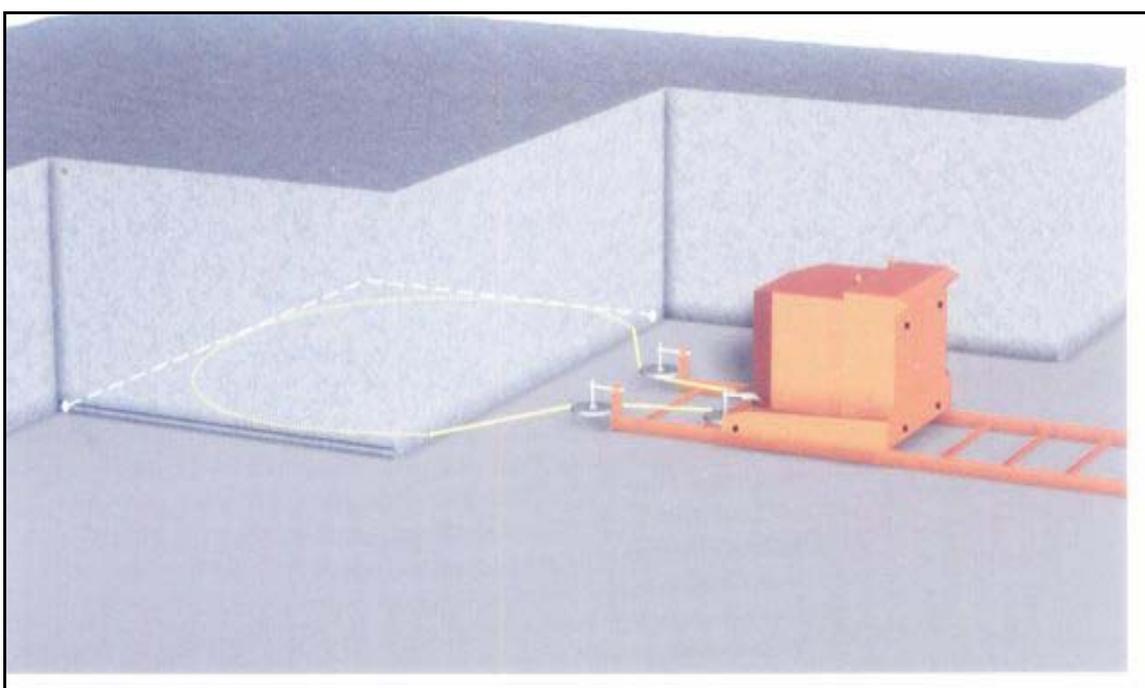


Figura 14 – Corte da base

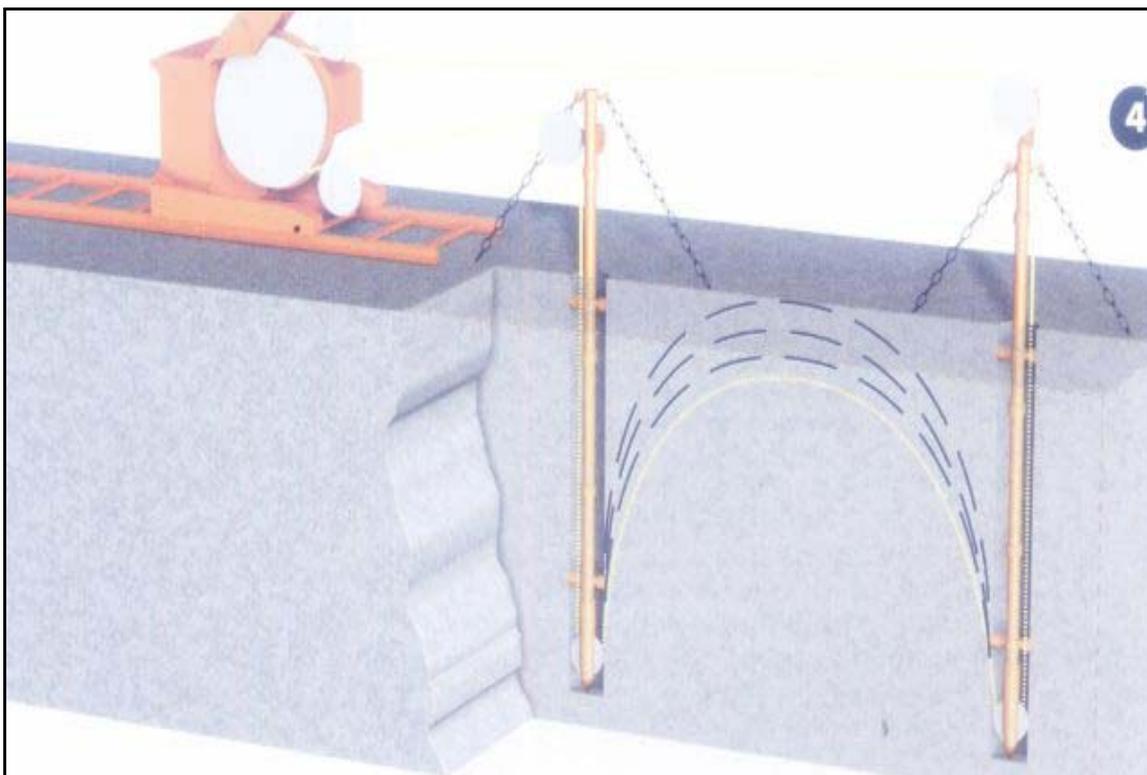


Figura 15 – Corte de fundo

Dois grandezas caracterizam a performance do fio diamantado (tabelas 04,05 e 06): a velocidade de corte e a durabilidade do cabo. Para uma determinada rocha o rendimento no corte varia com a velocidade e com a tensão aplicada ao fio e, portanto com a potência aplicada.

Tabela 04 – Vida útil do fio

Tipo de Mármore	Vida do fio (m²)
Duro	1.000
Carrara Macio	1.500

Tabela 05 - Custo por m² de mármore serrado (Rozes, B.,1985, p.31), baseando-se em FF (francos franceses) de 1984 convertidos a 6 FF/US\$:

Item	Índice	Custo unitário	Custo total
Perfuração	0,2 m/m ²	10 \$/m	2,0 \$/m ²
Mão de Obra	0,5 h/m ²	6,7 \$/h	3,3 \$/m ²
Fio	0,07 m/m ²	150 \$/m ²	10,6 \$/m ²
Água	500 l/m ²	0,0003 \$/m ²	0,2 \$/m ²
Energia	10 kWh/m ²	0,07 \$/kWh	0,7 \$/m ²
Amortização	5 anos		1,2 \$/m ²
TOTAL			18,0 \$/m²

Tabela 06 - Para mármore de 160 MPa de resistência à compressão teremos (Rozes, B.,1985,p.31): Vida média de 70 m de fio (Rozes, B.,1985, p.31)

Potência KW	Velocidade do fio m/s	Rendimento de corte m²/h
18	20	2,5
40	30	5,5
	50	Ótimo



Foto 21 – Equipamento em operação

Serras diamantadas de cinta ou de corrente:

Tais serras podem ser de corrente, com pastilhas de metal duro ou diamantadas, e são semelhante a moto-serras, montadas em suporte fixo. Podem ser também de cinta diamantada que são mais estreitas para o caso de rochas mais duras como granitos.

Estas serras são constituídas por um braço que pode trabalhar na horizontal e/ou na vertical. São utilizadas para cortes verticais de 1,9 m a 4 metros e cortes horizontais de 1,9m a 3 metros.

A seguir apresentamos quadro (quadro 01) com valores comparativos entre algumas técnicas de exploração de mármore.

Quadro 01 – Comparação de valores na exploração de mármore.

Comparação de várias técnicas para mármore				
(Rozes, B.,1985, p.32 – valores em FF de 1984 convertidos a 6 FF/US\$)				
	Fio de aço	Fio diamantado	Serra diamantada	Explosivos
Custo operacional	20 \$/m ²	17,8 \$/m ²	19,1 \$/m ²	16,5 \$/m ²
Produtividade	0,57 m ² /h	3,3 m ² /h		

Tecnologia de Jato de Água (Water Jet)

Esta tecnologia é de uso recente existindo, inclusive, uma entidade que busca divulgá-la a *International Society of Water Jet Technology (ISWJT)*.

Power (1994), descreve sucintamente esta tecnologia referindo-se à utilização de jato de água pulsante em pressões na faixa 96 a 276 MPa. Estaria sendo utilizado na Rocky Mountain Rose Red, Inc. de Lyons, CO. A Elberton Granite Association na Georgia teria também testado um equipamento, mas com menos sucesso que com serras diamantadas.

O *Data Base Committee on the Waterjet Excavation and Drilling Technology in Mining and Civil Engineering Fields* da *Tohoku University, Sendai, Japão* publicou em 1996 um handbook: *The Mining and Materials Processing Institute of Japan: Waterjet Excavation and Drilling Engineering*.

Um equipamento anunciado nos Estados Unidos é o Ned-Jet 2000 utilizado na *Cold Springs Granite Co., Millbank, ND*. Numa face horizontal de pedra de granito, três máquinas cortam com 5,4 m de profundidade e até uma extensão de 30 m. As máquinas lembram perfuratrizes verticais com torre perfurando para baixo, montadas em esteiras, puxando motor e bombas. Segundo o fabricante, com o uso deste equipamento diminuem as perdas, o custo, o barulho, a poeira e as detonações.

As seguintes pedreiras estariam usando este mesmo sistema:

Massachusetts Chelmsford Gray Milford Park Sardinia, Italy	New Hampshire Mason Madison Tapestry Kit Gray	South Dakota Carnlian(4) South Carolina Kershaw	California Sierra White	Georgia Oconee Quarry Enterprises Gold Eagle Quarry Willis Mining Willis Dimension Sacrad Blue Quarry
-----------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Segundo afirma o fabricante o uso do Ned Jet melhorou a recuperação em 30% e cortou o custo dos blocos em 40%. O trabalho feito em 1 dia levaria de 2 a 4 dias por outros métodos. A seguir apresentamos as especificações do fabricante para um sistema de baixa pressão (tabela 07).

Tabela 07 - Especificações de catálogo do fabricante.

Low Pressure Water System	
Filtration	1 micron
Supply Pressure	7 gpm @ 0 - 90 psi
Supplied By Quarry	(27 l/min @ 0 - 6.2 bar)
High Pressure Water System	
Intensifier type – dual	Triplex
Cutting Pressure	40,000 psi x 0,070307 = 2.812 kg/cm ² *
Drive Type	Direct
Standard Cutting Fluid	potable water **
Hydraulic System	
Pump Type	pressure flow comp. Piston
Pressure/flow output	1800 psi / 14 gpm (125 bar / 53 l/min)
Cooling	Air Cooled Radiator
Engine	
Type	Cat Model 3306DIT
Output	205 hp continuous
Fuel Tank Capacity	341 l
Cooling	Air Cooled circ. Water
Cutting Capacities per Set-up	
Depth	6.1 m
Length	6.5 m
Width	5 - 6.3 cm
Overall Dimensions/Weight	
Height – Ned-Jet 2000 / Power Pack	6.1 m / 1.85 m
Length – Ned-Jet 2000 / Power Pack	10.7 m / 2.5 m
Width – Ned-Jet 2000 / Power Pack	2.9 m / 2.5 m
Weight – Ned-Jet 2000 / Power Pack	51.217 kg / 3.175 kg
Electrical - Service Required	24 V DC

* Observe-se que o coeficiente de ruptura por compressão uniaxial de rochas graníticas varia de 900 a 2 000 kgf/cm²

Argamassa expansiva

A argamassa expansiva é um agente demolidor não explosivo, em pó, cujo componente majoritário é a cal virgem. Em contacto com água, iniciam-se reações de hidratação, com aumento de volume durante o progresso dessas reações, promovendo, quando em confinamento, grandes pressões sobre as paredes confinantes, as quais chegam aproximadamente a 78 MPa. Essas tensões geram fissuras no meio confinante (rocha), cuja magnitude e direção vai depender do balanço de esforços atuantes no referido meio.

Assim, furos adequadamente alinhados e preenchidos permitem o corte de maciços rochosos de modo mais controlado do que aquele obtido por explosivos. A evolução dos esforços é lenta e são necessárias cerca de 8 a 24 horas para a completa ação de desmonte, dependendo da temperatura ambiente.

A concentração mássica de sólidos recomendada é de 77 %. O consumo unitário de material expansivo fica em torno de 80 kg/m^3 , para desmonte industrial em pedreiras (Pinheiro, 1999). As vantagens de seu emprego, citadas nos catálogos (por exemplo, o de FRACT-AG e o de DEMOX), em relação ao uso de explosivos, são: não requer permissão especial para seu manejo; não há vibrações, explosões ou emanção de gases; não há poluição acústica; obtém-se ganho de recuperação, pois há minimização de microfissuras interiores ao maciço.

Estima-se o custo operacional de aproximadamente US\$ 16.00/m², para aplicação industrial em pedreiras de rochas ornamentais (*apud* Villaschi Filho & Sabadini, 2000).

Ensaio com argamassa

A argamassa expansiva utilizada foi a FRACT.AG[®] - selo vermelho (da casa italiana *Chemica Edile S.R.L.*). A preparação da argamassa expansiva seguiu o recomendado pelo fabricante, com adição de água na proporção de 30 partes para 70 partes do pó. Homogeneizando-se, forma-se uma pasta cremosa e sem grumos, com alcalinidade ao redor de pH 13. Essa mescla deve ser vertida nos furos feitos na rocha, durante os seguintes 5 a 10 minutos. A argamassa com FRACT.AG[®] acusou massa específica aparente de 1425 kg m⁻³ (foto 22).



Foto 22 - Operação de carregamento dos furos com a argamassa expansiva.

Para determinar-se o espaçamento adequado entre os furos nas rochas para a utilização de argamassa expansiva, a Escola de Cantaria de Ouro Preto realizou ensaios, considerando como ótimo aquele espaçamento (máximo) que resulte plano de fratura bem definido, com mínima imperfeição e sem microfissuras no maciço cortado.

Para estudo da argamassa, se utilizaram os seguintes equipamentos:

- Difratômetro de raios X marca Rigaku, modelo Geigerflex D/Max com goniômetro horizontal, tubo de cobre, velocidade angular de varredura de 1,2 e 0,6° por segundo, na faixa de 2 a 35°.
- Marteleto perfurador Bosch GBH 2-24 DSE, roto-percussivo (870 rpm, potência de 620 W, massa de 2.4 kg); com brocas de vídia para perfuração em rocha com diâmetros de 13, 16 e 25 mm.

Ensaios para determinação do coeficiente de expansão da argamassa foram realizados em recipientes plásticos. Para determinar a densidade dos quartzitos, se empregaram amostras cúbicas.

A resistência à compressão uniaxial, parâmetro geomecânico dos mais representativos, foi utilizada para caracterizar a rocha. Usaram-se amostras cúbicas de quartzito, de dimensões aproximadas de 50 mm de aresta. O equipamento empregado foi a máquina de compressão uniaxial Kratos, com capacidade de carga de 200 toneladas.

As amostras, de acordo com as especificações da ABNT, devem ter 70 mm de aresta, para esse ensaio. Como foram utilizadas amostras de 50 mm, padronizaram-se os resultados da prova, utilizando a equação de Greenwald-Start-Holland-Gaddy (*apud* Jaeger & Cook, 1979), a qual foi inicialmente preconizada como critério de escalonamento em pilares de minas.

Os ensaios para corte de rocha foram realizados segundo a seguinte metodologia:

- Preparação da amostra a ser desmontada (cortada): Blocos de quartzitos típicos do material trabalhado na oficina de cantaria foram selecionados, cuidando-se para que tivessem a face superior plana, de modo a se manterem, para a mesma profundidade de perfuração, os fundos dos furos na mesma cota.
- Perfuração: As brocas utilizadas no martetele foram de 13 mm, 16 mm e 25 mm. Os furos foram todos verticais e alinhados de acordo com o plano de fratura desejado. Os tempos de perfuração e os respectivos avanços foram registrados.
- Monitoramento visual do desmonte: em função dos tempos de ruptura típicos, adotou-se o intervalo de 18 h após a aplicação da argamassa para a primeira inspeção e, em seguida, a cada 4 horas.

Resultados

Foram realizados testes variando o diâmetro dos furos e o espaçamento entre eles. Os testes foram feitos com itacolomitos (quartzito claro e quartzito rosado) e com o dolomito Gandarela (o qual, em todos experimentos, só apresentou fissuras radiais). De maneira geral, os resultados podem ser sumarizados na (tabela 08).

Tabela 08 - Resultados dos ensaios de corte de rocha com FRACT - AG®: E = espaçamento e d = (diâmetro do furo).

Amostra	Diâmetro da broca [mm]	Relação E/d	Furos de de alívio	Resultado
Quartzito claro	13	5	0	Fratura bem
Quartzito claro	13	10	0	Fratura bem
Quartzito claro	25	5	0	Fratura bem
Quartzito claro	25	5	0	Fratura bem
Quartzito claro	25	10	0	Não fratura
Quartzito rosado	16	5	0	Fratura bem
Quartzito rosado	16	10	0	Não fratura
Quartzito rosado	16	8	0	Fratura mal
Quartzito claro	25	5	2	Não fratura
Dolomito	13	4	3	Não fratura

O coeficiente de expansão, da argamassa expansiva, médio foi de 2,8 vezes com desvio-padrão de 0,45 (confinado no copo plástico). A massa específica real das partículas expandidas resultou igual a 2090 kg/m³ (picnômetro), enquanto que a massa específica real da argamassa com 23,0 % de água acusou valor de 1425 kg/m³.

Os ensaios de ruptura, por compressão em prensa, de cubos de amostras das rochas utilizadas nos ensaios com argamassa expansiva apresentaram os resultados mostrados na Tabela 09.

Tabela 09 - Resultados de ensaios de resistência à compressão (σ_c) dos corpos de prova (blocos de itacolomito cinza-claro)

Amostra	Carga máxima [N]	Área transversal [cm ²]	σ_c [MPa]	σ_{co} [MPa] (padrão)	Dimensões do corpo de prova [mm]
A1	256,0 x 103	26,78	95,63	87,91	51,0 x 52,5 x 50,0
A4	264,9 x 103	25	105,95	97,4	50,0 x 50,0 x 50,0
B5	107,9 x 103	25	43,16	39,68	50,0 x 50,0 x 50,0
B6	131,4 x 103	30,39	43,25	39,76	56,6 x 53,7 x 54,0

A observação da argamassa expandida por microscopia eletrônica releva uma acentuada esfoliação dos grânulos após sua hidratação e conseqüente expansão, conforme ilustra a figura nº 16.

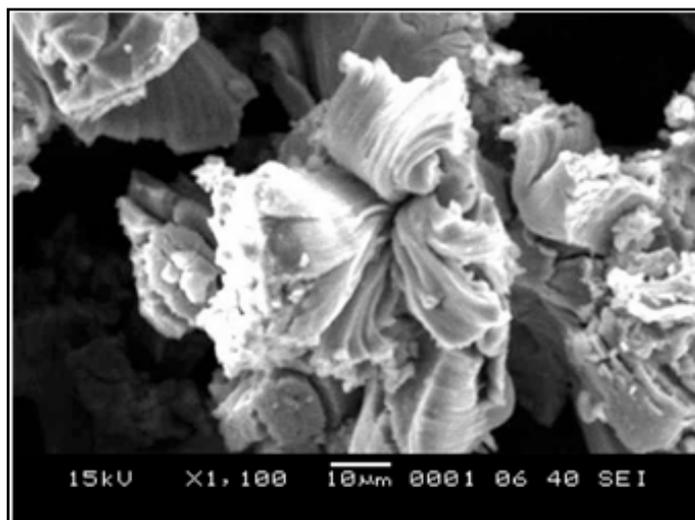


Figura 16 - Imagem por microscopia eletrônica de grânulos da argamassa expansiva.

Os difratogramas de raios X para duas amostras (uma do pó expansivo fresco - AEF - e outra da argamassa expandida - AEE) indicaram as seguintes espécies cristalográficas: para AEF - cal virgem com traços de biotita e para AEE - portlandita (NaOH) e cal virgem (CaO).

Os resultados com argamassa expansiva permitem a preconização de seu uso em desmonte escultural de blocos destinados aos trabalhos de cantaria, inclusive na função de corte prévio dos contornos das peças. O espaçamento relativo entre furos igual a 5 vezes o diâmetro deles é eficiente, para os cortes retilíneos no itacolomito (foto 23). Para o dolomito Gandarela a argamassa não apresentou resultados satisfatórios.



Foto 23 - Vista do bloco de quartzito após a evolução do plano de fratura: 20 h oras.

Método de Desmonte Subterrâneo.

Pedreiras subterrâneas

A entrada no século XXI tem provocado em todos os setores da atividade humana uma análise das perspectivas que o futuro nos reserva, como se existisse uma incerteza ainda maior que no passado.

Com efeito, os especialistas que se dedicam a estudar a evolução das últimas décadas referem-se de modo geral, há uma crescente pressão das seguintes variáveis:

- a) O aumento populacional descontrolado, ocupando por vezes áreas com recursos minerais exploráveis;
- b) A poluição ambiental cada vez mais difícil de controlar e, conseqüentemente, o aparecimento de legislação ambiental cada vez mais exigente, ameaçando a estabilidade das empresas;
- c) A irregularidade dos mercados e o declínio dos preços das matérias-primas;
- d) A competição desenfreada entre as unidades produtoras e distribuidoras;
- e) E, no caso da indústria mineral, a exaustão de muitas jazidas que se exploravam em condições mais favoráveis do que presentemente.

Tal panorama torna pessimista qualquer avaliação que se desenvolva para a maioria dos países desenvolvidos, todos eles caracterizados por um conjunto de

fenômenos que se podem descrever resumidamente através da conjugação dos seguintes fatores, válidos para a indústria mineral:

- a) Abandono e encerramento da maior parte das minas pré-existentes;
- b) Desmobilização de vastos contingentes de trabalhadores especializados na exploração mineral;
- c) Existência de planos de ordenamento territorial que simplesmente ignoram, ou não consideram, a possibilidade de vir a abrir novas minas;
- d) Aparecimento de leis mais restritivas de quaisquer iniciativas relacionadas com a criação de novas unidades mineiras;
- e) Existência de um mercado internacional em que competem desigualmente países com legislações ambientais permissivas e altos subsídios governamentais, em paralelo com outros onde impera grande rigor;
- f) Baixa atratividade da indústria mineral, face às reduzidas cotações de venda da maioria das matérias-primas;
- g) Dificuldades crescentes na atração de técnicos especializados e de realização de investigação relevante para o progresso do setor.

Deste cenário pessimista poderá resultar um alheamento generalizado, principalmente ao nível das novas gerações, que em muitos casos conduz à aniquilação do que resta da indústria mineral em várias nações desenvolvidas.

Esta tendência é mais evidente na produção de minérios metálicos e carvão, do que nos chamados minerais industriais, constituídos pelas rochas ornamentais e pelos agregados.

Vejamos, a propósito, a evolução durante os séculos XX e XXI dos principais indicadores da civilização humana (Meadows, 1972) (Figura 17).

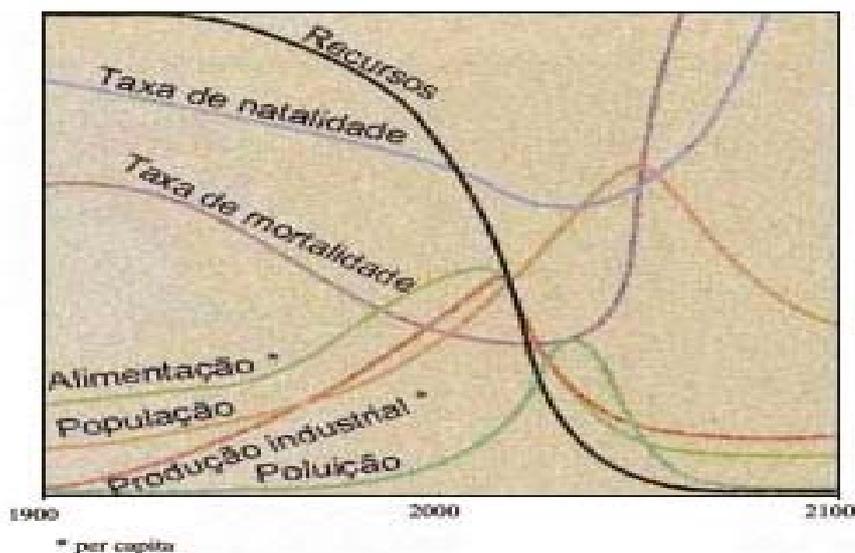


Figura 17 – Evolução dos principais fatores da vida humana, com a realidade do séc. XX e as previsões para o séc. XXI (segundo Meadows, 1972)

Tendências da Indústria Mineral

Em face da mais recente evolução das manifestações da indústria mineral no Mundo em geral, e na Europa em particular, parece provável uma redução progressiva da sua importância, principalmente para as substâncias minerais que se transacionam no mercado internacional, como os metais base e preciosos, o carvão e o petróleo. O mesmo deverá acontecer para certos não metálicos, como as rochas ornamentais de boa qualidade e que são oriundas de regiões com fama consagrada.

Em todos esses continuarão em geral os fluxos de abastecimento dos países produtores para os consumidores, por vezes interrompidos em situações de crise, ou por

motivo da introdução de novas tecnologias ou de mudança para outros produtos exigidos pela moda.

Relativamente aos minerais industriais extraídos nas pedreiras, por serem consideravelmente onerados pelos custos de transporte e dado o seu baixo preço, decorrente da sua abundância generalizada, continuarão a ser produzidos nas proximidades das regiões onde são consumidos. Em muitos casos as atuais unidades produtoras ainda são toleradas pelos organismos governamentais, tornando-se muito problemática a autorização para a abertura de novas pedreiras, principalmente devido às apertadas leis ambientais que têm sido promulgadas nos países mais desenvolvidos.

Uma característica importante desta tendência consiste na obrigatoriedade de desenvolver os trabalhos de produção em simultâneo com os de recuperação ambiental (Figura 18).

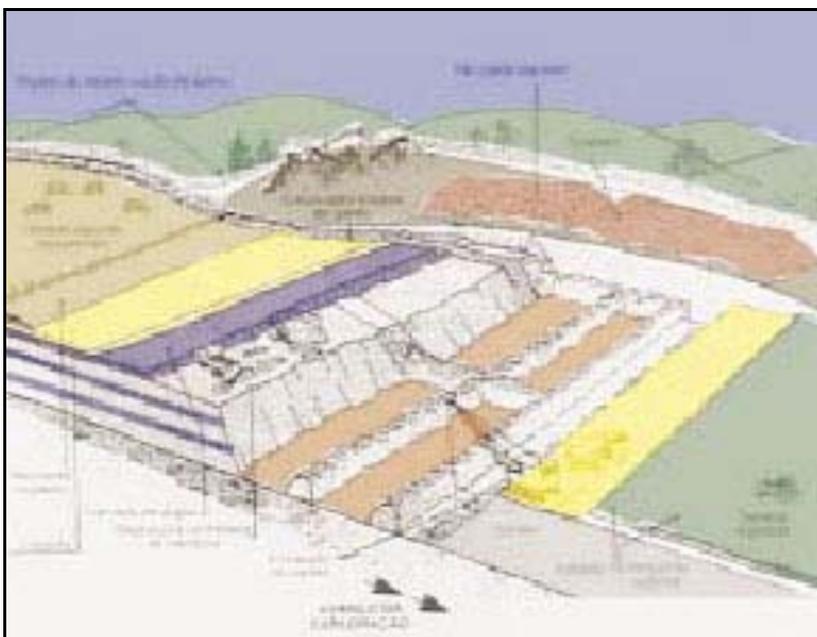


Figura 18 – Exemplo de pedreira em exploração com recuperação paisagística à retaguarda.

Tais leis, em alguns casos, impedem o funcionamento de novas explorações a céu aberto, sendo mais permissivas se as mesmas se desenrolarem para o subterrâneo, face aos menores impactos ambientais que provocam.

As principais dificuldades causadas por estas tendências são observadas ao nível de aumentos sensíveis de preços das matérias-primas minerais não metálicas, com reflexos na elevação dos custos das obras públicas. Por vezes tais situações são contornadas pela respectiva substituição técnica por produtos importados de áreas onde a legislação ambiental é mais permissiva.

Esta influência do rigor das leis sobre as curvas da oferta e da procura de bens minerais é ilustrada pelo gráfico da Fig. 19, onde se pode observar que para os países onde as leis de proteção ambiental são muito rigorosas ficam destinados a produzir reduzidas quantidades de produtos de preço elevado, ao contrário do que se verifica em regiões onde tais leis são mais brandas.

Uma das evoluções possíveis consistirá na aproximação das duas situações extremas, agravando as legislações permissivas e suavizando as leis mais restritivas, de modo a garantir condições mais justas de competitividade no mercado internacional.

Na mesma linha se posicionam as tentativas de certificação dos produtos minerais, através da criação de atestados de garantia sobre as técnicas utilizadas para as produzir, de modo a nivelar os impactos ambientais criados em todas as regiões que produzem a mesma substância (Marcus, 1997).

Assim, deverão ser associadas à certificação dos produtos, certas designações justificativas do uso de técnicas adequadas, ou tecnologias limpas, tais como:

- Melhor tecnologia disponível (“Best available technology”)
- Melhor tecnologia de controle disponível (“Best available control technology”)

- Tecnologia de controle razoavelmente disponível (“Reasonably available control technology”)
- Tecnologia de controle maximamente atingível (“Maximum achievable control technology”)

Por outro lado, interessa solidificar a opção da indústria mineral a favor de técnicas preventivas em vez de corretivas, como meio de encarar a solução dos problemas ambientais, tendo em vista a manutenção da qualidade de vida.

Contudo, estes não são os principais obstáculos à implantação de uma livre concorrência internacional, face à intervenção de outros fatores mais relevantes (segundo Porter, 1985: a atratividade da indústria, a política industrial vigente, a regulamentação governamental e a inovação tecnológica).

Assim, torna-se complexo implantar uma plataforma de justa competição internacional, tal como é preconizado por organismos como o “World Trade Organization”, especialmente para produtos de baixa importância relativa como são as matérias-primas minerais e, dentro destas, aquelas oriundas de pedreiras.

Situação Atual das Pedreiras Subterrâneas

A extração de rochas ornamentais a partir de pedreiras subterrâneas tem sido praticada há várias décadas em diversos países, por motivos ligados às seguintes circunstâncias:

- a) Ocorrência de massas exploráveis profundas, cuja extração se faz sem a necessidade de remoção dos terrenos estéreis de cobertura.
- b) Transição de céu aberto para subterrâneo, quando as pedreiras atingem a profundidade de limite econômico.

- c) Casos em que não existem áreas suficientes à superfície para comportarem as instalações exigidas pelas primeiras, nomeadamente o espaço para a criação de grandes escombrelas.
- d) Exigências das leis ambientais, no sentido de reduzir os maiores impactos criados pelas pedrelas superficiais.
- e) Necessidade de maior seletividade na extração.

Uma vez que os custos unitários de extração em subterrâneo são geralmente superiores aos de céu aberto, terão de existir uma ou mais causas de agravamento da economicidade da exploração superficial, para que se opte por aquela solução.

Logo, só quando o preço de venda da matéria-prima extraída for compensatório é que as empresas se dedicaram à exploração subterrânea.

Para a maior parte das pedrelas verifica-se um aumento dos custos de produção com a profundidade de extração, podendo levar a empresa a decidir-se pela exploração subterrânea, caso esta ofereça mais benefícios. O conceito de profundidade limite, ilustrado na Figura 20, permite auxiliar na tomada de decisão.

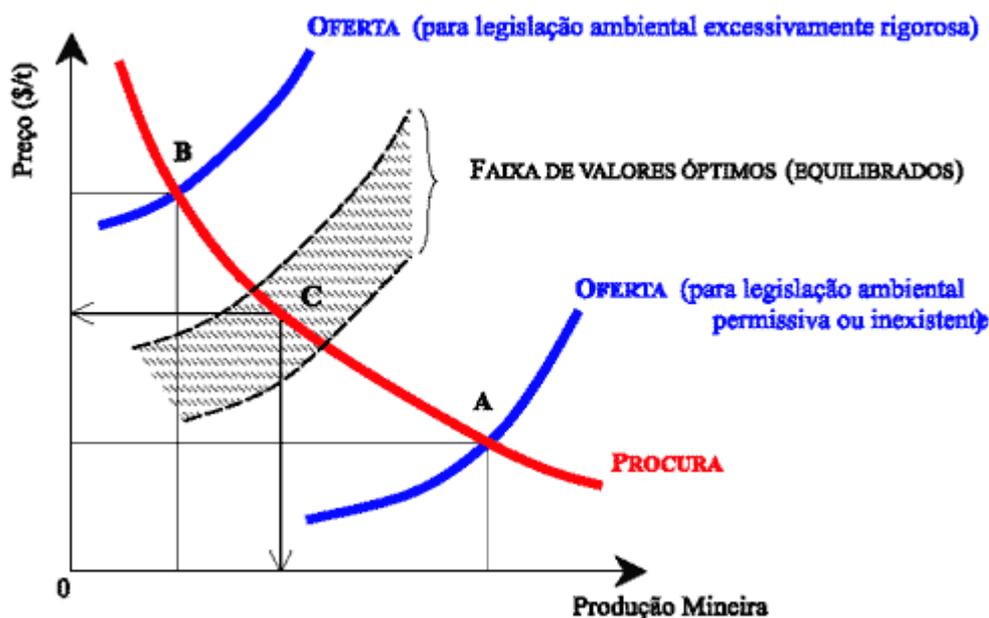


Figura 19 – Curvas de variação da oferta e procura de substâncias minerais face ao rigor da legislação ambiental

Pelos motivos referidos, é raro verificar-se a escolha da opção subterrânea para a produção de rochas industriais (Gama, 1995). Um dos poucos exemplos conhecidos é o da mina de Baltar, em Votorantin (Brasil), onde se extrai calcário de cavidades subterrâneas, justificando-se pela necessidade de abastecimento de uma fábrica de cimento próxima, cuja laboração anterior provocou a exaustão das reservas do material explorável a céu aberto, muito provavelmente por esta ter atingido a sua profundidade limite.

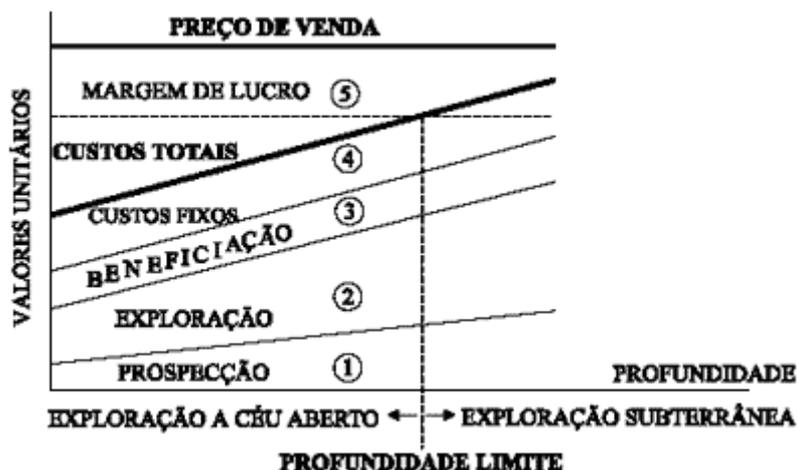


Figura 20 – Variação de custos de produção com a profundidade, com a definição da profundidade limite de exploração a céu aberto.

As técnicas de projeto e de exploração utilizadas nesta mina são típicas da indústria mineira de produtos metálicos, com grandes câmaras de extração separadas por pilares dimensionados através de estudos geomecânico de caracterização, de medições do estado de tensão “in situ” e de simulações com o método dos elementos finitos para estabelecimento da melhor geometria das cavidades subterrâneas.

O Futuro das Pedreiras Subterrâneas

Quaisquer que sejam as dificuldades para a existência de explorações de rochas ornamentais e industriais, a céu aberto ou em subterrâneo, haverá sempre necessidade de abastecer os consumidores dessas matérias-primas, por serem essenciais ao desenvolvimento e ao conforto humano.

Não restam dúvidas que as exigências para o seu licenciamento serão cada vez mais difíceis, seja no ponto de vista técnico seja no ambiental. Assim, é de esperar que os estudos destinados à abertura de novas explorações, ou à passagem de pedreiras a céu aberto para subterrâneas, envolvam trabalhos de prospecção mais completos do que no passado, projetos de produção mais sofisticados, novos sistemas de estabilização das

escavações, melhores estudos de impactos ambientais e planos de recuperação paisagística mais criativos, com obrigações de cumprimento mais rigorosas.

Também o dimensionamento estrutural e as atividades de monitoração da segurança das cavidades tende a aproximar-se dos requisitos das grandes obras de engenharia (ver os exemplos das Figuras 21 e 22), obrigando a uma maior especialização dos técnicos que se dedicam a este setor.

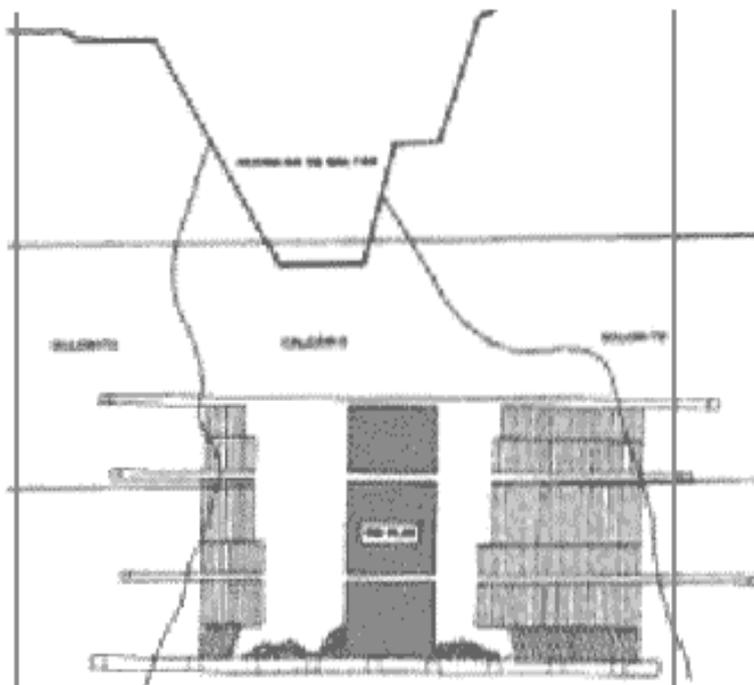


Figura 21 – Representação esquemática da transição de exploração a céu aberto para subterrânea na mina de calcário de Baltar (Brasil).

Com base nas tendências observadas presentemente na indústria mineral, no Mundo em geral e na Europa em particular, assim como a situação atual das pedreiras subterrâneas, é possível prever como poderão evoluir estas últimas, na óptica dos países europeus.

Ainda são muito poucas as pedreiras que operam no subsolo, comparativamente às que produzem rochas industriais e ornamentais a partir de explorações superficiais, ao contrário do que acontece nos minérios metálicos. Porém, com a conjuntura de novos fatores influentes dos tempos futuros é de prever que esse equilíbrio irá alterar-se à medida que se forem impondo os requisitos de proteção ambiental e a crescente pressão da opinião pública.

Como é cada vez mais difícil iniciar novas explorações minerais e as antigas tendem a encerrar a atividade por falta de reservas e de qualidade dos produtos, as tendências dominantes serão a seletividade, a especialização, a qualificação e a competência a níveis cada vez mais elevados.

Na indústria mineral do futuro, um pequeno número de unidades produtoras assegurará o abastecimento do mercado consumidor, no caso particular das pedreiras com índices de mecanização e automatização cada vez mais sofisticados, a partir de poucas regiões que permitem o seu funcionamento, todas muito exigentes quanto à proteção ambiental. Será mais freqüente observar a transição de lavra superficial para subterrânea, precisamente sob a pressão dos ambientalistas, que preferem essa solução à abertura de novas pedreiras.

Será observado também, uma diminuição progressiva dos contingentes de mão de obra destinados à indústria extrativa, especialmente aqueles de baixa especialização. Iremos assistir, com intensidade crescente, à utilização de metodologias avançadas de projeto e de execução da atividade extrativa, com condições acrescidas de

sobrevivência em mercados sempre mais competitivos, mesmo naqueles que atualmente estão imunes à concorrência de produtos importados. A minimização dos custos de transporte (intercontinental, internacional e inter-regional) de substâncias minerais tornará mais aberta a concorrência, destruindo os monopólios e oligopólios, democratizando o mercado, e ajudando o consumidor a ser mais exigente e menos vítima dos protecionismos.

Capítulo III

3.1 AS CONSEQÜÊNCIAS DA MINERAÇÃO NO MEIO AMBIENTE.

- Degradação da paisagem
- Ruídos e Vibração
- Poeira
- Disposição de Rejeitos e Estéril
- Poluição das Águas
- Tráfego de veículos

Os trabalhos de exploração mineral utilizam quase que exclusivamente métodos de lavra a céu aberto. A seleção de um determinado método depende de outras características das jazidas e, às vezes, de fatores externos não controláveis.

Nas regiões metropolitanas do Rio e de São Paulo são identificados os seguintes métodos:

- Métodos para jazidas aluvionares e de substâncias minerais não consolidadas.
Nesta classe estão incluídos os métodos que promovem o desmonte e o transporte da substância mineral por meios hidráulicos, mecânicos e mistos, sendo que as jazidas se apresentam submersas ou não.
- Métodos de lavra por bancadas: quando os trabalhos situam-se acima do nível topográfico geral, tem-se a lavra em encostas; caso os trabalhos se desenvolvam abaixo daquele nível, abrir-se-á uma cava em degraus, conformando bancadas no sentido descendente.
- Métodos de lavras por tiras, são aplicáveis à lavra de substâncias minerais, cujas jazidas se caracterizam pela grande extensão em área, quando comparadas com a espessura.

Degradação da paisagem

O principal e mais característico impacto causado pela atividade mineraria é o que se refere à degradação visual da paisagem (foto 24).

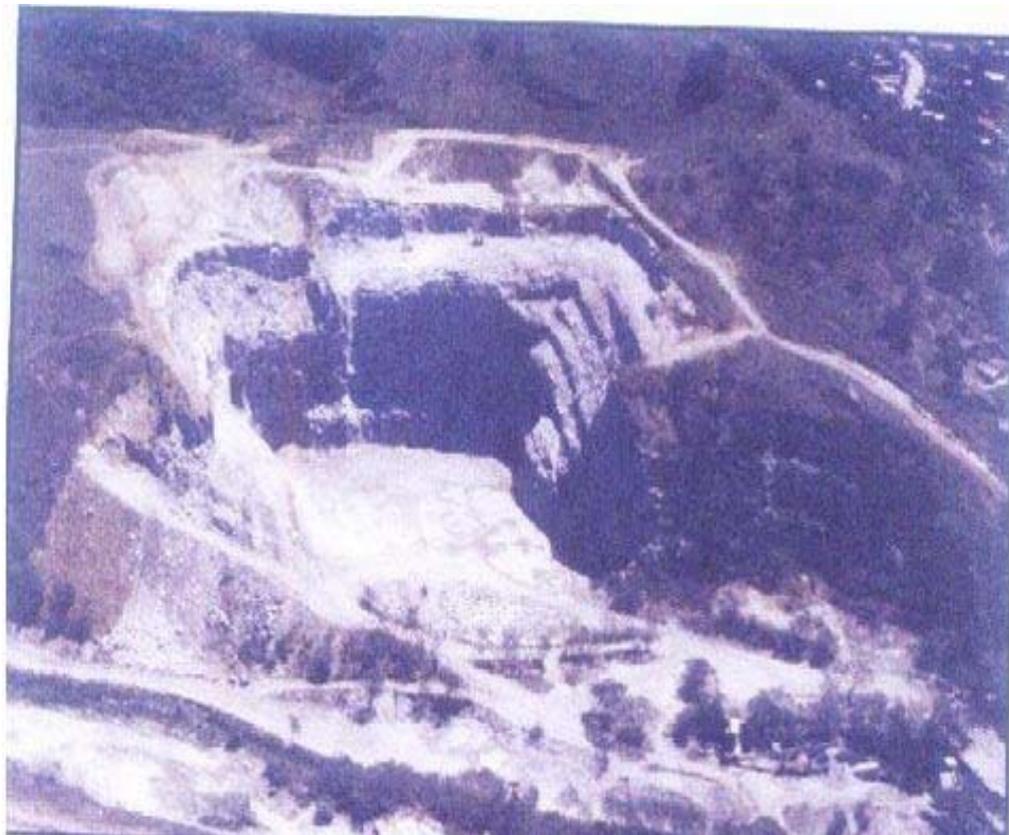


Foto 24 – Vista geral área de lavra a céu aberto

Os efeitos gerados pela degradação podem ser resumidos em: focos de erosão, escorregamento de massas de solo e rochas; assoreamento de vales e cursos d'água; poluição visual.

Não se pode, porém, aceitar que tais mudanças e prejuízos sejam impostos à sociedade, da mesma forma que não se pode impedir a atuação da mineração, uma vez que ela é exigida por essa mesma sociedade.

Existem duas diretrizes básicas que podem ser aplicadas na atenuação dos efeitos nocivos causados pela mineração:

- Prevenção e minimização dos impactos;
- Restauração e eliminação dos danos.

A tendência atual é atribuir à prevenção o caráter primordial e às atividades de recuperação o caráter complementar.

Dentro desta última, reveste-se de importância a reconstituição do ambiente primitivo, o que demanda um inventário completo dos sistemas ecológicos existentes antes da instalação da atividade. Este tem sido exigido em muitos Estados, para atividades de mineração em locais de equilíbrio ecológico específico.

A erosão é um processo de desgaste das rochas ou do solo que se manifesta em função de vários fatores como topografia, vegetação, tipo de rocha, clima ou pela intervenção humana.

A extração mineral na RMSP⁸ adota a lavra a céu aberto para praticamente todos os minérios e provoca, no seu desenvolvimento, a remoção da cobertura vegetal e cortes na topografia, realizados muitas das vezes sem nenhuma técnica, deixando as áreas já mineradas ao abandono, sem vegetação e expostas aos efeitos climáticos.

Os terrenos nestas condições, sob clima com intensa precipitação pluviométrica, são submetidos a processos erosivos intensos, produzindo decomposição das rochas e desgaste do solo (foto 25), gerando efeitos que uma vez iniciados se repetem ciclicamente.

⁸ RMSP – Região Metropolitana de São Paulo

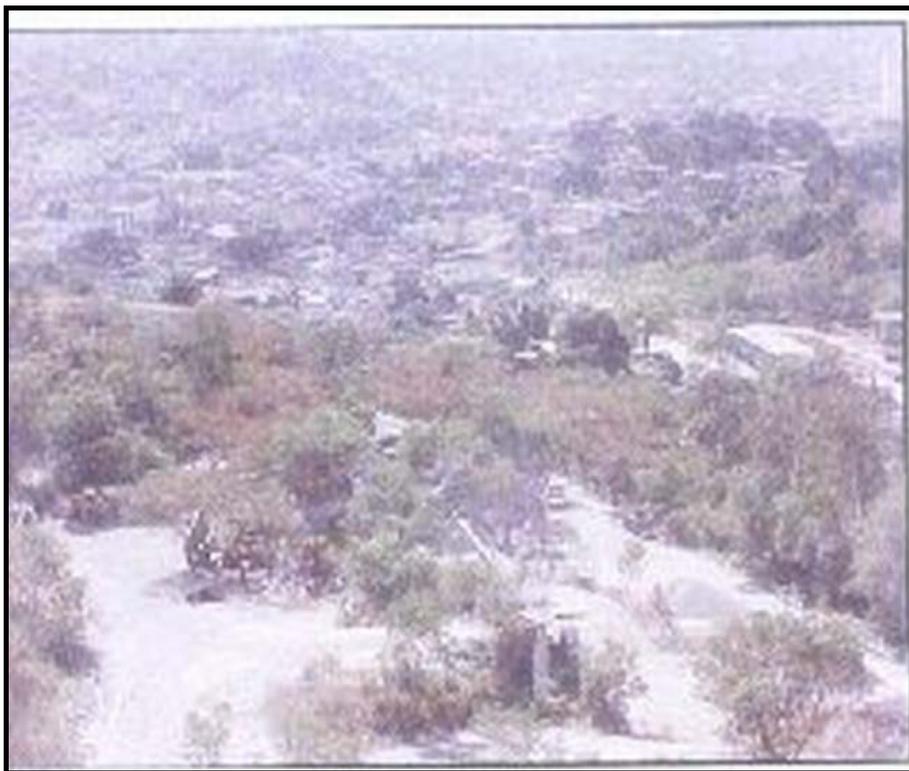


Foto 25 – Processo erosivo

Os efeitos da erosão podem ser controlados pela execução de cortes com taludes adequados na topografia, reaterro das áreas já mineradas, feito com o próprio material estéril removido à medida que a extração avança, e implantação de cobertura vegetal nas áreas já aterradas.

A atividade mineral a céu aberto ocasiona também na sua totalidade a remoção do material estéril que recobre ou envolve o minério, sendo acumulado, via de regra, sem nenhuma técnica, ao lado ou nas vizinhanças da mina.

Quando esses depósitos ficam muito volumosos, tornam-se, por si mesmos, instáveis e sujeitos a escorregamentos localizados. No período de chuvas, são removidos e transportados continuamente até as regiões mais baixas e, em muitos casos, para cursos d'água. A repetição contínua do processo provoca o transporte de volumes consideráveis, ocasionando gradativamente o assoreamento do curso d'água e por fim a bacia hidrográfica.

Além do volume provindo do material estéril, devem ser consideradas as quantidades advindas da área das próprias jazidas e o material produzido pela decomposição das rochas e erosão do solo. No caso da extração de areia e caolim, o problema do assoreamento chega a ser significativo.

O problema pode ser minimizado através do adequado armazenamento do material estéril e sua posterior utilização para reaterro de áreas já mineradas, e de tanques que retenham os sedimentos finos na própria área, preservando a hidrografia local.

A poluição visual é o primeiro efeito visível da mineração ao meio ambiente. Grandes crateras e lagos, paredões expostos e áreas devastadas são produtos da mineração em numerosos casos, impedindo sua posterior utilização.

Em alguns casos (grandes minas), a reconstituição da paisagem original é difícil ou praticamente impossível. Porém, através da condução adequada das operações de lavra e de um projeto de recuperação, que leve em conta o destino futuro a ser dado à área, a degradação ambiental pode ser atenuada ou até eliminada.

O desmonte de material consolidado é geralmente realizado através de explosivos, resultando, em consequência, ruídos e vibrações quase sempre prejudiciais à tranquilidade pública. Não obstante o desejo de locar-se tais empreendimentos em regiões mais afastadas dos centros urbanos, existem locais onde esse objetivo não pode ser atingido e certas jazidas e ou pedreiras foram gradualmente envolvidas pela urbanização. Nestes casos o deslocamento de ar (air blast) causado por freqüentes detonações e a intensidade da onda de choque, que se propaga por toda a massa rochosa, pode colocar em risco as construções situadas nas vizinhanças.

Outro grande incômodo sofrido pelos habitantes próximos às minerações relaciona-se com a poeira (foto 26). Esta pode ter origem tanto nos trabalhos de perfuração da rocha como nas etapas de desmonte, beneficiamento e transporte da produção. Essa poeira apresenta uma fração muito fina, que fica muitas horas em suspensão no ar, espalhando-se por extensas áreas podendo gerar inúmeros problemas respiratórios na população atingida.



Foto 26 – Seqüência de uma detonação, Observar a dispersão e deriva do material particulado



O pó oriundo da perfuração da rocha é de pequena monta, não sendo computado como poluente de grande escala. Entretanto, esse pó é nocivo aos trabalhadores que operam nas frentes de lavra. As perfuratrizes devem ser equipadas com dispositivos adequados de controle de pó, seja por sistemas de injeção de água, seja por aspiração.

As instalações de beneficiamento (britagem, peneiramento, moagem e embalagem), por sua vez, produzem quantidades muito grandes de poeira e de finos. O despoeiramento das instalações de pedreiras e similares pode ser feito de diversas maneiras, de acordo, com cada caso.

O tráfego intenso de veículos pesados, carregados de minerais, causa uma série de transtornos à comunidade, especialmente as mais próximas à área de mineração, a poeira e a emissão de ruídos, respectivamente, freqüentemente deterioram as vias da região e elevam os níveis de ruído a que a população está exposta. Embora alguns itens do problema sejam de fácil resolução, como no caso da poeira, a solução global é difícil e só pode ser minimizada após o estabelecimento de áreas específicas à atividade de mineração. Alguns cuidados especiais devem ser exigidos desde o início das atividades das empresas como acompanhamento e manutenção rigorosa dos veículos de transporte.

3.2 PROBLEMAS GERADOS POR DETONAÇÕES EM PEDREIRAS.

É comum no dia a dia separarmos intuitivamente o que chamamos de vibração e o que consideramos som. Assim, se a oscilação é detectável pelo tato, ela é chamada de vibração; sendo detectável pelo sistema auditivo é chamada de som, ou vibração sonora. É interessante lembrarmos que há também vibrações que não são detectáveis pelos órgãos sensoriais dos humanos, como, por exemplo, podemos citar o infra-som (sons com frequência inferior a 20 Hz). Ficaremos, portanto, dentro do âmbito das vibrações e sons contemplados como prejudiciais e com institutos legais aplicáveis. Nossa abordagem aqui se limitará às atividades de lavra a céu aberto (ondas sísmicas e níveis de pressão sonora ou sobrepressão gerados pelas explosões de superfície, como consequência do desmonte de rochas em pedreiras ou outros minerais).

Fonte ruidosa objeto de estudo: pedreiras;

Característica da fonte ruidosa: ruído impulsivo (duração menor que 1 segundo) gerado pelas explosões e ruído intermitente gerado pela atividade normal, como máquinas, caminhão, moinho (triturador);

Problemas ambientais decorrentes do emprego de explosivos (desmonte de rochas) remontam ao início do século, todavia o crescimento das cidades, e a aceleração na ocupação do solo, reduziram a distância entre as pedreiras (fontes de ruído, poeira e vibração) e a população (foto 27). Ao longo do tempo também houve um desenvolvimento da tecnologia de explosivos nesta área. A indústria mineral, como outros segmentos da economia, vem acompanhando a tendência mundial na busca de novas tecnologias visando a melhoria de qualidade dos produtos aliada a preservação e recuperação do meio ambiente. Assim, tem procurado técnicos e ou consultores especializados nas áreas de engenharia de minas, geologia e meio

ambiente, como forma de sobrevivência, adotando novos procedimentos e técnicas modernas de produção e automação. Estas técnicas modernas e inovadoras de engenharia de minas e controle ambiental proporcionam a estas minerações o auxílio na obtenção da certificação de ISO⁹ 9002 e ISO 14001.

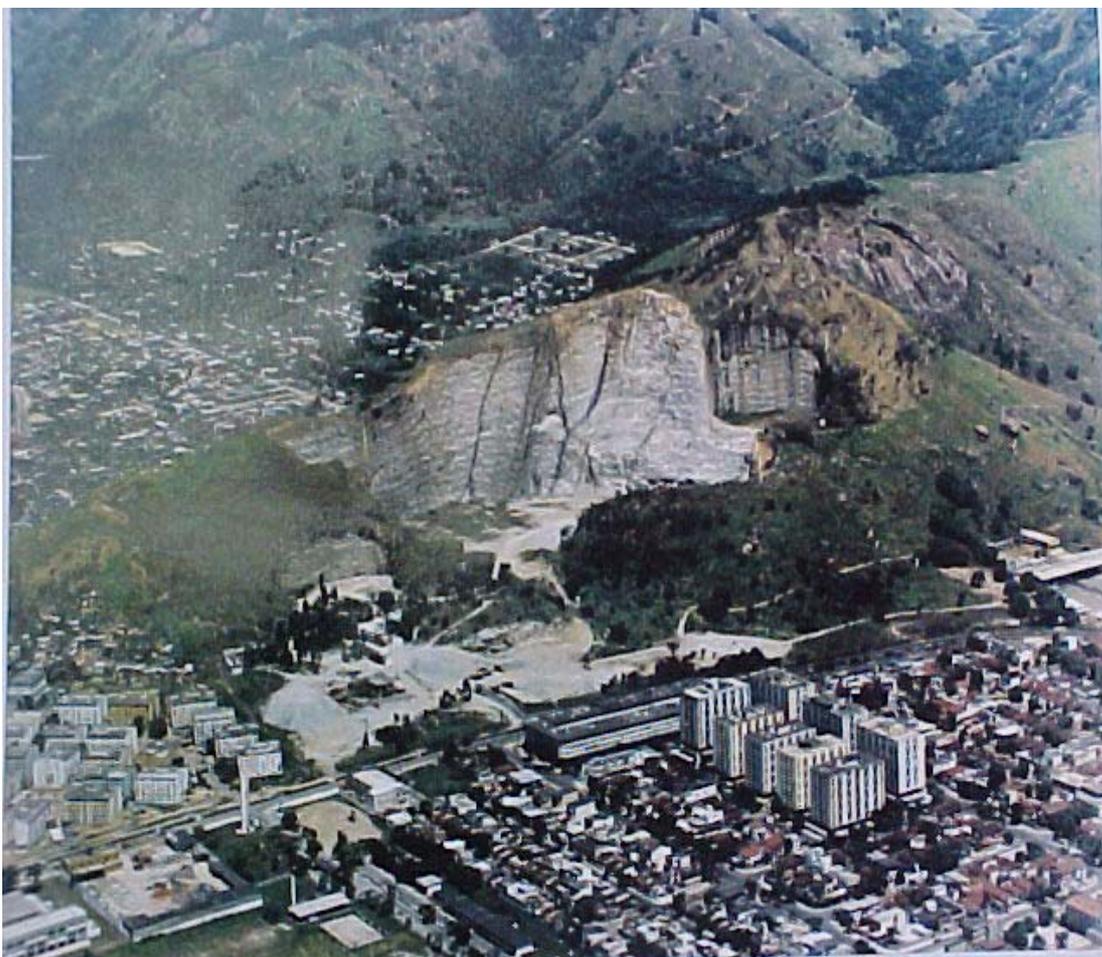


Foto 27 – Cenário típico de pedreira urbana

O que deve ser feito normalmente pelas pedreiras é encontrar os chamados planos de fogo (determinação da reta ajustada para cada lavra), com utilização de instrumentos de medição, no sentido de maximizar a produção local sem as manifestações de reclamação da comunidade. Ter planos de fogo para uma pedreira não significa engessá-la no nível de produção e sim ter uma engenharia de explosivos e vibração bem estruturada. Os planos variam segundo a evolução das bancadas e suas

⁹ ISO – International Organization for Standardization

características de talude. Muitas vezes a simples verificação da direção, velocidade e horários dos ventos predominantes em relação à população lindeira, pode levar a determinar que as explosões devam ocorrer na parte da manhã ou na parte da tarde, por exemplo.

A medida radical de transferir as pedreiras para longe da comunidade é uma decisão que deve ser bem pensada, pois há aumentos dos custos.

Considerando os reinos animal, vegetal e mineral, o consumo humano, em peso, de substâncias do reino mineral supera em até 70 vezes o consumo daquelas provenientes dos demais reinos. Assim sendo a indústria extrativa mineral é essencial à manutenção da qualidade de vida da sociedade moderna. O empresário da extração mineral deixa, paulatinamente, de identificar o fator ambiental unicamente como uma componente de aumento dos custos, mas sim como um componente de resultados de qualidade de vida. A atividade de mineração junto às áreas urbanizadas é um fator importante para o desenvolvimento das próprias cidades, notadamente para a produção de matérias primas minerais para a construção civil, que, por serem de baixo valor unitário, não podem ser demasiadamente onerados pelo transporte.

Atualmente, na área ambiental, há a preocupação com os empreendimentos em todas as suas fases: pré-instalação, exploração e encerramento da atividade (descomissionamento). No Brasil, houve diversos registros de problemas ambientais graves, deixados pelas empresas, após o encerramento das atividades. No caso particular da extração mineral encerrava-se a atividade com cava abandonada e inundada, desmoronamentos, destruição da vegetação nativa no entorno, etc.

O problema avolumou-se com a urbanização crescente em face do desenvolvimento industrial dos grandes centros. Uma maior demanda de substâncias minerais era exigida com o crescimento e a ocupação habitacional próxima às áreas de

produção mineral, também era crescente. Há necessidade de planos diretores de mineração para regiões metropolitanas que apresentam dificuldades na implantação da atividade.

Há necessidade de avaliação de todos os conflitos, com o objetivo maior de levar à harmonização, entre a população, as normas a serem seguidas e os órgãos da administração pública. Há uma falsa idéia de que areias, cascalhos, argilas, rochas para britagem e moagem são bens minerais inesgotáveis, facilmente encontrados, e que em vista disto não precisariam ser extraídos próximos aos grandes centros. Maiores distâncias e maiores custos de transporte são indissociáveis. Em países ricos, legislações elaboradas obrigaram o afastamento das áreas de extração dos grandes centros. Como exemplo USA - New York (com o afastamento a brita subiu de U\$2,65/m³ para U\$4,35/m³, custos aumentados em 10 milhões de dólares). Alemanha - (Afastamento de 10 km, custos aumentados em 250 milhões de dólares). Isso porque muitas vezes o maior usuário deste tipo de material é o governo com suas obras de infra e super estruturas e a população a maior beneficiada.

Os mineradores, por exemplo, em Minas Gerais (Brasil), argumentam terem chegado antes àqueles espaços físicos e de terem trazido associado a isso melhoramentos para todas as regiões onde se instalaram (o que é verdade). Justamente esse crescimento trouxe a necessidade posterior da urbanização. Por outro lado há a mobilização popular com inúmeras denúncias aos órgãos públicos, apelos à imprensa e até queixas à polícia civil e militar têm ocorrido, principalmente provocados pelo ultralançamento de rochas no momento da explosão (foto 28), criando um clima de conflito. O ultralançamento (fly rock) já levou muitas pedreiras à interdição por parte dos órgãos de fiscalização.



Foto 28 – Momento da detonação; Escape de gases, geração de ruído e ultralancamento.

O desafio do administrador que lida com a mineração é diminuir os conflitos e ter uma boa estrutura de engenharia de explosivos e vibração, bem como adotar uma postura de ação responsável.

Hoje com as ferramentas disponíveis no setor, sismógrafo de engenharia, softwares, câmara ultra-rápida de filmagem da detonação da face e câmara de inspeção do interior de furo, equipamentos de perfilamento de furos e de bancada, plugs especiais para tamponamento, explosivos e acessórios específicos é possível diagnosticar qualquer tipo de problema vindo desta atividade.

Com campanhas de monitoramento das detonações de uma mineração, é possível detectar qualquer tipo de anomalia que por ventura possa estar ocorrendo, identificando com facilidade e precisão, podendo estabelecer procedimento de

eliminação, resultando assim na diminuição das reclamações oriundas dos núcleos habitacionais próximos.

Os maiores impactos gerados decorrem das atividades de perfuração, detonação, processamento e abertura de cava da mineração. Controlando-as com pessoal treinado e equipamentos especializados, os impactos ambientais estarão minimizados e garantirão o aumento da vida útil da mineração.

A maioria dos países tem normas próprias ou adotam às internacionais, que especificam níveis aceitáveis de vibração do solo provocados por detonações. Estas normas são baseadas em pesquisas que relacionam o pico da velocidade com os danos estruturais.

Na maioria das operações, os níveis de vibrações das detonações são mantidos bem abaixo dos critérios estabelecidos para evitar danos.

Entretanto, o respeito às leis não excluem problemas: vibrações dentro de limites legais podem ainda aborrecer a vizinhança, podendo gerar litígios. A vistoria detalhada por parte dos órgãos de fiscalização é indispensável.

Há necessidade de medições criteriosas nos locais para verificar se as reclamações procedem. Havendo muitas queixas, que é verificado por pesquisa de vizinhança podemos ter um forte indicativo de desrespeito ao cumprimento das normas. Os administradores da exploração mineral têm necessidade de verificar a procedência da reclamação.

As medições de vibração do terreno, geradas por atividades que utilizam explosivos como, por exemplo, desmontes de rocha, implosões de edifícios, abertura de túneis e estradas, detonações em pedreiras, são realizadas para avaliar os efeitos das mesmas nas construções civis, e, também, para verificar o incômodo gerado nas pessoas que vivem na vizinhança.

Os equipamentos utilizados, denominados sismógrafos de engenharia, registram o nível da vibração do terreno, medindo a velocidade e a frequência de vibração de partícula, que são os parâmetros mais aceitos na avaliação de probabilidade de danos em construções civis segundo a NBR 9653. A intensidade da vibração gerada é função de fatores como a distância entre o ponto de detonação e o ponto de captação, litologia, topografia, carga máxima por espera, tempo de retardamento entre cargas, geometria do plano de fogo, razão de carregamento e tipo de explosivo.

O monitoramento das vibrações normalmente é realizado quando são identificados possíveis problemas ambientais com comunidades vizinhas ao empreendimento ou para preveni-los. Nesses casos, as maiores preocupações são com relação aos valores de velocidade e de frequência de vibração e da sobre-pressão atmosférica, os quais devem ser confrontados com os limites estabelecidos pelas normas vigentes.

Os sensores de vibração do terreno mais utilizados são denominados sismógrafos de engenharia, podendo medir velocidade ou aceleração, conforme seu tipo. São assim denominados para diferenciarem-se daqueles utilizados em geofísica, com aplicações no estudo da sísmica de reflexão, terremotos e medição da velocidade de propagação das ondas sísmicas.

Os sismógrafos de engenharia medem a velocidade de vibração de partícula em mm/s, sendo este, atualmente, o parâmetro mais aceito para correlacionar as vibrações com danos potenciais estruturais causados por detonações (JIMENO et al., 1995; SISKIND, 2000).

Os sensores que medem a vibração do terreno são chamados de geofones e usam transdutores. O geofone pode conter um transdutor (uniaxial), ou três (triaxial). O sensor para a sobrepressão atmosférica é denominado de microfone.

Os sensores de interesse à sismografia, em geral medem uma das quatro grandezas:

- Velocidade - sistemas eletromagnéticos;
- Aceleração – piezoelétricos;
- Sobre-pressão – microfone.

Os sensores de velocidade são transdutores do tipo eletromagnético que emitem uma tensão elétrica proporcional à intensidade de vibração de partícula. O sinal elétrico é gerado por uma mola que está mergulhada dentro de um campo magnético estacionário, com a mola livre para mover-se dentro desse campo. Nos desmontes, a mola move-se uma vez que o geofone está em contato direto com o solo. O campo magnético permanece estacionário enquanto a mola se movimenta, induzindo uma força que é proporcional à intensidade de vibração de partícula, sendo que esta é registrada pelo sismógrafo.

A sensibilidade de aplicação está limitada pela frequência real do transdutor, que varia normalmente de 2 a 15 Hz até o máximo de 200 a 300 Hz. Por isto, os sismógrafos de engenharia não são recomendados para estudos de vibrações de baixa frequência como, por exemplo, as frequências produzidas por terremotos de menor intensidade.

O armazenamento dos dados é feito por instrumentos que permitem a visualização e amplificação dos sinais que chegam dos sensores, sendo eles de vários tipos, tais como: os que apenas armazenam os valores de pico em papel, outros a onda completa (sismogramas), os que são contínuos, em papel fotográfico e os de

armazenamento analógico dos sinais captados pelos sensores. Estes últimos possuem a vantagem de permitir que o sinal seja reproduzido sempre que necessário, podendo-se introduzir filtros ou integradores entre o sinal propriamente dito e a armazenagem.

O sismógrafo é composto por instrumentos analógicos ou digitais para reproduzir e visualizar os sinais. Estes podem ser reproduzidos para uma análise completa, o que inclui cálculos de Transformada Rápida de Fourier (FFT), usada para se obter valores de concentração de energia em pontos do gráfico de distribuição de velocidades e associá-los com a frequência predominante da onda vibratória. Além disso, com os gráficos obtidos em função do tempo, pode-se identificar o nível máximo de vibração e seu tempo correspondente, bem como a duração do evento.

Quando necessário, os sinais podem ser filtrados, integrados ou derivados para que se eliminem certos componentes ou se calcule outros parâmetros da gravação original. Como exemplo temos a integração da aceleração uma ou duas vezes para se obter respectivamente a velocidade de partícula ou o deslocamento.

Todos os parâmetros são controlados pela verificação e calibração do sistema triortogonal do geofone, através do sensor de calibração, toda vez que este é acionado, alertando quando há irregularidades ou danos em quaisquer das três componentes.

O monitoramento sismográfico pode ser também utilizado para se avaliar o desempenho de explosivos e estabelecer conformidade com as regulamentações existentes, específicas para avaliação de possíveis danos em construções civis e desconforto ambiental. Nesse contexto, existem algumas especificações gerais para os sismógrafos, segundo BROCHU (1999):

- Faixa de frequência: 2 a 250 Hz;
- Precisão: +/- 5% ou +/- 0,5 mm/s (0,02 pol/seg), o que for maior;
- Densidade de vibração do sensor: < 2,40 g/cm³ (150 lb/pé³);

- Amostragem digital: pelo menos 1000 amostras/segundo/canal;
- Temperatura de operação: -12 a 49° C.

Atualmente, dois tipos de monitoramentos de vibração são mais utilizados: o primeiro é o registro contínuo de pico de velocidade de partícula do evento, que fornece a velocidade máxima da partícula em um período de tempo. Esse tipo de monitoramento é utilizado em situações onde se deseja fazer um acompanhamento por um determinado período de tempo de uma vibração contínua, como por exemplo, vibrações geradas por máquinas, bate-estacas, passagem de veículos de transporte, etc. Neste caso, o sismógrafo permanece ligado por um período de tempo mais longo, horas, dias, diferente do caso dos desmontes de rocha em pedreiras.

O sismógrafo também pode ser programado para medir eventos transientes, como no caso do desmonte em pedreiras. Neste caso, o instrumento é programado para começar a registrar a partir do momento em que um determinado nível de vibração é atingido. Esse nível, que aciona o sismógrafo é chamado de “triggering”. O “triggering” é o nível de disparo que deve ser programado para ser o mais baixo possível e suficiente para que o geofone capte a vibração e alto o bastante para minimizar a captação de eventos indesejáveis. A utilização conjugada do limite inferior de sensibilidade (“threshold”) e do gatilho (trigger) permite que se opere o sismógrafo em modo de espera (“stand by”). Ou seja, toda vez que ocorrer um evento que ultrapasse um determinado limite de sensibilidade pré-programado, o gatilho é acionado permitindo que o aparelho registre vários eventos consecutivos sem a interferência do operador.

A energia gerada por uma detonação com explosivos produz ondas transientes que são transmitidas tanto pelo solo quanto pelo ar. Essa energia se propaga através das vibrações pelo terreno e da sobre-pressão atmosférica.

Os parâmetros de medição da vibração mais utilizados compreendem a velocidade, a aceleração e o deslocamento de partícula no terreno, juntamente com sua respectiva frequência. Já a sobre-pressão atmosférica relaciona-se com o deslocamento de ar provocado na explosão e não com a onda do solo.

Relacionando velocidade de vibração de partícula com a distância e a carga de explosivos máxima por espera, DEVINE et al. (1996) desenvolveram a equação empírica (1), denominada de equação de propagação, cuja forma é, atualmente, a mais utilizada na previsão de possíveis danos estruturais:

$$V = H \left[\frac{D}{W^{1/2}} \right]^{\beta} \quad (3)$$

Onde:

V = velocidade de vibração de partícula (mm/s)

W = carga explosiva máxima por espera (Kg)

D = distancia entre a fonte e o ponto de captação (m)

H e β são coeficientes numéricos dependentes da geometria do plano de fogo e das características do terreno, sendo determinadas estatisticamente.

Componentes da velocidade de vibração de partícula:

- Velocidade longitudinal (V_L) – é a componente do movimento da partícula na direção definida pelos pontos de detonação e captação;
- Velocidade vertical (V_V) – é a componente do movimento perpendicular ao plano definido pela componente longitudinal no plano horizontal;
- Velocidade transversal (V_T) – é a componente do movimento perpendicular ao plano definido pelas componentes longitudinal e vertical;

- Velocidade resultante (V_R) - representa o real movimento que a partícula faz no espaço, sendo a soma vetorial das componentes Longitudinal (V_L), Vertical (V_V) e Transversal (V_T). Ela é calculada pela seguinte expressão, em cada instante:

$$V_R = \sqrt{(V_L^2 + V_V^2 + V_T^2)} \quad (4)$$

A onda vibratória é um sinal transiente. Existem amplitudes diferentes de zero, relativas a determinadas frequências que são inexistentes sob o ponto de vista da resposta estrutural, mas que devem estar presentes para reproduzir corretamente a onda verdadeira. Não há frequência única que descreva a vibração na sua totalidade, sendo a Análise de Fourier (FFT) a mais usada para decompor o sinal em um espectro de frequências. Se uma das frequências for escolhida como dominante em relação às demais, uma avaliação equivocada do potencial de dano ou incômodo pode ser realçada. Para evitar este tipo de problema e simplificar os cálculos, usa-se um determinado método na análise de vibrações produzidas por detonações, conhecido como “*Zero-crossing Frequency*”(figura nº23). Nesse método, representado graficamente por tempo versus frequência, cada vez que a onda cruza o eixo do tempo, este é calculado até que a onda cruze o mesmo eixo novamente, considerando-se este tempo como um meio período, o qual é, então convertido para uma frequência. A amplitude da onda neste período é usada como um critério para a escolha da “frequência dominante”. A frequência dominante é obtida do inverso do meio período associada com a amplitude mais alta (CRENWELGE, 1988).

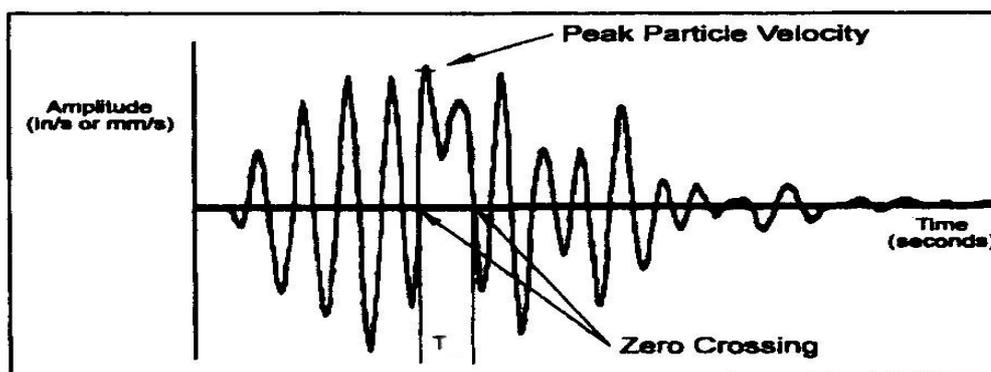


Figura nº 23 – Determinação da frequência dominante

Os desmontes de rocha por explosivos apresentam vibração complexa, com superposição de ondas, tendo-se, portanto, diversas frequências associadas aos diversos componentes. No entanto, estas frequências são normalmente elevadas e de curta duração, o que faz com que os atuais sismógrafos de engenharia, possam ser utilizados para o monitoramento da maioria dos eventos. A frequência predominante é considerada na avaliação de possíveis danos estruturais, indicando, juntamente com a velocidade de partícula, se a estrutura corre algum risco de sofrer danos associados a um evento desta magnitude em função da possibilidade de ocorrência do fenômeno de ressonância, provocada pela coincidência da frequência predominante do evento com a frequência natural ou própria da estrutura.

As formas de ondas que têm a sua origem na detonação são registradas usando-se sismógrafos, com uma gravação que permite um eficiente e apurado registro de dados; os registros de formas de ondas são processados usando técnicas de análises espectrais (figura 24), para determinar se há problema de baixa frequência de vibração; se algum problema for detectado, um processo adicional é realizado para escolher as seqüências de retardos na detonação, que reduzirão ao mínimo a baixa frequência de vibração. A simples monitoração do pico da velocidade de partícula (V_p) nunca indicará existência de um problema de baixa frequência de vibração.

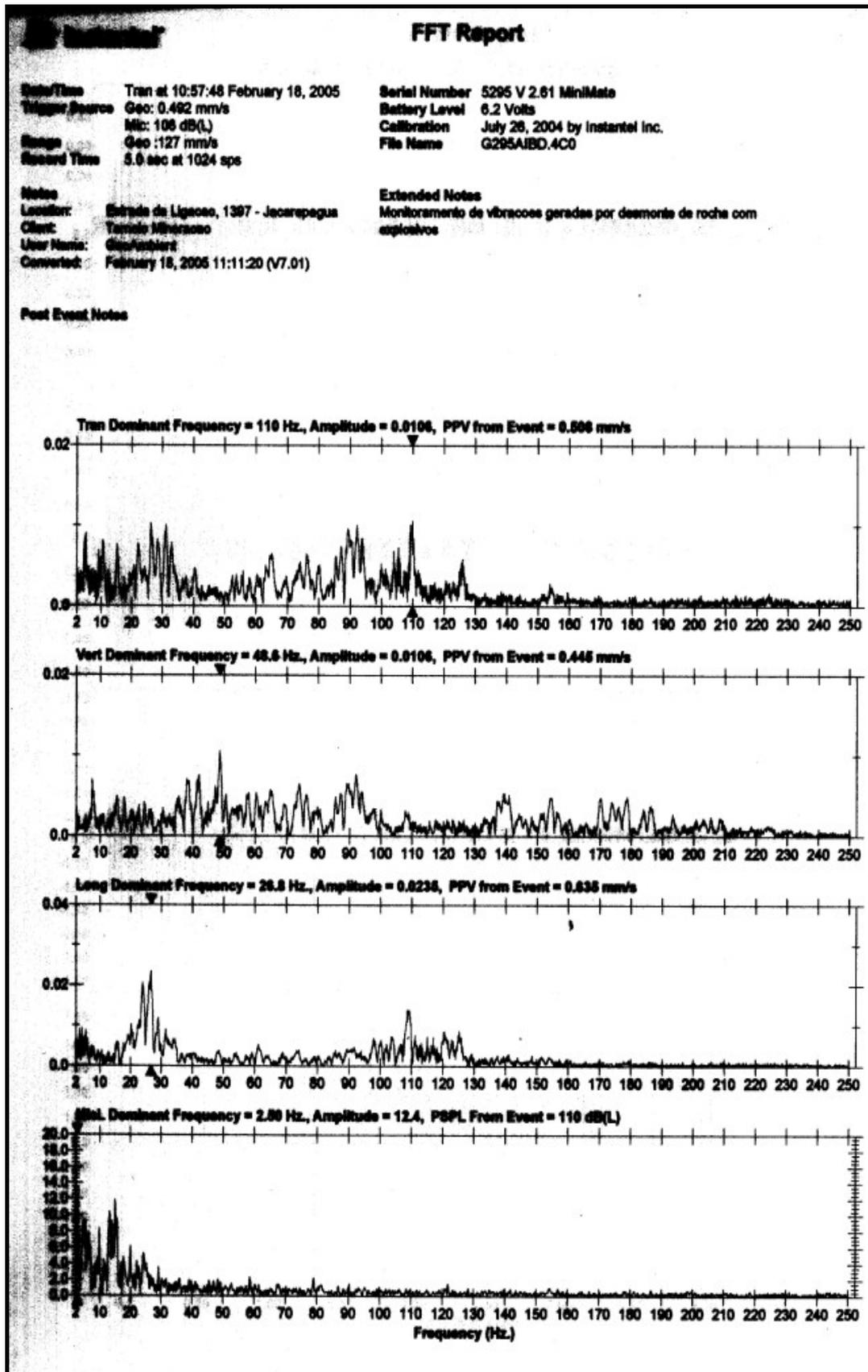


Figura nº 24 – Relatório de análise espectral

Muitas vezes o formulário de registro de gravação pode ou não indicar o problema.

Estruturas com características residenciais ressoam com uma frequência que varia de 3 a 18 Hz (1 Hertz = 1 ciclo/segundo). Isto significa que caso as vibrações no solo estiverem dentro desta faixa, a estrutura entrará em ressonância e ampliará a vibração de 2 a 10 vezes.

Em muitas situações de mineração a geologia local irá ampliar as vibrações nesta faixa de frequências. A propagação das ondas de explosão pode ser detectada nas camadas próximas à superfície, ressonando (mais forte que a ressonância das estruturas) segundo frequências determinadas pela espessura e composição do material da superfície.

A sobre-pressão atmosférica é caracterizada pela propagação de uma onda elástica no ar onde as partículas deste vibram em torno de uma posição de equilíbrio.

A sobre-pressão pode ter sua energia distribuída ao longo do espectro de frequências de muitos modos. A parte que estiver entre 20 e 20.000 Hz é audível e se denomina som (se agradável) ou ruído (se desagradável). As frequências abaixo de 20 Hz ou acima de 20.000 Hz são denominadas respectivamente infra-som e ultra-som.

O ruído é um som indesejável, definido segundo algum critério humano. A Norma Brasileira 10.151 (Avaliação e procedimento para) define ruídos contínuos, intermitentes e impulsivos. O ruído impulsivo é aquele cujo pico energético dura menos de 1 segundo e está separado do próximo pico em mais de 1 segundo.

Deste modo, uma detonação gera uma sobre-pressão atmosférica com parte não audível e outra audível, na parte audível, pode-se ter um ruído impulsivo. Dependendo do tempo e da quantidade de retardos, podemos ter uma detonação que não seja impulsiva, por prolongar-se por mais de 1 segundo.

A sobre-pressão atmosférica é quantificada através de parâmetros como valor instantâneo (SPL), valor máximo (MAX L) ou valor quadrático médio (RMS), sendo normalmente expresso em decibel. As medições devem ser realizadas com instrumento operando na forma linear, ou seja, sem filtros de ponderação tipo A, B ou C. Isso garante que as frequências inferiores a 20 Hz, onde é provável que se tenha uma significativa parte de energia, sejam adequadamente representadas, diferindo-se da medição de ruídos não impulsivos onde se deve usar algum tipo de filtro, preferencialmente o tipo A.

Detonações primárias tendem a gerar mais energia nas frequências mais baixas, enquanto que detonações secundárias tendem a gerar energia distribuída em frequências um pouco mais altas, em virtude do menor grau de confinamento da carga explosiva.

A uma certa distância da detonação, uma grande porção de energia acústica pode estar na faixa de infra-som, que apesar de não poder ser ouvida gera efeitos secundários nas estruturas como o vibrar de janelas e portas. A ausência de som audível pode fazer com que estes efeitos causem surpresa ou alarme nas pessoas, mesmo estando a sobre-pressão razoavelmente baixa, frequentemente confunde-se esse tipo de fenômeno com o de vibração transmitida pelo terreno.

Infelizmente, a maior parte destes efeitos (figura 25) ocorre perto das estruturas ou casas. Os problemas de relacionamento com a vizinhança não são resolvidos mediante a exposição de fatos.

Reclamações provenientes do desmonte de rocha:

- **Sobrepessão** (overpressure);
- **Onda de choque aérea** (air blast);
- **Vibrações**;
- **Ultralançamento** (fly rock) dos fragmentos de rocha;
- **Formação de poeira e gases**.

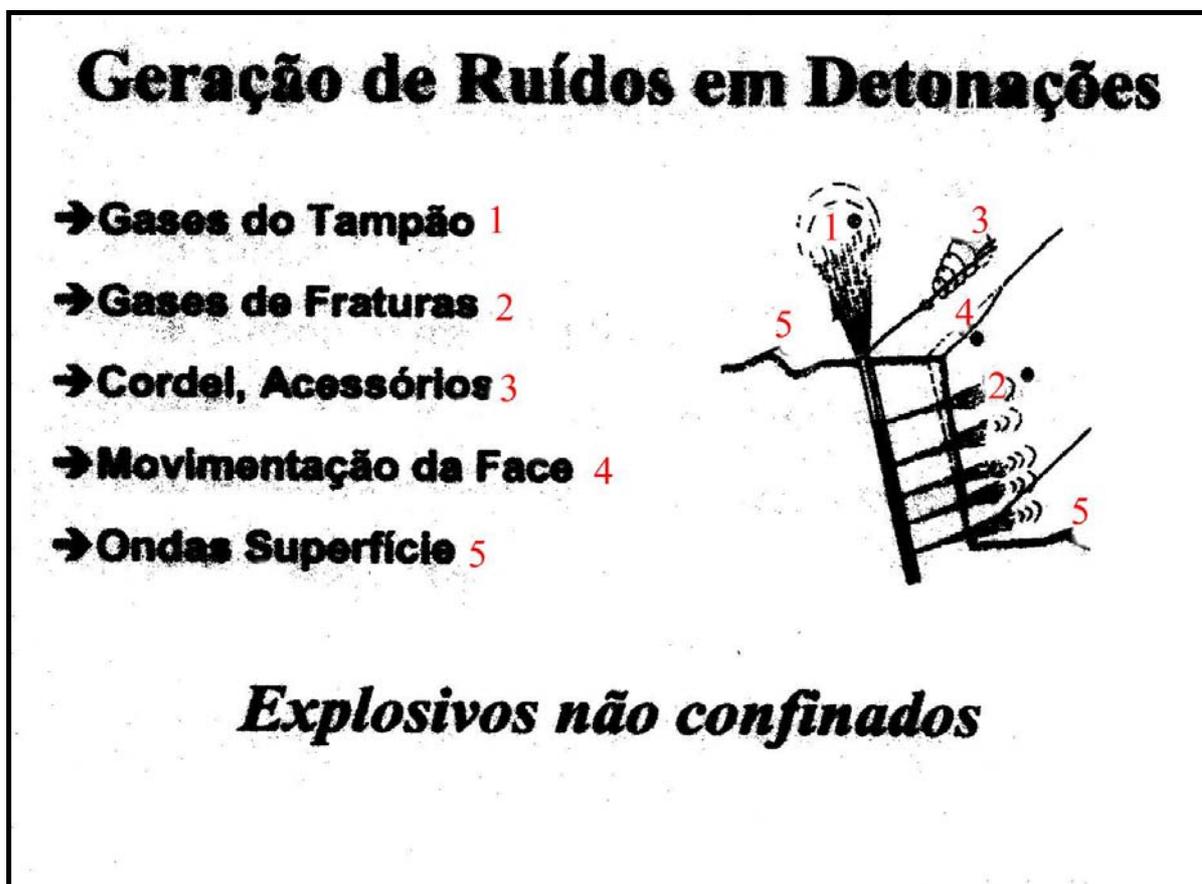


Figura 25 – Efeitos da detonação – Ruído

Variáveis que afetam as características das vibrações:

- Geologia local e características das rochas;
- Massa da carga operante;
- Distância até o ponto do desmonte;
- Tipos de explosivos;

- Tempos de retardo entre explosões;
- Variáveis geométricas do desmonte.

Parâmetros da vibração:

- Deslocamento;
- Velocidade;
- Aceleração.

Instrumentação de registro e análise de vibrações e onda aérea:

Sismógrafos (foto 29) com geofones devem ser usados na monitoração do pico da velocidade de vibração da partícula e no controle dos ruídos. O objetivo básico da medição de vibração é a detecção ou registro do movimento vibratório do solo ou estrutura. Este movimento é originado pela liberação da energia do explosivo confinado no furo.



Foto 29 - Medidores, sismógrafos.

Usualmente se tem feito uso da velocidade de partículas tanto para análise de incômodo a pessoas quanto análise de danos a edificações.

A configuração do movimento de partículas necessita de três coordenadas: V_r = Radial (ou longitudinal); V_t = Componente transversal (ou horizontal) e V_v = Componente vertical.

Há sismógrafos disponibilizados no mercado que medem as três componentes simultaneamente, e que permite extrair o maior valor encontrado, no ponto de medição, para V_r resultante no momento da detonação. Permitem também verificar, através de software em computador, com ambiente Windows, o comportamento de cada componente, bem como das frequências. Os valores são também disponibilizados em $RMS = \text{Root Mean Square} = \text{Valor Médio Quadrático} = \text{Valor Eficaz} = \text{Raiz quadrada da média dos valores instantâneos ao quadrado das componentes}$.

3.3 RUÍDO IMPULSIVO

O ruído pode ser caracterizado por seu espectro de frequência e pela variação do nível com o tempo. Quanto à variação no tempo o ruído pode ser:

Contínuo, ruído com pequenas variações dos níveis (até ± 3 dB) durante o período de observação;

Intermitente, ruído cujo nível varia continuamente de um valor apreciável durante um período de observação (superior a ± 3 dB);

Impacto ou Impulsivo, ruído que se apresenta em picos de energia acústica de duração inferior a um segundo (Norma ISO 2.204/73).

A NR – 15 (Norma Regulamentadora nº 15 – Atividades e Operações Insalubres) no seu anexo 2, define o ruído de impacto como sendo aquele que apresenta picos de energia acústica de duração inferior a um segundo em intervalos superiores a um segundo.

Os efeitos físicos da exposição do aparelho auditivo são bem conhecidos e decorrem de danos ao ouvido médio e interno. Geralmente esta lesão é bilateral com perdas auditivas progressivas e irreversíveis, sendo diretamente relacionadas com o tempo de exposição e os níveis de pressão sonora (faixa de 90 a 140 dB). Os picos intensos que excedam 140 dB podem causar trauma mecânico com ruptura da membrana timpânica, perda auditiva imediata e geralmente permanente (Miranda, 19--)

A OMS – Organização Mundial de Saúde (1980) assegura que os efeitos físicos graves são; a perda auditiva imediata, ocorrida após a exposição a ruídos de impacto de grande intensidade com grandes deslocamentos de ar; a surdez temporária, mudança temporária do limiar de audição após exposição a um ruído intenso por curto período e a surdez permanente, após a exposição repetida a um ruído excessivo.

De acordo com *Guidelines for Community Noise* (2002), estudos epidemiológicos não mostraram danos físicos de audição, para valores menores que 70 dB(A), mesmo produzidos por tiro, motocicletas, fogos de artifício e equipamentos. Porém, algumas experiências com animais e casos estatísticos indicam que:

- A níveis de pressão sonora instantâneos muito altos pode ocorrer dano mecânico ao ouvido;
- O limiar de dor para ruído em adultos e crianças é 110 e 120 dB, respectivamente;
- O ruído impulsivo com mais de 80 dB produz mudança temporária de limiar de audição;
- Quando a exposição ao ruído é combinada com vibrações e com uso de determinados medicamentos, a perda auditiva é maior;
- Ruídos impulsivos podem agir produzindo distração no desempenho de tarefas, porém deterioram o desempenho cognitivo.

A geração de sopro de ar ou sobrepressão é resultante de uma explosão e se propaga na atmosfera como uma onda sonora sendo influenciada pelas condições atmosféricas, características do terreno e vegetação.

A sobrepressão é uma série de impulsos produzidos após a detonação e tem como causa os seguintes fatores:

- Rápida expansão dos gases para a atmosfera, quando a detonação não é convenientemente confinada, a exemplo da altura insuficiente do tamponamento dos furos;
- Liberação de gases provenientes da queima na atmosfera do cordel detonante;

- Vibrações transmitidas ao ar pela ação do movimento ao longo do tamponamento dos furos e através das fraturas desenvolvidas no maciço rochoso, pela ação de choque que precedem a expansão gasosa.

Variáveis que influenciam a propagação do som no ar:

- Distância do ponto de fogo às áreas residenciais;
- Efeito de barreiras naturais e ou artificiais;
- Efeito direcional que pode ser produzido pela face da bancada;
- Velocidade e direção dos ventos;
- Variação da temperatura e velocidade dos ventos com a altitude.

Capítulo IV

4.1 PESQUISAS PEDREIRAS

Atualmente existe uma grande preocupação com o controle de vibração e formatação de normas, seja do ponto de vista do conforto ambiental, ou de danos à propriedade pública e privada, fato que promove a realização de diversos programas de controle das detonações, recomendações e procedimentos que possibilitem o uso dos explosivos próximo às comunidades.

A "ISEE, International Society of Explosives Engineers", tomou iniciativas em algumas de suas conferências anuais, criando comitês de normatização sismográfica, analisando as normas existentes (Norte-americanas e internacionais) e propondo padrões gerais para monitoramento e análise. Os trabalhos tiveram como base as publicações do extinto *Bureau of Mines* (RI 9455), avaliando posteriormente com bastante ênfase a questão da resposta humana. O limite estabelecido no RI9455, de PPV (Velocidade Máxima de Partícula) igual a 12,7 mm/s, provenientes de detonações típicas com duração igual a um segundo, mostrou que as vibrações devem ser toleradas por cerca de 95% das pessoas tendo como resposta que a mesma foi "percebida discretamente".

Assim como o *Bureau of Mine*, o "American National Standards Institute (ANSI)" também realizou estudos relativos à resposta humana criando limites de **PPV** (Velocidade Máxima de Partícula), associados às frequências, para três parâmetros: Percepção e alarme (conforto), proficiência ou interferência de atividade, e efeitos ligados à saúde e segurança (norma ANSI S3. 18 - 1979).

Mais recentemente a "International Standards Organization (ISO)" produziu um esboço de norma intitulada "Guide to the evaluation of human exposure to vibration

and shock in buildings" (1 Hz - 80 Hz / ISO 2631 Addendum 1), cujo limite para um "conforto reduzido" foi definido em PPV igual a 2,30 mm/s (0,09 pol./s).

Outros organismos internacionais também formataram uma grande variedade de normas abordando situações especiais, referentes a danos estruturais e conforto ambiental. Os estudos que mais se destacam atualmente são a DIN 4150(Alemanha), o "The State Pollution Control Commission (SPCC) of New South Wales Environmental Noise Control Manual - 1980" (Austrália), o "The Environmental Noise Control Committee of the Australian Environmental Council (AEC)" (Austrália), a BS 5228 "Noise and Vibration Control on Construction and Open Sites", a BS 6472 "Guide to Evaluation of Human Exposure to vibration in Buildings" (A BS 6472, 1992, discute a percepção humana), a BS 7385 "Evaluation and Measurement for vibration in Buildings" (Inglaterra), etc.

ATUAL SITUAÇÃO REGULAMENTAR DE SÃO PAULO

A CETESB¹⁰ criou um procedimento denominado "Mineração por Explosivos" (D7.013 ABRIL/1992), que estabelece como limite para controle de vibração os valores de 3 mm/s para PPV medida na componente vertical, 4,2 mm/s para PVS (integração das três componentes) e nível de sobrepressão acústica inferior a 128 dBL.

No sentido de reavaliação da norma CETESB, em 1998 foram criadas Câmaras Ambientais, com caráter consultivo fazendo parte do sistema de planejamento estratégico e desenvolvimento institucional da CETESB. A participação do setor de pedras britadas visou a reavaliação das normas sobre ruído, vibração e emissão de

¹⁰ CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental.

particulados, compatibilizando-a com a continuidade da extração racional e produção de brita.

Foi criada uma comissão com o objetivo de tratar amplamente da questão do conforto humano em função de vibrações provenientes de quaisquer atividades industriais e não somente devido ao uso de explosivos levando em consideração a ISO 2631 "Avaliação da Exposição Humana a Vibração de Corpo Inteiro".

A possível norma a ser formatada iria focar todo tipo de vibração, seja contínua, intermitente ou transitória em relação a percepção, desconforto e saúde dos vizinhos a uma indústria causadora de tais eventos. Atualmente os trabalhos se encontram interrompidos sem a obtenção dos objetivos.

Recentemente o SINDIPEDRAS enviou a várias pedreiras no estado de São Paulo, 64 questionários, dois quais 17 foram devolvidos, e cujos resultados são apresentados na seqüência:

Questões Objetivas

Questão 1: Qual a menor distância de detonação em relação às residências ?

Maior Distância:	1000 m
Menor Distância:	60 m
Média:	489 m

Questão 2: O desmonte secundário na mineração é realizado com ?

Martelo Rompedor	8 (respostas)	47%
Drop Ball	4 (respostas)	24%
Fogacho	5 (respostas)	29%

Questão 3: Faz ou fez algum tipo de medição dos valores de ruído e/ou vibrações das detonações?

Semanal	3 (respostas)	18%
Mensal	6 (respostas)	35%
Esporádico	5 (respostas)	29%
Sem Sismografia	3 (respostas)	18%

Questão 4: Motivação a fazer o monitoramento?

Obrigação	4 (respostas)	24%
Iniciativa Própria	12 (respostas)	71%
Não Respondeu	1 (respostas)	5%

Questão 5: Resultados obtidos no Monitoramento.

PPV < 3 mm/s	7 (respostas)	47%
PPV > 3 mm/s	2 (respostas)	13%
Satisfatório *	6 (respostas)	40%

* Não gerou reclamação de vizinhos

Questão 6: Medidas Adotadas em Função dos Resultados.

Manutenção dos Métodos	3 (respostas)	18%
Mudança dos Métodos	8 (respostas)	47%
Não Responderam	6 (respostas)	35%

Questão 7: Comentários sobre a norma da CETESB.

Adequada	3 (respostas)	18%
Não Adequada	12 (respostas)	71%
Não Responderam	2 (respostas)	11%

Questão 8: Como classifica o relacionamento c/ a Vizinhaça ?

Muito Bom	7 (respostas)	42%
Bom	4 (respostas)	47%
Regular	2 (respostas)	12%
Crítico	0 (respostas)	0%

Questões Subjetivas

Questão	Sim	Não	Sem resposta
Houve reclamações efetuadas pelos vizinhos nos últimos seis meses ?	29%	71%	-
Existe um Plano de Lavra para as operações da pedreira ?	100%	0%	-
O plano leva em consideração aumento de construções em volta da pedreira ?	76%	24%	-
Existe um planejamento de exploração para os próximos 5 - 10 anos ou mais em função de possíveis problemas futuros que poderão ocorrer?	71%	29%	-
Planeja algum tipo de alteração no método de lavra?	18%	82%	-
Esta sendo possível operar a pedreira dentro destes Limites ?	18%	71%	11%
Será possível continuar atendendo estes limites da CETESB no futuro ?	18%*	/	
	41%**	29%	12%
Sugere alterações para os Limites da CETESB?	76%***	0%	24%

* Com aumento de custo e reduzindo a produtividade;

** Sem restrições.

*** Através de novos estudos científicos

As principais sugestões apontadas pelas pedreiras para melhorar a convivência com a vizinhança são:

1. Pronto atendimento às reclamações;
2. Explicação sobre a atividade mineira;
3. Esclarecimento das grandezas medidas (vibração e sobrepressão acústica);
4. Reuniões periódicas com a vizinhança (apresentação de resultados e medidas preventivas).

Não existe um consenso sobre valores admissíveis de vibração em função da resposta humana, e em geral as normas internacionais, assim como as existentes em nosso país, não tratam com bases claras as relações de causa e efeito, não existindo uma definição clara do que realmente é desconforto ambiental e dano estrutural, em diferentes níveis e que normas se aplicam dependendo da análise de caso a caso.

Para avaliação de dano estrutural são utilizados valores conservadores, como os 15 mm/s da ABNT 9653, que no entanto podem ser considerados altos se utilizados como limites para conforto ambiental, causando impasses entre os órgãos ambientais fiscalizadores, a comunidade e o empresariado mineral.

Questões sócio-econômicas e culturais devem ser levadas em questão, onde as normatizações tenham como foco questões subjetivas como resposta humana, levando áreas com cultura de mineração a limites de tolerância superiores.

Para a obtenção de uma norma com novos limites de aceitação pela população deve haver uma melhor análise da resposta humana, buscando a elaboração de novos limites mais flexíveis e adaptados ao perfil da população local, com possíveis outros enfoques técnicos para valores que relacionem a tolerância da população de uma forma geral às vibrações geradas nas detonações.

4.2 NORMAS DE RUÍDO E VIBRAÇÃO.

A seguir, apresentamos uma série de valores e tabelas extraídas de diferentes fontes de Consulta:

Tabela 10 – Algumas Normas com limites de velocidade de partícula e frequência.

Norma	Número	Ano	Autor	Tipo de estrutura	Frequências em Hertz	Vp (mm/seg)
DIN	4150	1983	Alemanha	Edifícios Delicados Monumentos Históricos	< 10 10 a 50 50 a 100	3 3 a 8 8 a 10
UNI	9916	1991	Itália		< 10 10 a 50 50 a 100	3 3 a 8 8 a 10
AFTES	-	1974	França	Edifícios sensíveis	4 a 8 8 a 30 30 a 100	4 6 9
CMMAF	-	1993	França	Edifícios muito ruins	2 a 8 8 a 30 30 a 100	4 9 12
SN	640312a	1992	Suíça	Edifícios delicados Estrutura comprometida	10 a 60 60 a 90	8 8 a 10
NP	2074	1993	Portugal	Construções com cuidados especiais	< 10 10 a 40 > 40	2,5 5 10
USBM	RI 8507	1980	USA	Construções frágeis, Danificadas ou velhas	< 40	12,7
AS	2187	1996	Austrália	Construções Históricas Monumentos de especial valor.	N.I Não indicado	2
CETESB	Diretriz 7013	1992	Brasil São Paulo	Residências em áreas urbanas	N.I Não indicado	3 a 4,2
ABNT	9653	1986	Brasil	Detonações em áreas urbanas	N.I Não indicado	15
FEAM	Liberação Licença	1998	Brasil M. Gerais	Detonações em áreas urbanas	N.I Não indicado	5
DNPM	NRM-16	2001	Brasil	Detonações em áreas urbanas	N.I Não indicado	15

RI - 8507 - Sisking - U.S. Bureau of Mine (1980)

Tabela nº11 critério de danos quando se utiliza sismógrafo para monitorar

Tipos de estruturas	Frequência menor que 40Hz	Frequência maior que 40 Hz
Casas Modernas	19,05 mm/s	50,80 mm/s
Casas Velhas	12,07 mm/s	50,80 mm/s

Tabela nº 12 – Velocidade X Tipo de estrutura.

Australia Standard (AS 2187) –1983

Tipo de estrutura	Velocidade de partícula (mm/seg)
Residências e Prédios Históricos, Monumentos de valor especial	2,00
Casa e Prédios residências	10,00
Prédios comerciais e industriais, estruturas metálicas e concreto armado	25,00

Tabela nº 13 – Frequência X Velocidade de partícula.

Norma DIN 4150 - (1983)

Estrutura	Fundações		
	Frequências x Velocidade de partícula Vp máximo em mm/seg		
	< 10 Hertz	10 a 50 Hz	50 Hz a 60 Hz
Industrial	20	20 a 40	40 a 50
Habitacional	5	5 a 15	15 a 20
Sensível	3	3 a 8	8 a 12

A tabela nº 14, abaixo relaciona a intensidade do dano causado às estruturas com a Velocidade de partícula resultante da propagação da onda de uma detonação.

Tabela 14 – Critério Medvedev (1963)

ITEM	GARACTERÍSTICÃS	Vp (mm/s)
1	Oscilações só notadas com o uso de instrumentos.	2
2	Oscilações quase imperceptíveis	2 a 4
3	Oscilações sentidas por algumas pessoas ou por pessoas que saibam da explosão	4 a 8
4	Oscilações notadas por muitas pessoas barulho nas vidraças	8 a 15
5	Queda de reboco - pequenos danos	15 a 30
6	Fendas em reboco danos a edificios já deformados	30 a 60
7	Danos a edificios em estado satisfatório fendas e quedas de reboco	60 a 120
7	fendas nas paredes	60 a 120
8	Consideráveis danos a edificios fendas em pilares e paredes grandes fendas em partições	120 a 240
9	Destruição de edificios, isto é grandes fendas nas paredes, esfoliação a alvenaria, queda de paredes	240 a 480
10-12	Grande destruição e colapso de edificios	480

Tabela nº 15 – Ashley 1976	
Tipo de construção	Velocidade de partícula Resultante em mm/seg
Monumentos Históricos	7,5
Residências em más condições	12
Residências em boas condições	25
Estruturas Industriais e Comerciais	25
Estruturas reforçadas	50
Galerias pluviais	50

Tabela nº 16 - Norma DIN – (1976)	
Tipo de construção	Velocidade de partícula resultante V_p em mm/seg
Ruínas, Prédios Históricos.	2
Construções com danos visíveis e fraturas em alvenaria	4
Construções com boas condições e eventuais fraturas na argamassa	8
Estruturas industriais e concreto sem argamassa	10 a 40

Tabela nº 17 – IGME – Instituto Geológico y Mineiro de Espanã			
Tipo de estrutura	Frequências		
Classe	2 a 15 Hz	15 a 75 Hz	> 75 Hz
	Vp Max (mm/s)	D = (mm)	Vp Max (mm/s)
I	2	0,212	100
II	9	0,095	45
III	4	0,042	20

I -Edifícios industriais, de concreto armado ou metálico.

II -Edifícios residenciais, oficinas, centros comerciais e lazer, edifícios antigos de valor arquitetônico, arqueológico ou histórico.

III - Edifícios antigos de valor arquitetônico, arqueológico ou histórico muito sensíveis.

Tabela nº 18 – Sensações Humanas X Velocidade de Partícula

Critério de Wiss mostrando as sensações humanas com a velocidade de partícula Vp em mm/seg.

Resposta Humana	Velocidade de partícula Vp em mm/seg
Perceptível	2 a 5
Notável	5 a 9,5
Desagradável	9,5 a 20
Perturbadora	20 a 32,5
Objecionável	32,5 a 50

Tabela nº 19 – Efeito das vibrações sobre humanos

Chae (1978) - USBM; BAI; Nitro Nobel; White; Vibronics

Effects on Humans	Ground Vibration Level em mm/s
Imperceptible	0,025 a 0,076
Barely Perceptible	0,077 a 0,254
Distinctly Perceptible	0,255 a 0,762
Strongly Perceptible	0,767 a 2,540
Disturbing	2,540 a 7,620
Very Disturbing	7,621 a 25,400

Tabela nº 20 – Resposta humana à vibração.

RI - 8507 - Human Response to Vibration

Resposta Humana	Velocidade de partícula Vp em mm/seg	Deslocamento em mm com Frequência menor que 10 Hz	Deslocamento em mm com Frequência menor que 40 Hz
Notável	0,508	0,008	0,002
Algum Problema	5,08	0,08	0,02
Perturbador	17,80	0,28	0,07
Tipo de Evento		Nível de Vibrações Equivalentes em mm/seg	
Walking		0,8	
Heel Drops		0,8	
Jumping		7,1	
Slamming Door		12,7	
Driving Nails		22,4	
Daily Environmental Charges		30 a 76	

Tabela nº 21 – Velocidade resultante X Estrutura
Vibration Damages in Industrial Situations

Concrete and Masonry		
Type	Vp Resultante	Fonte
Old Concrete	50,80 a 177,80 mm/s	American Concrete Institute
Concrete	304,80 mm/s	TVA – Standard - Oriard
Wall and Shaking	50,80mm/s em 9Hz	USBM
Fundations and Slabs	152,40 a 254 mm/s	USBM
Concrete	110mm/s	Swedish

Wells and Pipelines		
Type	Vp Resultante	Fonte
Pipelines and Well-Bond	119,38 mm/seg	USBM
Wells Found	50,80 mm/seg	USBM

Tabela nº 22 – Velocidade resultante X Obra.
Vibration Damages in Industrial Situations

Tunnels and Old Workings		
Type	Vp Resultante	Fonte
Tunnels and Old Mines	304,80 mm/seg	USBM
Underground Mines Walls/Ceilings	254 mm/seg	USBM

Tabela nº 23 – Velocidades críticas no concreto

Vibrações máximas para concreto em cura – Esteves 1978				
Sem aparecimento de trincas				
0 a 7 horas	10 horas	13 horas	15 horas	20 horas
< 150 mm/s	< 200mm/s	< 120mm/s	< 130 mm/s	< 200 mm/s
Observado aparecimento de trincas				
0 a 7 horas	10 horas	13 horas	15 horas	20 horas
< 180 mm/s	< 220mm/s	< 130mm/s	< 150 mm/s	< 225 mm/s

Critical Velocity Level

Vibratory Cracking of Curing Concrete

Fonte: Blast Vibration Monitoring and Control - Charles Dowding

Critério de Richart para avaliação da sensibilidade humana à vibração em função da velocidade de partícula. Este critério vem sendo mencionado pela Cetesb, em São Paulo. Fora a percepção humana à vibração do solo, existe ainda o problema da movimentação de objetos no interior de residências que afetam psicologicamente as pessoas criando pânico e agravando a imagem da fonte geradora.

Tabela nº 24 – Níveis de percepção de vibração

Velocidade em mm/seg	Sensibilidade
0,25 a 0,76	Levemente perceptível
0,76 a 2,54	Claramente perceptível
Maior que 2,54	Perturbadora

Tabela nº 25 – Danos da onda de choque

Ruído produzido pela onda de choque aérea (air blast)

Boletim 656 - (1974) - Sisking e Summers – USBM

dB(L)	Critérios
180	Structural Damage
176	Plaster Cracks
164	Windows Break
140	OSHA max/100 impactos por dia
128	USBM max
120	OSHA Max / 10000 impactos por dia
100	Pneumatic Hammer
60	Conversational Speech
0	Threshold of Hearing

Danos	LINEAR PEAK dB(L)
Seguro	128
Cuidados	128 a 136
Limite máximo	136
Pequenos danos	164
Grandes danos	180

NBR 9653 – GUIA PARA AVALIAÇÃO DOS EFEITOS PROVOCADOS PELO USO DE EXPLOSIVOS NAS MINERAÇÕES EM ÁREAS URBANAS; ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Publicada inicialmente em 1986, a norma brasileira NBR 9653, foi concebida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas a partir do monitoramento da vibração e ruído produzido pelos desmontes de rocha com uso de explosivos em pedreiras operando junto a periferia das grandes concentrações urbanas, sendo coletados dados para estudo desde a década de 70. Todos os dados foram tratados estatisticamente com os seguintes objetivos:

- Caracterizar as operações médias de operação das pedreiras, que correspondam às condições econômicas favoráveis, já que não houve nenhum condicionamento contrário a economicidade, por ocasião das medidas realizadas.
- Caracterizar o nível de vibrações correspondentes àquelas condições econômicas de operação.

Observando-se as correlações existentes entre as variáveis envolvidas no fenômeno: Carga máxima por espera (Q), Distância (D), variáveis independentes; com a variável dependente Velocidade de partícula (Vp), observada ou medida nos trabalhos realizados, obteve-se:

- No caso geral (227 medições) para todos os tipos de rochas estudados (gnaisse, granito, calcário e basalto), não foram observados valores de vibração da partícula (Vp) superiores a 15 mm / s, a partir de 200 metros das detonações;
- Para faixas de valores de distância inferior a 200 metros, sugeriu-se limites de uso de carga máxima por espera (Q), de modo a não exceder os valores de velocidade de vibração da partícula em 15 mm / s, ou seja:

- Para $40 < D < 140$, $(Q) < 30$ Kg de carga por espera.
- Para $140 < D < 200$, $(Q) < 100$ Kg de carga por espera.

Com base nos estudos realizados a CE – 18.205.02 (comissão de estudo) redigiu e aprovou a norma NBR 9653, estabelecendo, como limite máximo de vibração admissível nos arredores das áreas de pedreiras a velocidade de partícula (V_p) de 15 mm / s. Esta norma estabelece ainda que não deve ocorrer de forma alguma, ultralanchamentos de fragmentos e sobrepressões atmosféricas superiores a 134 dBl pico.

Em sua primeira edição (1996), a norma não tratava da frequência dos fenômenos vibratórios, nem determinava os tipos de edificações afetadas pelas vibrações. No entanto, a partir de 31 de outubro de 2005, uma nova edição, revisada e atualizada, substituiu a primeira. A principal alteração da nova edição é que esta possibilita a avaliação dos riscos de ocorrência de danos induzidos por vibrações transmitidas pelo terreno, levando-se em consideração a magnitude e a frequência de vibração de partícula. Os limites para velocidade de vibração de partícula pico acima dos quais podem ocorrer danos induzidos por vibrações do terreno são apresentados numericamente no quadro nº (03) e na figura nº (26).

Quadro 03 – Limites de velocidade de vibração por faixas de frequência – A partir de outubro 2005.

Faixa de frequência	Limite de velocidade de vibração de partícula de pico
4 Hz a 15Hz	Inicia em 15 mm/s , aumenta linearmente até 20 mm/s
15 Hz a 40 Hz	Acima de 20 mm/s , aumenta linearmente até 50 mm/s
Acima de 40 Hz	50 mm/s
Nota: Para valores de frequência abaixo de 4 Hz, deve ser utilizado como limite o critério de deslocamento de partícula de pico máximo 0,6 mm (de zero a pico).	

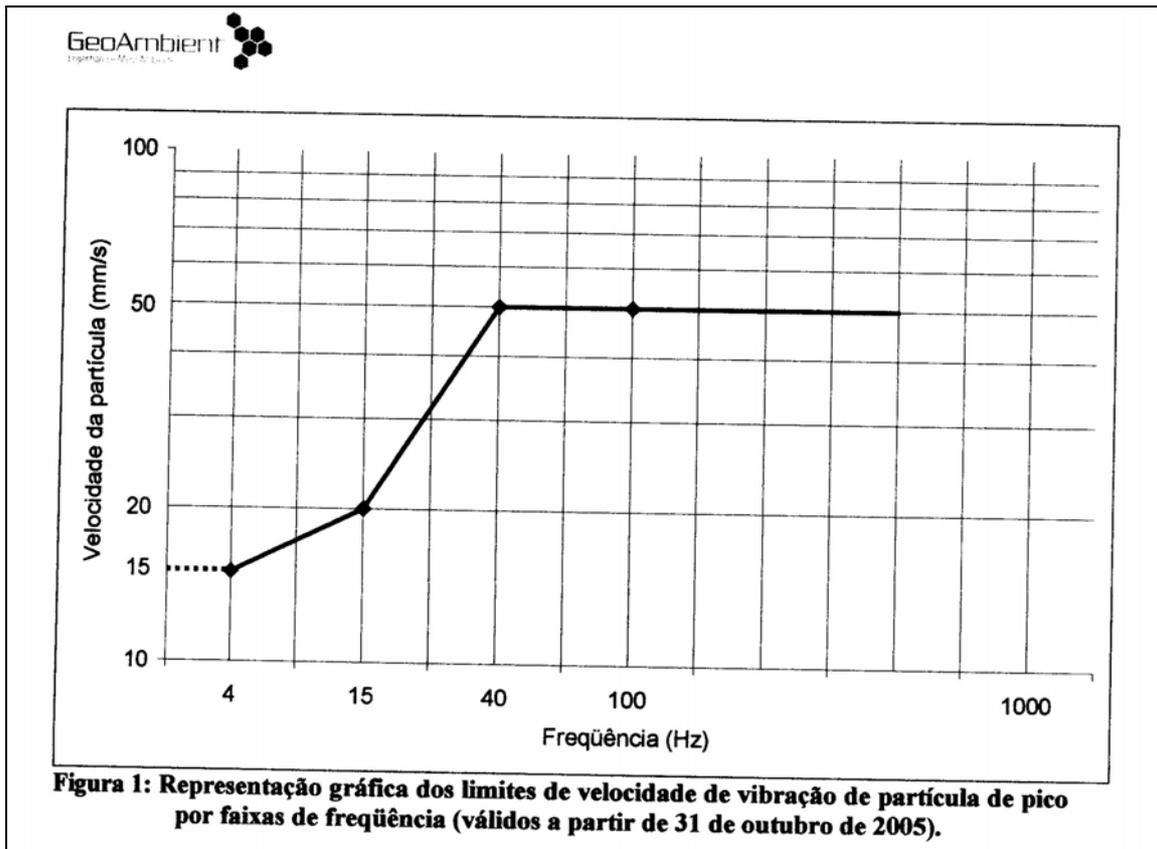


Figura nº 26 – Limites de Velocidade X frequência

Capítulo V

5.1 – AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL / RUÍDO

A Avaliação de Impacto Ambiental teve seu início como instrumento de planejamento na década de 70 nos Estados Unidos. Após a Conferência das Nações Unidas de 1972 em Estocolmo passou a ter caráter de ferramenta normativa em diversos países.

No Brasil, iniciou-se com a criação da Lei 6938/1981 que trata da Política Nacional do Meio Ambiente e instituiu o SISNAMA¹¹, que orienta as ações dos órgãos federais, estaduais e municipais para proteção do meio ambiente.

A Avaliação de Impacto Ambiental é um instrumento da Política Nacional de Meio Ambiente que em seu artigo 9º, inciso III aponta os estudos pertinentes ao processo de licenciamento. O artigo 225 da Constituição Federal, em seu inciso V, determina que para instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, é exigido estudo prévio de impacto ambiental.

A Resolução CONAMA¹² 237 de dezembro de 1977 estabelece que o Licenciamento Ambiental é um procedimento administrativo no qual o órgão ambiental competente licencia os empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, consideradas poluidoras ou potencialmente poluidoras que possam causar degradação ambiental. Este licenciamento deve estabelecer condições, restrições e medidas de controle para o funcionamento do empreendimento.

O objetivo dos estudos de impacto ambiental é avaliar as conseqüências de ações intentadas e as prováveis mudanças que podem ocorrer em um determinado local,

¹¹ SISNAMA – Sistema Nacional de Meio Ambiente.

¹² CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente.

visando preservar a qualidade deste ambiente após sofrer alterações pelos projetos ou ações.

O estudo de impacto ambiental é um documento técnico que contém informações sobre o empreendimento, o ambiente físico, biótico e sócio-econômico da área de influência direta e indireta, além das análises dos impactos, medidas mitigadoras e um programa de acompanhamento e monitoração. No EIA – Estudo de Impacto Ambiental deve constar uma visão geral do que está sendo proposto e como as ações irão modificar o ambiente, indicando os possíveis impactos, e quantificando seus valores para servir de base para o processo de tomada de decisão quando da comparação entre as alternativas tecnológicas e de localização do projeto.

Acompanhando o EIA deve existir o RIMA – Relatório de Impacto no Meio Ambiente que em seu conteúdo apresenta:

- (i) os objetivos e justificativas do projeto e sua relação com as políticas setoriais e planos governamentais;
- (ii) a descrição das alternativas tecnológicas do projeto;
- (iii) a síntese dos diagnósticos ambientais da área de influência do projeto;
- (iv) a descrição dos prováveis impactos ambientais na implantação da atividade;
- (v) a descrição dos métodos, técnicas e critérios usados para sua identificação;
- (vi) a caracterização da futura qualidade ambiental da área, comparando as diferentes situações da implementação do projeto, bem como a possibilidade da não realização do mesmo;
- (vii) a descrição do efeito esperado das medidas mitigadoras em relação aos impactos negativos e o grau de alteração esperado;
- (viii) o programa de acompanhamento e monitoramento dos impactos;
- (ix) a conclusão e os comentários gerais.

Muitos métodos são utilizados para avaliação dos impactos ambientais, mas devido ao grande número e a complexidade dos estudos pode não haver um método ideal. Assim, a determinação de uma metodologia de avaliação de impactos ambientais deve contemplar procedimentos técnicos e operacionais que sejam pertinentes ao processo. Devem apresentar requisitos como: fator tempo, aspectos sócio-econômicos, biológicos e físicos, subdivisão da área estudada, globalização dos impactos parciais, arquivo de dados e fomento da participação pública.

Existem vários métodos de avaliação de impacto ambiental: os “check-lists”, os matriciais, as redes, os cartográficos, os métodos *ad hoc*, os quantitativos (Battelle) e os modelos de simulação.

Os modelos de simulação e os matemáticos representam o comportamento esperado de parâmetros ambientais vinculando medidas de magnitude, compilando variáveis qualitativas e quantitativas.

A partir de “The Noise Control Act of 1972”, elaborado pela EPA¹³ foi estabelecida uma política de proteção para os efeitos do ruído, fixando um nível critério de som para proteger a população.

De acordo com a EPA (1982), uma das maiores possibilidades advindas das ações e projetos propostos é o ruído ambiental. A introdução de uma nova atividade pode modificar o ruído ambiental, interferindo na dinâmica populacional local. Qualquer modificação na quantidade de ruído gerado ou no número de pessoas expostas irá afetar a resposta desta população ao nível de ruído.

Segundo SOUZA (1996), no Brasil, a avaliação de impacto ambiental sonoro passou a ser exigida como parte integrante dos Estudos Prévios de Impacto Ambiental e instrumento da Política Nacional de Meio Ambiente, em 31 de agosto de 1981.

¹³ EPA – Environmental Protector Agency.

Baseado na Instrução Técnica FEEMA¹⁴ N° 003/1999 (elaboração de estudo de impacto ambiental), o estudo de impacto ambiental sonoro deverá contemplar as possíveis alternativas de localização, compatibilizadas com os planos e programas governamentais, devendo ser pesquisados os impactos ambientais sonoros gerados sobre a área de influência com ênfase nos aspectos de alteração da ocupação e uso do solo, da qualidade ambiental sonora e dos incômodos à população do em torno.

CARACTERIZAÇÃO DO RUÍDO

Para caracterizarmos o ruído proveniente de uma pedreira que opera realizando extração de rochas com a utilização de explosivos, devemos relacionar a etapa de serviço ao tipo de operação realizada, para assim podermos ter uma visão geral dos impactos causados por cada fase da produção.

Inicialmente temos a operação de fontes móveis (máquinas, caminhões e tratores) que fazem a limpeza e decapagem do maciço rochoso. Posteriormente temos o ruído das máquinas perfuratrizes que são utilizadas para realizar a execução da malha de furos para a colocação posterior dos explosivos. A etapa de detonação dos explosivos e o efetivo desmonte da bancada é a fase que realmente provoca o impacto sonoro, por gerar ruído impulsivo de alta energia e baixas frequências, sendo propagados elevados níveis de pressão sonora a grandes distâncias. Outras etapas como o transporte da rocha fragmentada e seu posterior beneficiamento em geral não são responsáveis por incômodos significativos, pois os níveis de ruído que atingem as populações no entorno da atividade são atenuados devido a distâncias relativamente grandes até as comunidades.

¹⁴ FEEMA – Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente.

5.2 GESTÃO DA MINERAÇÃO URBANA.

A gestão ambiental de qualquer atividade busca as soluções dos múltiplos problemas que envolvem e que, pela sua própria natureza, causam impactos ao meio ambiente. São atores deste processo o poder Público, o empreendedor e a sociedade, representada pela comunidade que vive no local. Esteja do lado que estiver, cada um dos participantes apresentará seu modo de encarar a atividade e nem sempre com possibilidades técnicas e financeiras de enfrentar os conflitos e oferecer soluções satisfatórias aos demais segmentos. Do lado do Poder Público, apesar de possuir profissionais capacitados para articular e desenvolver uma ação eficiente, falta-lhe a capacidade de mobilização ágil dos recursos humanos e financeiros utilizáveis; do lado dos empreendedores, muitas vezes a compreensão e o preparo técnico são pequenos, além de não estarem dispostos a dar novos rumos aos seus investimentos; do lado da população há em geral falta de articulação e informação necessária para reivindicar o que lhe é justo e de direito, muitas vezes enveredando pelas reclamações individuais e até questões de trato pessoal, o que amplia os conflitos.

O modelo tradicional de gestão ambiental, centralizado, hierárquico, rígido de normas e programas, está superado. A moderna gestão exige modelos mais flexíveis e participativos. Isto é, menos hierárquicos e mais horizontais, que envolvam negociações e participação dos interessados e demais interlocutores nas decisões e ações propostas. Conciliar interesse das partes, intermediar soluções, apresentar alternativas, catalizar os esforços para atingir os objetivos comuns é o trabalho mais importante que os envolvidos devem buscar.

A atividade mineraria urbana, pela sua característica operacional multidisciplinar, pelos impactos gerados e pelo potencial de desenvolvimento

econômico, social e urbanístico, é uma das atividades que se enquadram no perfil mencionado necessitando de uma gestão ambiental mais eficiente.

No caso da mineração urbana, os materiais extraídos atendem à construção civil, é através deste setor a cidade cresce e se moderniza como espaço urbano.

Cabe ao Estado a tutela da utilização desses bens, tradicionalmente assegurada por meio do poder de polícia, que é o instituto jurídico com o qual a Administração executa o disciplinamento do seu uso, de forma a evitar conflitos entre os diferentes atores – a população vizinha ao empreendimento, o minerador, e a sociedade como um todo. Somente pelo estabelecimento do equilíbrio entre os interesses é possível garantir o suprimento à cidade, conservando o meio ambiente e banindo as explorações predatórias. Porém deve-se oferecer melhores oportunidades de desenvolvimento àquelas que trabalham com responsabilidade.

Com a constituição de 1988, as funções do Estado vêm se alterando profundamente, e o conceito de serviço público ampliou-se; o poder de polícia estendeu-se a áreas onde antes não se fazia necessário, como a proteção ao meio ambiente e a defesa do consumidor.

Tais mecanismos dizem respeito à função objetiva da Administração Pública, antes, porém, dependendo do estabelecimento claro da repartição de competências dos entes federados.

Neste panorama, os municípios não têm visão clara de como regular o uso dos recursos ambientais, como desenvolver o poder de polícia que não seja apenas de sanções ou fechamentos administrativos, além do desconhecimento da existência da contribuição financeira que a atividade mineraria deve ao município como forma de compensação ao bem extraído e ao impacto ambiental gerado.

Pra o empreendedor, aglutinar os profissionais em torno dos problemas ambientais para atender à legislação federal, estadual e municipal, conforme determina o corpo de leis regulamentadoras das questões do meio ambiente, é uma tarefa complexa, exigindo atenção e acompanhamento especializado.

Para a cidade, representada pela população lindeira ao empreendimento, significa compreender a importância da extração mineral, aliando-se ao Poder Público e ao empreendedor no direcionamento da recuperação ambiental, conquistando uma qualidade de vida mais compatível com suas aspirações.

Assim, um novo modelo de gestão consiste em reconhecer e compatibilizar as partes de um todo com um novo modo de agir, criando uma outra relação intersocial e seus parâmetros dentro de uma ética ambiental.

5.3 – INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS.

Geração de sopro de ar ou sobrepressão:

Vibrações aéreas ou sobrepressão ou sopros de ar são gerados pela explosão e se propagam na atmosfera sob influência das próprias condições atmosféricas (figura 27).

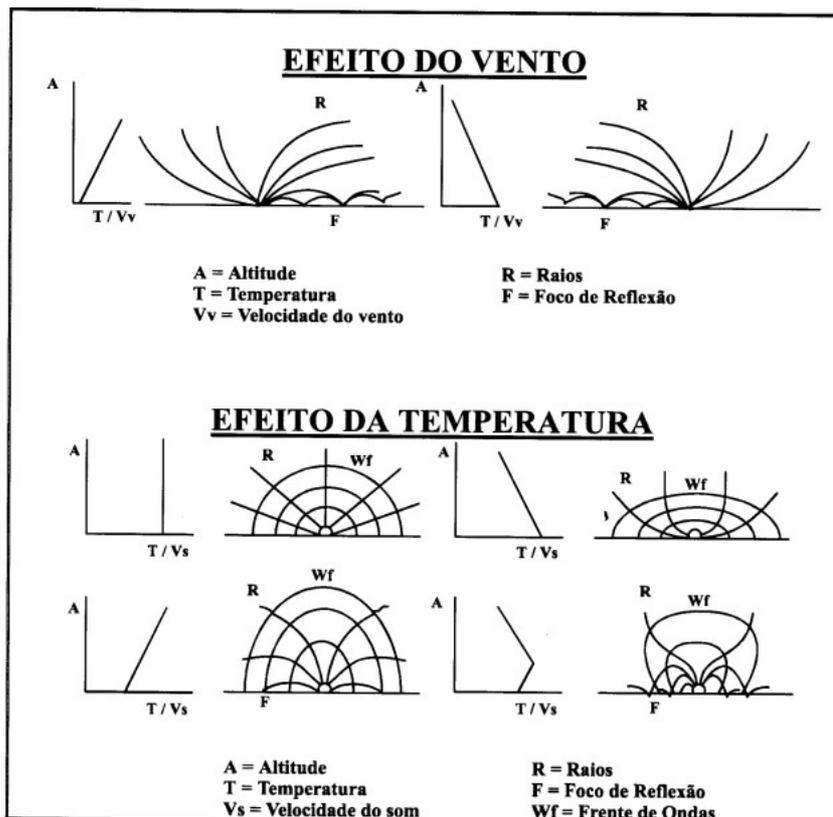


Figura 27 – Efeitos na propagação sonora

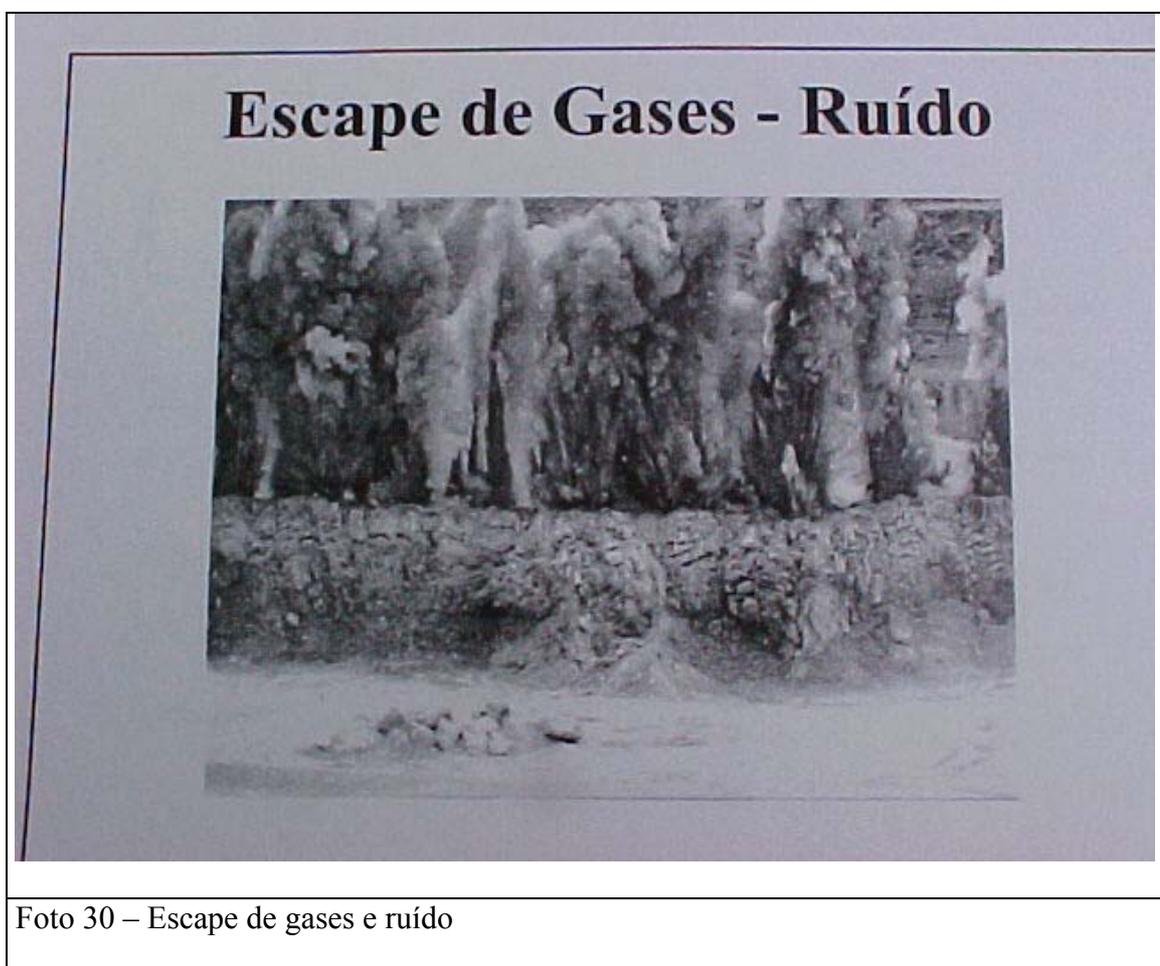
Existem quatro mecanismos básicos de geração de sobrepressão:

- Rápida expansão de gases para atmosfera quando a detonação não é bem confinada, como por exemplo, altura insuficiente de tamponamento das cargas;
- Liberação de gases provenientes da queima na atmosfera do cordel detonante;
- Liberação de gases provenientes das fraturas da face da bancada;

-Vibrações transmitidas ao ar por ação dos movimentos sofridos pelo terreno, próximo ao ponto de detonação, (movimentação da face da bancada) onde a superfície do terreno atua como se fosse um pistão ou êmbolo.

Este último efeito é insignificante, quando comparado com o volume de gases liberados pela explosão. Ainda são responsáveis pelo ruído as ondas de superfície (onda Rayleigh e onda Love).

Os gases da explosão tendem a atingir a atmosfera ao longo do tamponamento dos furos e através das fraturas desenvolvidas no maciço rochoso pela ação de choques que precedem a expansão gasosa (foto 30).



A figura nº 28 abaixo mostra uma curva típica de pressão em função de tempo.

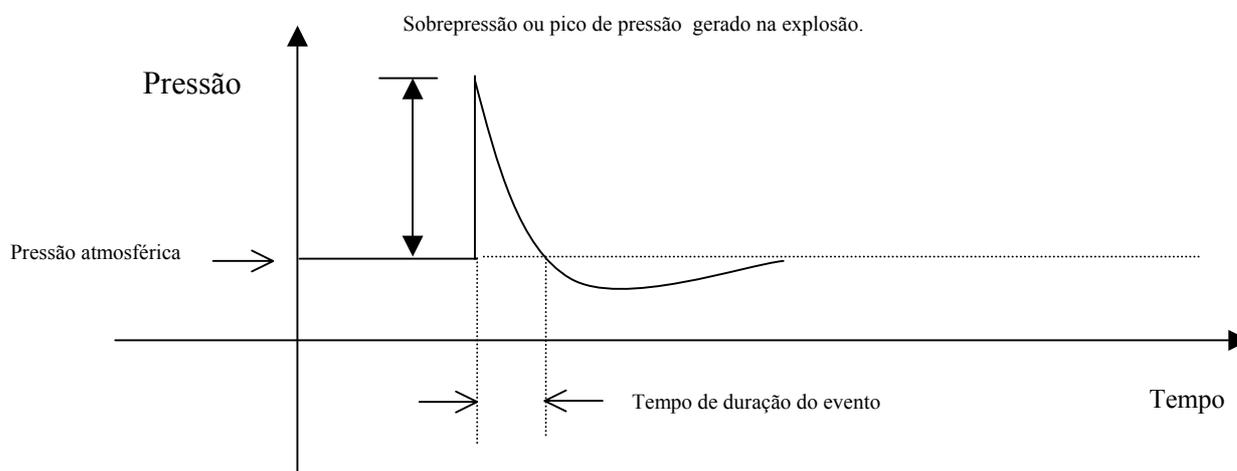


Figura nº 28 – Curva pressão X tempo

O conhecimento das variáveis que influenciam a propagação do som no ar é de interesse do administrador de extração mineral. Abaixo enumeramos algumas:

- distância do ponto de fogo às áreas residenciais.
- efeito de barreiras naturais, como morros, altitude da bancada e faces de bancada que também podem funcionar como uma barreira.
- efeito direcional que pode ser produzido por face de bancada agindo como um refletor parcial.
- velocidade e direção dos ventos.
- variações da temperatura e da velocidade dos ventos com a altitude a tempo.

Por exemplo, inversão térmica age como uma camada refletora fazendo que o som volte a superfície do solo.

Condições atmosféricas favoráveis e desfavoráveis podem incrementar a sobrepressão ao nível do solo.

Como citado anteriormente, diversos fatores ambientais influenciam na propagação do som através da atmosfera: distância, solo, vegetação, ventos (direção e velocidade), fachadas das construções, temperatura e umidade relativa do ar e podemos considerar ainda as partículas em suspensão ou seja a poluição. Estas influências são significativas para grandes distâncias.

Podemos considerar as frentes de lavra como fontes pontuais fixas se tivermos em conta as distâncias relativamente grandes que as separam das comunidades. Sendo assim o nível sonoro sofre uma redução de 6 dB(A), cada vez que a distância entre a fonte geradora e o receptor for dobrada.

O revestimento do solo pode acentuar ou atenuar o efeito produzido por obstáculos (naturais ou artificiais) durante a propagação do ruído, pois a quantidade de energia sonora presente na onda refletida depende das características da superfície. Logo vemos aqui a importância da vegetação.

O vento atua decisivamente na propagação do som pois pode modificar a direção da onda ruidosa levando esta a uma área possivelmente considerada protegida. Devemos considerar ainda que o vento é o agente principal que modifica a temperatura e umidade relativa do ar. Com a diminuição da umidade, a absorção sonora aumenta, e com o aumento da temperatura (10 a 20 °C) dependendo da frequência do ruído a absorção é maior, porém para temperaturas acima de 25°C a absorção diminui. A absorção sonora é maior para frequências maiores (NIEMEYER, 1998).

5.4 EXPOSIÇÃO DOS TRABALHADORES AO RUÍDO.

Baseado em dados recolhidos ao longo de cinco anos de estudo, Maria Luiza Matos do Instituto Geológico Mineiro de Portugal, desenvolve uma avaliação da melhoria das condições de Exposição ao Ruído na indústria Extrativa induzida pela evolução tecnológica, notadamente ao nível das instalações de britagem e classificação bem como dos sistemas de carga e transporte.

O estudo refere-se à região norte de Portugal, mais precisamente aos distritos de Braga, Bragança, Porto, Viana do Castelo e Vila Real. Nesta região, o granito é a principal substância explorada, quer para fins ornamentais quer para fins industriais, por vezes na mesma pedreira. Os dados recolhidos são referente a parte industrial, produção de brita e inertes.

Relativamente à estrutura da mão de obra utilizada, caracteriza-se quase que totalmente por homens, com faixa etária elevada, com tendência para o envelhecimento e com poucas habilitações.

A utilização de tecnologias cada vez mais modernas na indústria extrativa, no caso das pedreiras de granito, tem conduzido à melhoria significativa do nível de produção.

Apesar disso, as novas tecnologias são responsáveis pela introdução de novos riscos profissionais que ainda não foram devidamente resolvidos. A evolução dos processos industrial é muito rápida e traduz-se numa alteração constante das condições de trabalho, nesta perspectiva, existe cada vez mais necessidade de se realizar estudos sobre as causas e efeitos dos riscos associados aos locais de trabalho, no sentido de poder adotar para cada caso as medidas de segurança mais apropriadas, tendo como objetivos principais minimizar os riscos de acidentes e de doenças profissionais.

As operações que fazem parte do processo produtivo de extração e de transformação de rochas industriais, têm associadas vários tipos de riscos. Um dos principais é o inerente à exposição ao ruído nos locais de trabalho em explorações de rocha a céu aberto.

O ruído durante o exercício de uma atividade profissional pode ser causa de perda auditiva, logo seu controle e posterior redução assume importância crescente tendo em vista a saúde dos trabalhadores.

O ruído é ainda hoje causa da segunda mais importante doença profissional, fazendo-se sentir os seus efeitos em diversos níveis, desde estados de fadiga e de dificuldades de comunicação à perda total da sensibilidade auditiva - surdez profissional, com a evidente diminuição do rendimento do trabalho, com causas diretas nos custos económicos. Desta forma, é importante o estabelecimento de uma metodologia que, quando implementada, conduza a uma significativa redução dos níveis de ruído existentes e, conseqüentemente, a uma melhoria das condições de trabalho. A crescente preocupação e conscientização destes problemas levaram à elaboração de legislação com vista à proteção dos trabalhadores expostos ao ruído, nos seus locais de trabalho.

A proteção dos trabalhadores contra os riscos decorrentes da exposição ao ruído no local de trabalho está contemplada na legislação Portuguesa, através do Decreto Lei nº 72 / 92 – Quadro geral de “Proteção dos trabalhadores contra os riscos devidos à exposição ao ruído durante o trabalho” e do Decreto Regulamentar nº 9 / 92 que regulamenta o anterior, onde é estabelecida uma metodologia a seguir na avaliação dos níveis de exposição ao ruído dos trabalhadores, bem como as implicações e obrigações resultantes, função dos valores encontrados.

Âmbito

- Todas as empresas, estabelecimentos e serviços (incluindo Administração Pública).
- Exceto trabalhadores a bordo (navegação aérea e marítima).

Conceitos gerais

- Nível de ação $L_{EP,d} = 85$ dB(A); Valor limite de pico $L_{PICO} = 140$ Db
- Valor limite $L_{EP,d} = 90$ dB(A), com $L_{EP,d}$ - Exposição pessoal diária de um trabalhador ao ruído durante o trabalho.

$$L_{EP,d} = L_{Aeq,T_e} + 10 \log_{10} \left(\frac{T_e}{T_0} \right), \text{ com } L_{Aeq,T_e} = 10 \log_{10} \left\{ \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \frac{\rho_A^2(t)}{\rho_0^2} \right\} \quad (5)$$

Em que:

$T = t_2 - t_1$, tempo de exposição de um trabalhador ao ruído durante o trabalho;

T_e , tempo de duração diária da exposição de um trabalhador ao ruído durante o trabalho;

$T_0 = 8$ horas = 28800 segundos;

$PA(t)$, é a pressão sonora instantânea, ponderada A, expressa em Pascal, do sinal sonoro;

p_0 , é a pressão sonora de referência (20µPa).

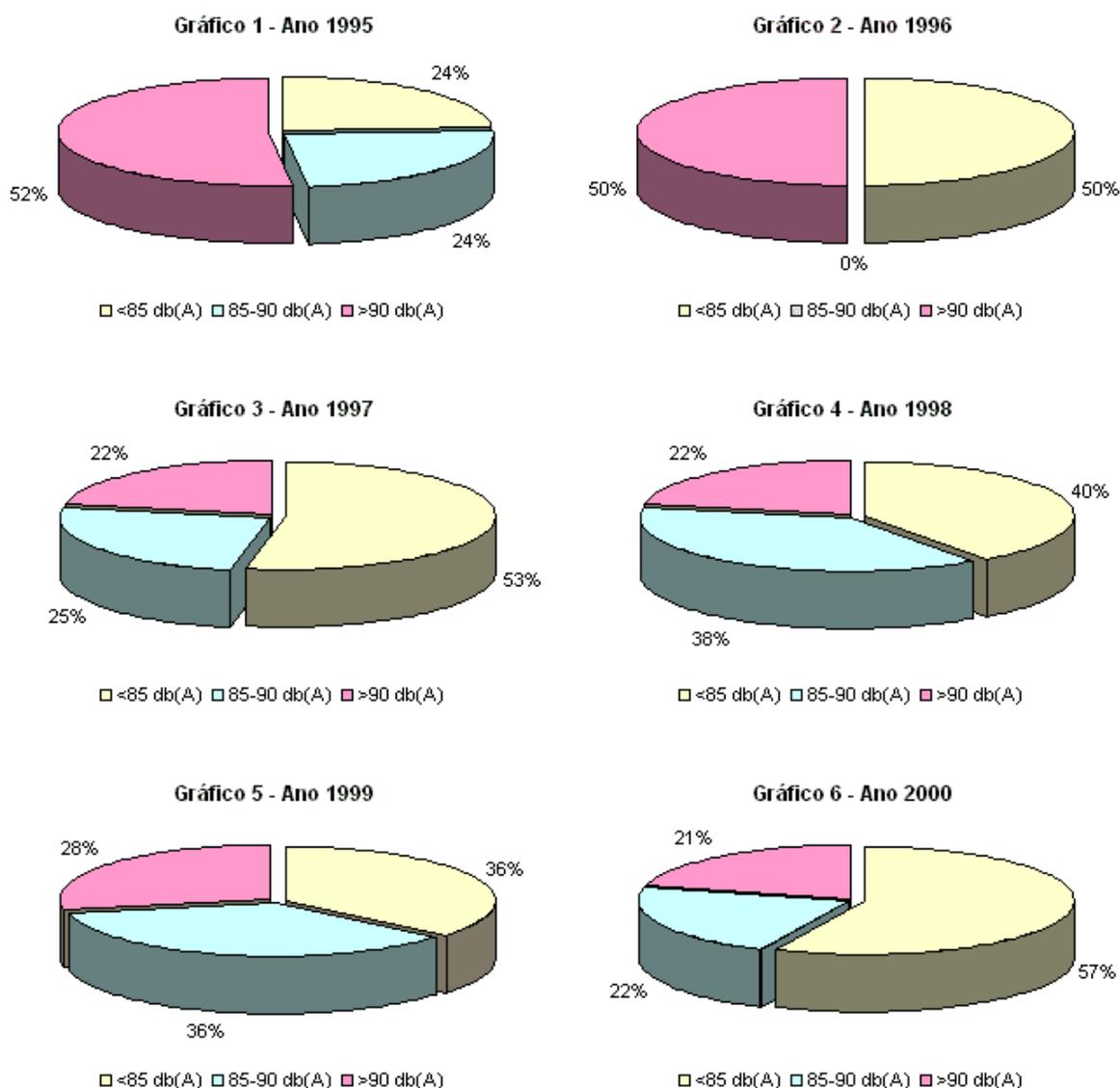
No trabalho desenvolvido (tabela 26), foram avaliados 253 postos de trabalho ocupados por trabalhadores, tendo sido, como indicado pela legislação, preenchidas 494 fichas individuais.

Tabela 26 – Resumo do trabalho realizado

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	Soma
Nº. Pedreiras Visitadas	5	3	4	6	4	12	34
Nº. Postos de trabalho Avaliados	25	14	32	58	28	96	253
Nº. Trabalhadores envolvidos	10	22	93	140	36	193	494

Exposição dos Trabalhadores ao Ruído

Lep,d (8 horas/dia)



A evolução tecnológica que têm aportado as empresas está de alguma forma evidenciada nos gráficos 1 a 6 , podendo-se verificar que ao longo dos anos avaliados o % de postos de trabalho ocupados por trabalhadores, sujeitos a níveis de ruído inferiores a 85 dB(A), tem aumentado e o % de postos de trabalho sujeitos a níveis de ruído superiores a 90 dB(A), indica uma fase decrescente. Para uma análise mais detalhada do

trabalho realizado numa pedreira, distribuiu-se as atividades pelas seguintes operações (tabela 27):

- **Perfuração** – Atividade de perfuração com diversos equipamentos;
- **Carga** – Operação de carregamento do material, seja com equipamento do tipo correia transportadora ou pá carregadora;
- **Transporte** – Ação de transporte de material ao longo do processo produtivo incluindo, caminhões, empilhador e dumper;
- **Transformação** – A operação de transformação foi subdividida em duas ações:

Produção de britas e inertes – linha contínua de trabalho onde se inclui equipamento como britador primário, britador secundário, classificadores e ambiente geral da instalação de britagem;

Produção de pedra dimensional (cubos, guias, alvenarias) – linha descontínua de trabalho, onde se incluem equipamentos do tipo, máquina de produzir cubos, martelo de corte, serra;

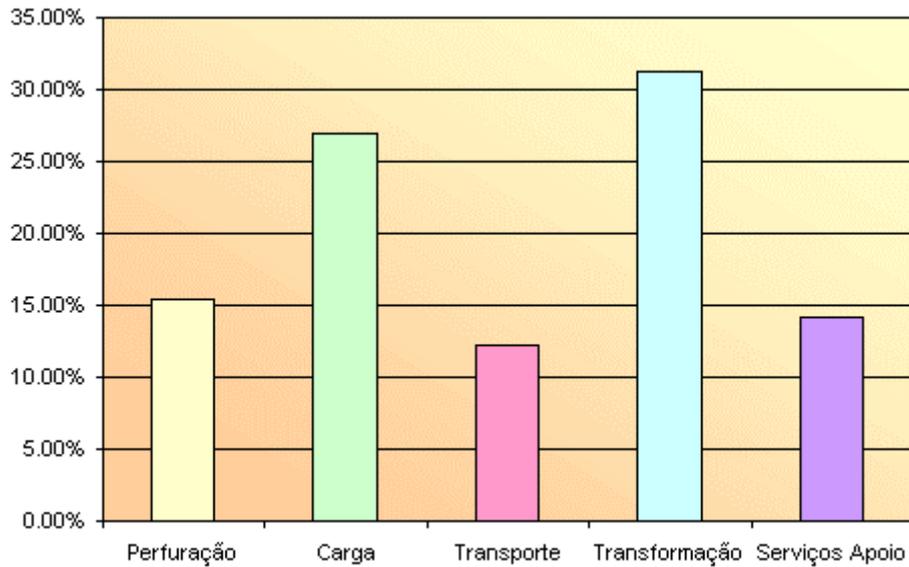
- **Serviços de apoio** – escritórios, balança, laboratórios, oficina mecânica.

Tabela 27 – Distribuição nos setores

Setores	Número de Postos de Trabalho avaliados													
	1995		1996		1997		1998		1999		2000		Somatório	
Perfuração	7	28%	2	14,3%	3	9,4%	7	12%	5	18%	15	16%	39	15,4%
Carga	4	16%	4	28,8%	11	34,4%	15	26%	7	25%	27	28%	68	27%
Transporte	2	8%	2	14,2%	3	9,3%	6	10%	4	14%	14	14,5%	31	12,2%
Transformação	10	40%	5	36%	11	34,4%	15	26%	9	32%	29	30%	79	31,2%
Serviços de Apoio	2	8%	1	7%	4	12,5%	15	26%	3	11%	11	11,5%	36	14,2%
	25		14		34		58		28		96		253	

Gráfico 7

Distribuição dos trabalhadores pelos diferentes sectores, num universo de 253 postos de trabalho avaliados. (1995-2000)



Exposição dos Trabalhadores ao Ruído na Operação de Perfuração

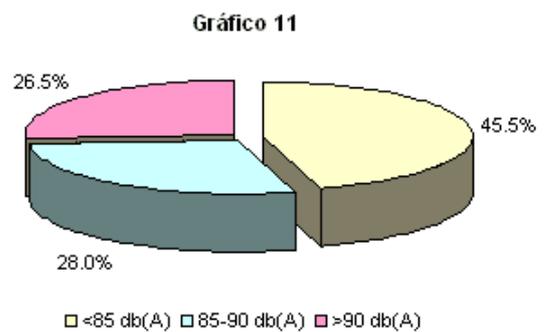
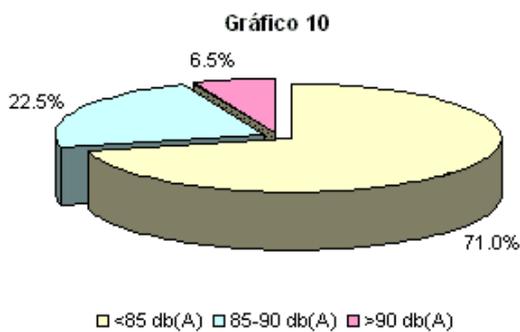
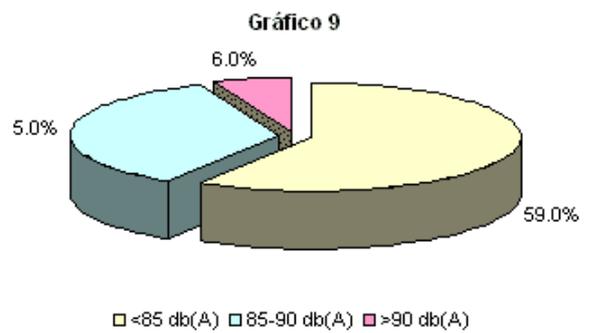
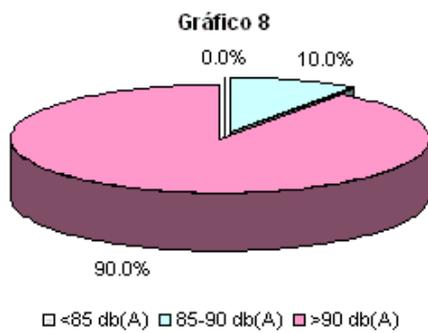
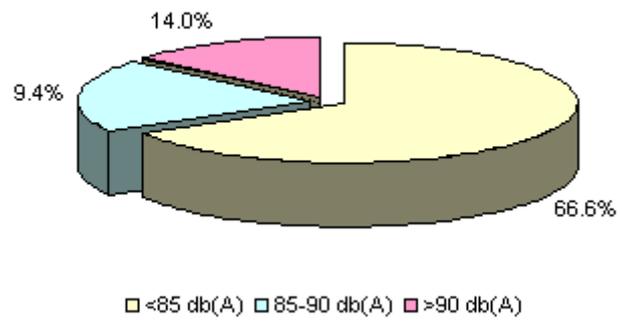


Gráfico 12



5.5 QUALIDADE DO AR.

O nível de poluição do ar ou qualidade do ar é avaliado pela quantificação das substâncias poluentes presentes neste meio. Considera-se poluente qualquer substância presente e que pela sua concentração possa tornar este ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

A qualidade do ar, mesmo controlando as emissões, pode mudar em função basicamente das condições meteorológicas que determinam a maior ou menor concentração de poluentes.

Especificamente para o monitoramento de quantidade de material particulado emitido pelo empreendimento, o parâmetro particulado total em suspensão foi definido, por DERISIO (2000), como sendo composto de partículas com diâmetro equivalente ou inferior a 100 micras.

Os efeitos adversos do material particulado na atmosfera começam pelos aspectos estéticos, pois interferem na visibilidade e está associado com a produção de corrosão e depósitos em superfícies. Outros efeitos estão associados à saúde.

O monitoramento realizado nas pedreiras utiliza um método capaz de determinar concentrações baixíssimas de partículas em suspensão. O método Amostrador de Grandes Volumes é o recomendado pelas normas técnicas específicas a este tipo de amostragem.

No Brasil os padrões de qualidade do ar aplicáveis à medição de partículas totais em suspensão (PTS) com amostrador de grandes volumes encontra-se na Portaria Normativa nº 348, emitida pelo IBAMA em 14 de março de 1990 e aprovada pelo CONAMA, através da Resolução nº 003 em 28 de Junho de 1990.

Para o monitoramento, toma-se por base os procedimentos descritos na NBR 3547 9ABNT) – Material Particulado em Suspensão no Ar Ambiente, Determinação da Concentração Total pelo Método de Amostrador de Grandes Volumes, Set/1997 e, a Instrução FEEMA MF – 606.

Os padrões de qualidade do ar estabelecidos pelo CONAMA são:

Padrão Primário

- Concentração média geométrica anual de 80 microgramas por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de ar.
- Concentração máxima de 24 (vinte e quatro) horas de 240 microgramas por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

Padrão Secundário

- Concentração média geométrica anual de 60 microgramas por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de ar.
- Concentração máxima de 24 (vinte e quatro) horas de 150 microgramas por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

O método operacional consiste na aspiração de uma certa quantidade de ar ambiente que passa por um filtro, instalado dentro de um compartimento abrigado, durante um período de amostragem de 24 horas. A vazão de ar é passada por este filtro, o valor apresentado pela diferença do peso da tara do filtro inicialmente à amostragem, e o peso do filtro após a amostragem já com o material particulado aprisionado em sua malha é utilizado para o cálculo das Partículas Totais em Suspensão – PTS. Através deste método é possível determinar concentrações baixíssimas de partículas em suspensão.

A relação entre a massa de material particulado e a vazão registrada na concentração de partículas na atmosfera é expressa em $\mu\text{g}/\text{m}^3$. O peso do material

particulado retido nos filtros é calculado pela diferença entre as pesas dos filtros antes e após as coletas, posteriormente ao processo de desumidificação dos elementos em dessecadores apropriados.

O volume de ar passado pelos filtros durante a coleta é calculado integrando-se as curvas de vazão registradas nas cartas gráficas ao logo do tempo de coleta, e na deflexão do registrador do registrador quando da calibração inicial do equipamento (foto 31).



Foto 31 – (HI-VOL) , amostrador de grandes volumes

A seleção do local das amostragens segue um padrão de critérios básicos que envolvem características de representatividade da amostra e condições de infraestrutura do local, tais como: local com segurança contra danos e injúrias ao equipamento, local com disponibilidade de energia elétrica; local de acesso disponível e fácil; situado em

setores próximos à área de residências; com isenção de partículas oriundas de uma só fonte de emissão.

As recomendações gerais para a instalação dos aparelhos de medição:

- O amostrador deve ficar afastado de no mínimo 20 m de árvores, edifícios ou outros grandes obstáculos. Uma regra geral é que o amostrador fique afastado de um obstáculo em, no mínimo, 2 vezes a altura do obstáculo com relação à entrada do amostrador.
- A entrada do amostrador deve ficar de 2 a 15 m do solo.
- O fluxo do ar em redor do amostrador deve ficar livre de qualquer obstrução.
- A entrada do amostrador deve ficar a no mínimo 2 m da entrada de qualquer outro amostrador de grandes volumes (AGV). Para amostradores co-colocados 9 por exemplo, para amostragens paralelas, com o objetivo de realizar avaliações comparativas), as entradas devem ser posicionadas no máximo 4 m umas das outras.
- Não colocar o amostrador diretamente no solo.
- Não colocar o amostrador próximo de chaminés ou exaustores.
- Caso as amostras tenham que ser analisadas quimicamente (por exemplo, com espectrômetro de massa), avaliar o potencial de contaminação do local de instalação.

É muito importante que o operador do equipamento registre todas as observações possíveis, tais como: condições do tempo, variações na rotina de produção da empresa, pois podem interferir no resultado da amostragem.

Todas as operações deste método exigem cuidados, tanto nas etapas de laboratório quanto nas etapas de campo, devem ser rigorosamente executadas para que sejam mantidas as condições mínimas de qualidade da amostragem.

Capítulo IV – Estudo de caso.

6.1 - MEDIÇÕES

O registro da intensidade das vibrações e dos ruídos gerados por detonações é de suma importância para o aprimoramento dos trabalhos de desmonte com vistas a redução dos danos e incômodos causados pela atividade mineradora.

Detonações realizadas próximas a locais habitados muitas vezes geram oposições devido aos impactos ambientais, entretanto, um dos principais problemas de atrito com a comunidade é o momento da explosão.

Normalmente, os níveis de vibração e ruído são mantidos abaixo dos critérios estabelecidos legalmente para evitar danos, infelizmente, o respeito às leis não exclui problemas de incômodo aos vizinhos do empreendimento. Por isso o estudo e a geração de dados numéricos em relação às detonações é tão importante.

A partir dos dados obtidos através do monitoramento dos efeitos ambientais relacionados às vibrações e aos ruídos gerados pelo uso de explosivos nos serviços de extração de rocha, é possível avaliar os níveis de vibração do terreno e sobre-pressão atmosférica produzidos por estas detonações e compara-los aos permitidos pela legislação vigente. Ainda com apoio nos dados de monitoramento podemos identificar a possibilidade da geração de efeitos danosos as construções civis e fornecer parâmetros à empresa para aprimorar as operações e adequar seu plano de fogo quando necessário.

Durante a execução do trabalho de campo, foram instrumentadas diversas detonações de desmonte primário, cujas características são apresentadas no quadro nº(01). Nestas detonações primárias, procurou-se trabalhar com desmontes compatíveis com as condições existentes no local.

A pedreira Inhaúma localiza-se na Serra da Misericórdia, geograficamente situada entre os bairros da Penha, Olaria. Bonsucesso e Inhaúma, na zona norte do

município do Rio de Janeiro (Foto nº 32). A região da Serra da Misericórdia é predominantemente formada por rochas granitóides brasileiras, representadas pelos granitos rosa, Utinga e Favela (Pires et al., 1982) além de rochas gnáissicas Pré-Cambrianas.

Na área da mineração em questão encontra-se o granito Favela, assim como rochas gnáissicas. Estes granitóides apresentam valores médios de índice de cor que as classificam como leucocráticas. Sua classificação indica uma rocha de granulometria média, e a mineralogia observada a olho nu indica presença de quartzo, feldspato, biotita e allanita.

Foto 32 – Mapa localização – IBGE 1:50.000



A rocha é lavrada para a produção de brita e ocorre sob a forma de um maciço rochoso, com excelente continuidade. Trata-se de uma rocha compacta, de alta

resistência à compressão, baixa resistência à tração e abrasividade de média a alta. O minério é extraído da frente de lavra com emprego de explosivos. Seu beneficiamento consiste em uma cominuição mecânica através de britagem primária, secundária, terciária, peneiramento e classificação para posterior estocagem em pilhas a céu-aberto. A configuração atual do maciço mostra uma lavra em sistema de bancos sobrepostos com altura média em torno de 10 metros. O formato atual da cava é em ferradura com eixo longitudinal na direção E/W e eixo transversal N/S. O avanço das frentes de lavra será realizado preferencialmente nas direções W/E e S, e secundariamente na direção N e NE de maneira confinada, com frentes sempre voltadas para o interior da praça.

O monitoramento dos ruídos e vibrações é realizado sistematicamente, com a utilização de sismógrafo de engenharia, de forma a analisar os resultados obtidos e fazer as modificações que forem necessárias no plano de fogo.

Visando reduzir a intensidade e a frequência das detonações e, conseqüentemente, afetar o mínimo possível às comunidades do entorno, a empresa tem buscado um padrão de desmonte da mina com o plano de fogo (quadro nº04) apresentado a seguir:

Quadro nº 04 –Plano de fogo - fonte Lafarge Brasil, 2004.

Número de linhas	4
Diâmetro do furo(d)	2 ½"
Sub-perfuração	0,80 m
Altura do banco	Frente (1) = 10 m
Inclinação do furo	1ª linha = 15°, 2ª 3ª 4ª = 20°.
Profundidade do furo	11,50 m
Afastamento (A)	2 m
Espaçamento (E)	2,5 m
Extensão carga fundo	4,5 m
Carga de fundo	12 Kg
Extensão carga coluna	5,5 m
Carga de coluna	1ª linha=23 Kg, 2ª 3ª 4ª=32 Kg
Tampão	1ª linha = m, 2ª 3ª 4ª = 1,5 m
Razão de carregamento	0,450 Kg / m³
Nº de minas por fogo	60 unidades
Volume por fogo	3000 m³
Toneladas por fogo	7.560
Produção mensal	60.000 t
Número de eventos por mês	8

Resultados e discussão.

A seguir apresentamos quadro nº (05), que mostra os resultados das medições sismografias, realizadas durante o ano de 2005.

Quadro nº 05 – Resumo dos resultados 2005 – Fonte: Lafarge Brasil.

Nº do Evento	Data	Velocidade (mm/seg)	Frequência associada (Hz)	Pressão acústica dBl
01	04/01/05	4,25	37	125,1
02	18/01/05	1,84	18	115,6
03	27/01/05	2,03	14	128,3
04	15/02/05	1,52	23	130,1
05	17/02/05	0,89	32	116,9
06	01/03/05	0,13	>100	126,4
07	08/03/05	1,33	23	115,6
09	10/03/05	2,54	N/a	100
09	15/03/05	1,02	26	114
10	17/03/05	0,32	>100	131,6
11	24/03/05	1,08	17	121,6
12	30/03/05	0,82	22	121,6
13	05/04/05	0,69	73	122,3
14	08/04/05	1,46	12	126
15	13/04/05	0,88	21	<100
16	19/04/05	1,71	51	121,6
17	26/04/05	0,57	>100	114
18	28/04/05	0,88	27	126,8

19	03/05/05	1,97	26	114
20	05/05/05	1,59	64	132,5
21	10/05/05	1,08	47	124,1
22	13/05/05	1,97	N/a	100
23	20/05/05	2,16	34	120
24	02/06/05	1,52	14	122,9
25	07/06/05	1,40	21	124,6
26	09/06/05	2,03	27	131,4
27	16/06/05	2,22	27	100
28	21/06/05	1,14	19	116,9
29	28/06/05	1,78	20	123,5
30	30/06/05	1,08	20	119,1
31	07/07/05	1,08	18	124,1
32	12/07/05	1,46	20	116,9
33	19/07/05	1,02	21	122,9
34	26/07/05	1,40	19	126,4
35	02/08/05	1,21	17	129,5
36	09/08/05	1,08	26	131,6
37	16/08/05	1,59	26	122,9
38	18/08/05	0,12	>100	123,5
39	23/08/05	0,76	23	130,4
40	30/08/05	1,21	23	133,8
41	01/09/05	0,12	>100	115,6
42	06/09/05	1,14	18	121,6

43	13/09/05	0,12	>100	109,5
44	15/09/05	0,12	>100	114
45	20/09/05	0,57	51	114
46	27/09/05	1,27	34	114
47	04/10/05	0,76	24	115,6
48	11/10/05	2,03	18	124,1
49	18/10/05	0,12	85	122,3
50	01/11/05	1,08	28	127,2
51	08/11/05	0,06	N/a	119,1
52	10/11/05	0,06	N/a	116,9
53	29/11/05	0,25	37	134
54	29/11/05	1,65	20	115,6
55	06/12/05	0,12	>100	122,9
56	08/12/05	0,12	>100	124,6
57	12/12/05	0,88	37	122,9
58	16/12/05	1,21	26	133,3
59	20/16/05	0,12	>100	123,5
60	22/12/05	0,76	19	128,3
61	28/12/05	0,06	N/a	106
62	29/12/05	0,19	43	126,4

N/a = Frequência não significativa.

Podemos observar que dos 62 resultados dos eventos medidos, 47 encontram-se abaixo de 126 dBL o que equivale a **75%** do total dos resultados, somente 1 resultado foi igual a 134 dBL (1,6%) e não encontramos nenhum valor de medição acima de 134 dBL.

A baixo apresentamos um espectro sonoro de detonação da pedra. Ao analisarmos a figura nº 29 podemos verificar que as frequências predominantes concentram-se na faixa de até 40 Hz.

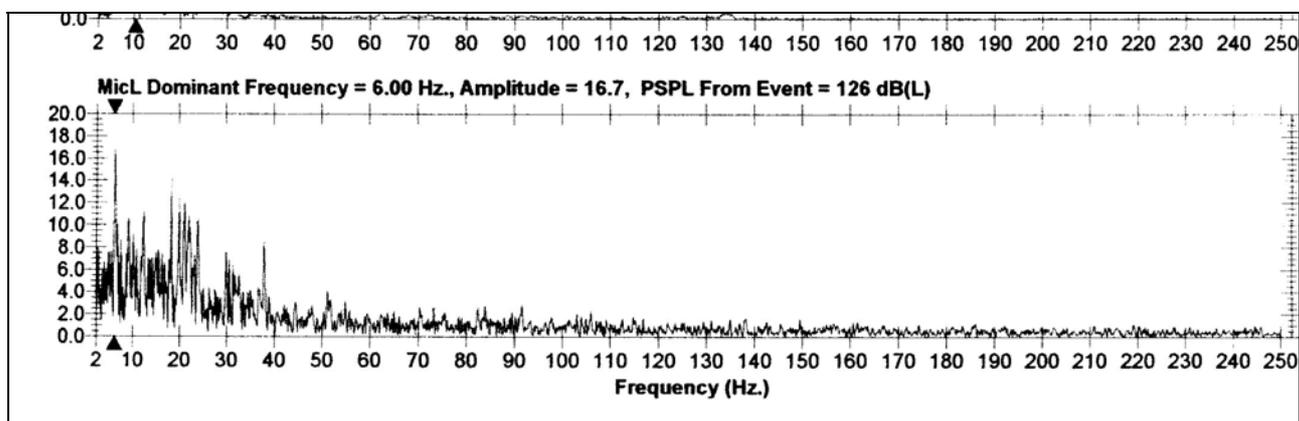


Figura nº 29 – Espectro sonoro de detonação.

Para realizarmos uma análise mais realista sobre o incômodo sonoro proveniente da operação de desmonte em uma pedra, buscamos traçar uma simulação do impacto sonoro relativo a detonação baseada em muitos resultados de medições, ver quadro nº 2.

A simulação utilizou o programa MATLAB em conjunto com a Teoria dos Sistemas Nebulosos (LOGÍCA FUZZY). Adotamos a Lógica Fuzzy por se tratar de ramo da matemática que apresenta ótima solução para a interpretação de questões subjetivas, como é o caso do incômodo sonoro.

Inicialmente definimos o nome do sistema “INCÔMODO SONORO”, o nº de entradas (2) – nível de ruído em dB(L) e níveis em dB(A), tipo de inferência do sistema “*mandani*”, o método de defusificação “centróide”, e por fim o nome da saída “incômodo”.

A conformação do sistema visa basicamente a definição dos dados a serem utilizados, o tipo de inferência e ou relação entre eles, as regras de interação e a configuração da escala de interação, e a configuração da escala de resultados.

Podemos visualizar as etapas de execução da simulação através das figuras nº 30, 31, 32, 33 e 34 como também o extrato do programa.

Simulação Fuzzy para incômodo sonoro.

[System]

Name='Incômodo Pedreira'.....*Titulo da Simulação.*

Type='mamdani'.....*Tipo de método.*

Version=2.0

NumInputs=2.....*Número de entradas (2)*

NumOutputs=1.....*Número de saídas (1)*

NumRules=25.....*Número de regras de validação (25)*

AndMethod='min'

OrMethod='max'

ImpMethod='min'

AggMethod='max'

DefuzzMethod='centroid'.....*Método de defusificação - centróide*

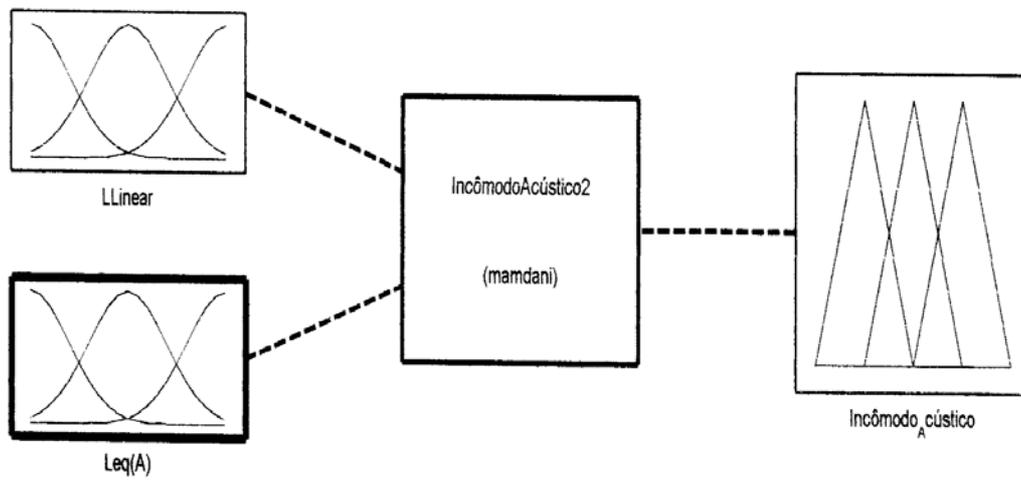


Figura nº 30 – Fluxo da simulação

[Input1].....*1ª entrada*

Name='LLINEAR'.....*Nome da entrada*

Range=[35 134].....*Escala de valores*

NumMFs=5.....*Número de funções de inferência (5)*

MF1='Muito_Baixo': 'trimf',[0.291 22.63 0.1455 52.83]

MF2='Baixo': 'trimf',[0.2215 47.4 -0.1107 87.08]

MF3='Médio': 'trimf',[9.689 75.62 19.38 87.03]

MF4='Alto': 'trimf',[6.425 104.5 6.425 114.1]

MF5='Muito_Alto': 'trimf',[114.2 129.2 138.8 153.8]

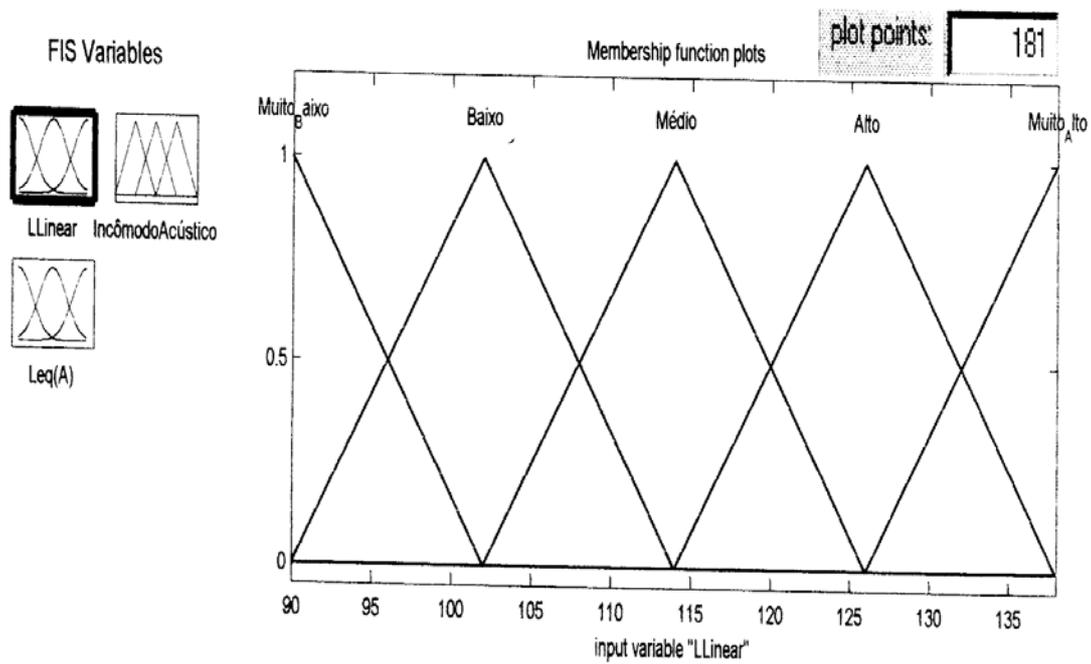


Figura nº 31 – Formatação da 1ª entrada

[Input2].....*2ª entrada*

Name='Leq(A)'.....*Nome da entrada*

Range=[35 70].....*Escala de valores*

NumMFs=5.....*Número de funções de inferência(5)*

MF1='Muito_Baixo':'trimf',[26.25 35 43.75]

MF2='Baixo':'trimf',[35 43.75 52.5]

MF3='Médio':'trimf',[43.75 52.5 61.25]

MF4='Alto':'trimf',[52.5 61.25 70]

MF5='Muito_Alto':'trimf',[61.25 70 78.75]

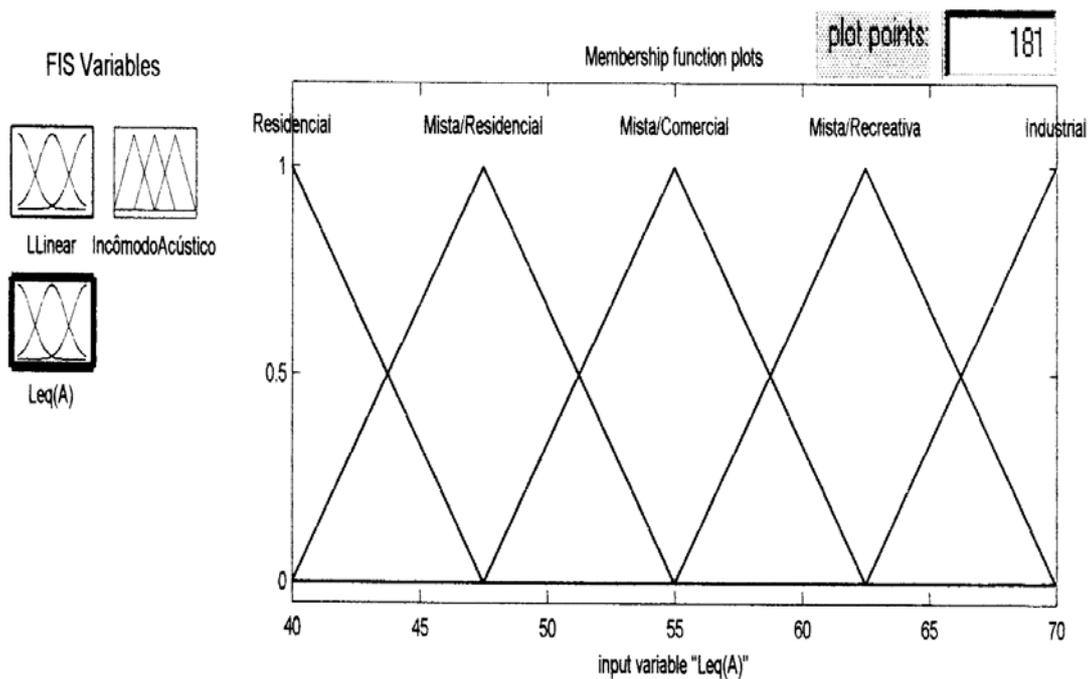


Figura nº 32 – Formatação da 2ª entrada

[Output1].....*Saída*

Name='INCÔMODO'.....*Nome da saída*

Range=[0 10].....*Escala de incômodo*

NumMFs=5.....*Número de funções de inferência(5)*

MF1='Não_Incômodo':'trimf',[-2.5 0 2.5]

MF2='Pequeno_Incômodo':'trimf',[0 2.5 5]

MF3='Médio_Incômodo':'trimf',[2.5 5 7.5]

MF4='Incômodo':'trimf',[5 7.5 10]

MF5='Grande_Incômodo':'trimf',[7.5 10 12.5]

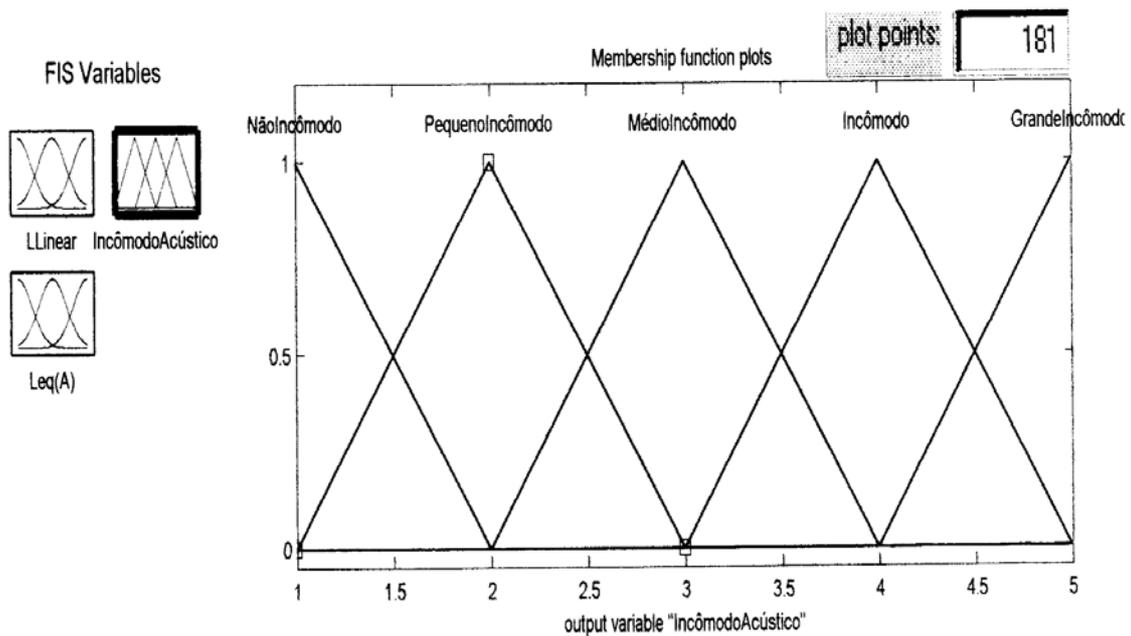


Figura nº 33 – Formatação da saída da simulação

[Rules].....*Regras para inferência*

Leq (A)						
		Muito Baixo (1)	Baixo (2)	Médio (3)	Alto (4)	Muito Alto (5)
L I N E A R	Muito Baixo (1)	Não Incômodo	Pequeno Incômodo	Médio Incômodo	Incômodo	Grande Incômodo
	Baixo (2)	Não Incômodo	Pequeno Incômodo	Médio Incômodo	Incômodo	Grande Incômodo
	Médio (3)	Pequeno Incômodo	Médio Incômodo	Incômodo	Grande Incômodo	Grande Incômodo
	Alto (4)	Médio Incômodo	Incômodo	Grande Incômodo	Grande Incômodo	Grande Incômodo
	Muito Alto (5)	Incômodo	Grande Incômodo	Grande Incômodo	Grande Incômodo	Grande Incômodo

O resultado do programa de simulação do incômodo sonoro pode ser visualizado através do gráfico mostrado na figura nº 34.

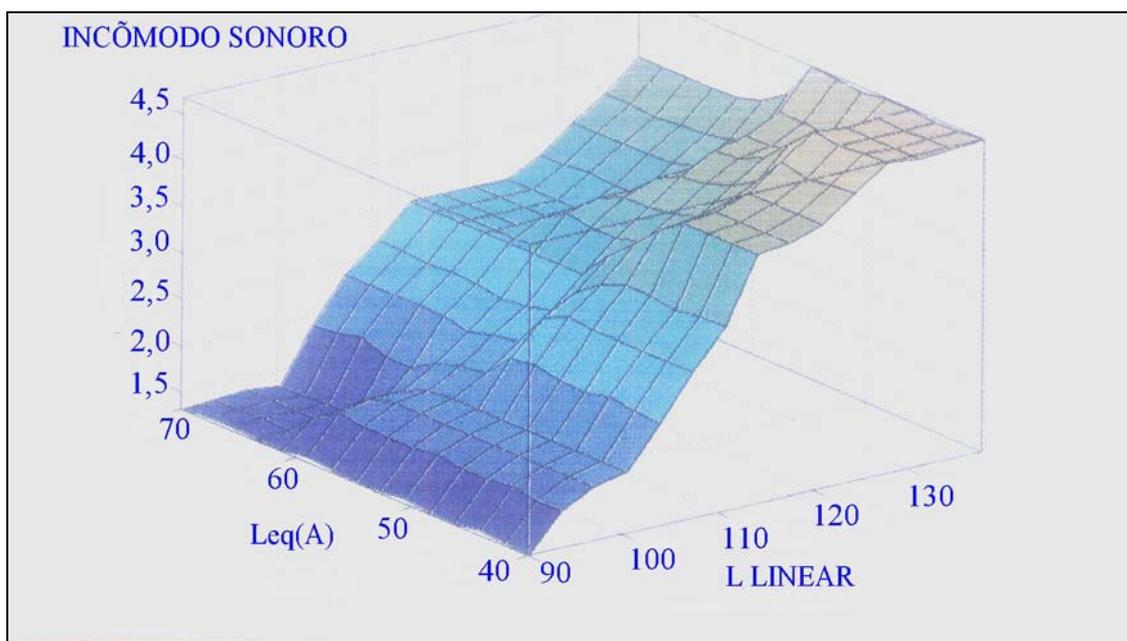


Figura nº 34 – gráfico de simulação de incômodo sonoro

Neste ponto é importante lembrar que o objetivo desta Dissertação consiste em realizar uma análise do impacto ambiental sonoro decorrente das operações de uma pedreira situada em área urbana. É importante frizar que, o foco central deste trabalho foi a identificação dos principais problemas gerados pela utilização de explosivos na extração de rocha.

A preocupação básica foi, portanto, a busca de ações que pudessem ser implementadas para minimizar tais efeitos. Para este fim, foi realizada, uma apresentação das operações desenvolvidas pelas pedreiras na qual foi levantado um conjunto de efeitos que são gerados pela detonação dos explosivos e que geralmente são responsáveis pelos incômodos sofridos pelas comunidades próximas aos empreendimentos.

Após o levantamento das inúmeras normas que tratam de ruído e vibração, realizamos uma comparação com a NBR 9653 em sua versão original e a revisada que

entrou em vigor a partir de outubro de 2005. Na análise preliminar pudemos verificar que a atual NBR 9653 evoluiu pois passou a considerar o par casado velocidade de vibração de partícula com a frequência associada, o que garante uma melhor e mais precisa análise para reduzir os riscos de danos estruturais.

Identificamos também uma evolução quanto aos procedimentos para a avaliação do evento, uma maior exigência quanto as especificações dos equipamentos utilizados nas medições e também algumas recomendações gerais com relação ao conforto das populações vizinhas.

A crítica que fazemos a nova NBR 9653 / outubro 05, é referente à vulnerabilidade no que diz respeito ao incômodo e desconforto ambiental a que as populações lindeiras aos empreendimentos ficam sujeitas, já que os parâmetros adotados de ruído e vibração, somente contemplam àqueles consagrados para avaliação de danos estruturais.

O valor de 134 dBL para ruído e a faixa de 15 a 50 mm/s da velocidade de vibração de partícula não nos parecem adequados para caracterizar um possível incômodo causado pela operação com explosivos.

Para avaliarmos esta vulnerabilidade realizamos um estudo de caso em que reunimos diversos dados relativos a uma pedreira, buscando caracterizar todo o cenário de operação.

O estudo de caso primeiramente apresentou os dados básicos da pedreira como localização, operações realizadas, plano de fogo, procedimentos adotados e um quadro com os valores medidos (ruído e vibração) durante o monitoramento dos desmontes realizados no ano de 2005.

A pedreira Inhaúma foto nº 33 foi selecionada por reunir fatores fundamentais para um estudo mais detalhado como:

- Localização comum às pedreiras de extração de pedras para construção civil, ou seja, inserida na malha urbana;
- Monitoramento constante dos parâmetros de ruído e vibração relativos aos desmontes;
- Adoção de inúmeras ações para minimização dos impactos advindos do processo de extração.

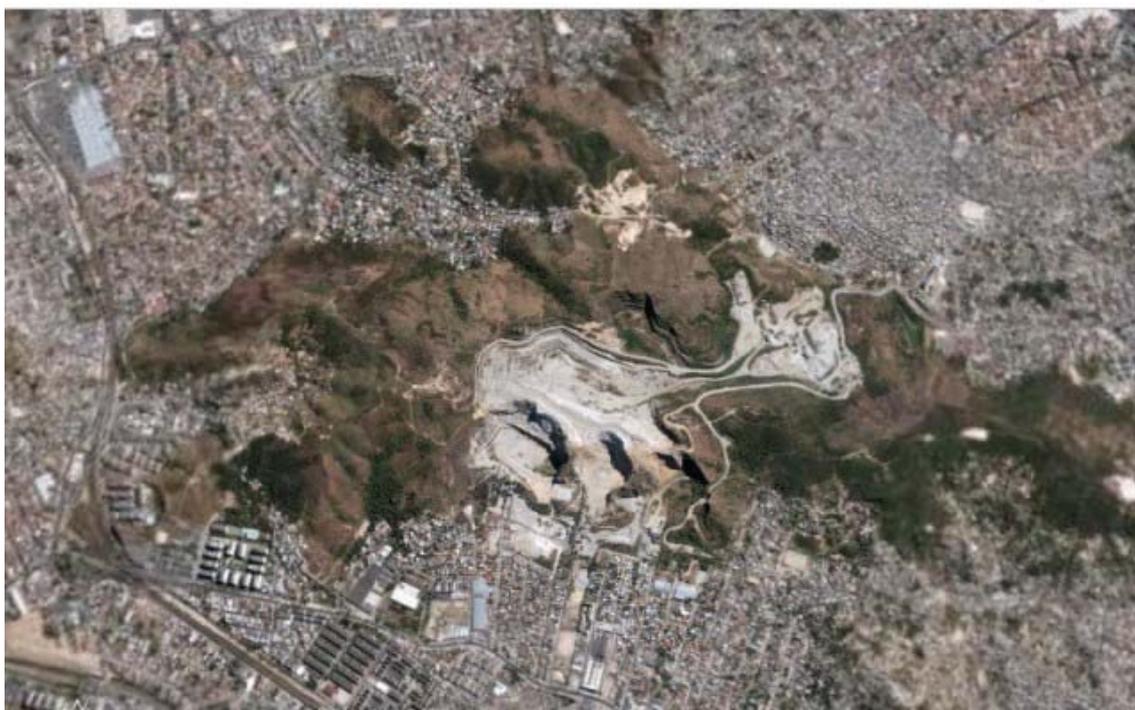


Foto nº 33 – vista aérea das imediações da pedreira.

A segunda parte do estudo de caso foi dividida em duas etapas, a primeira procurou realizar uma análise qualitativa do possível incômodo sonoro sofrido pelas comunidades próximas. Para alcançarmos este objetivo compilamos uma simulação do

incômodo, utilizando o programa “MATLAB” em conjunto com a Lógica Fuzzy (págs 161 a 167).

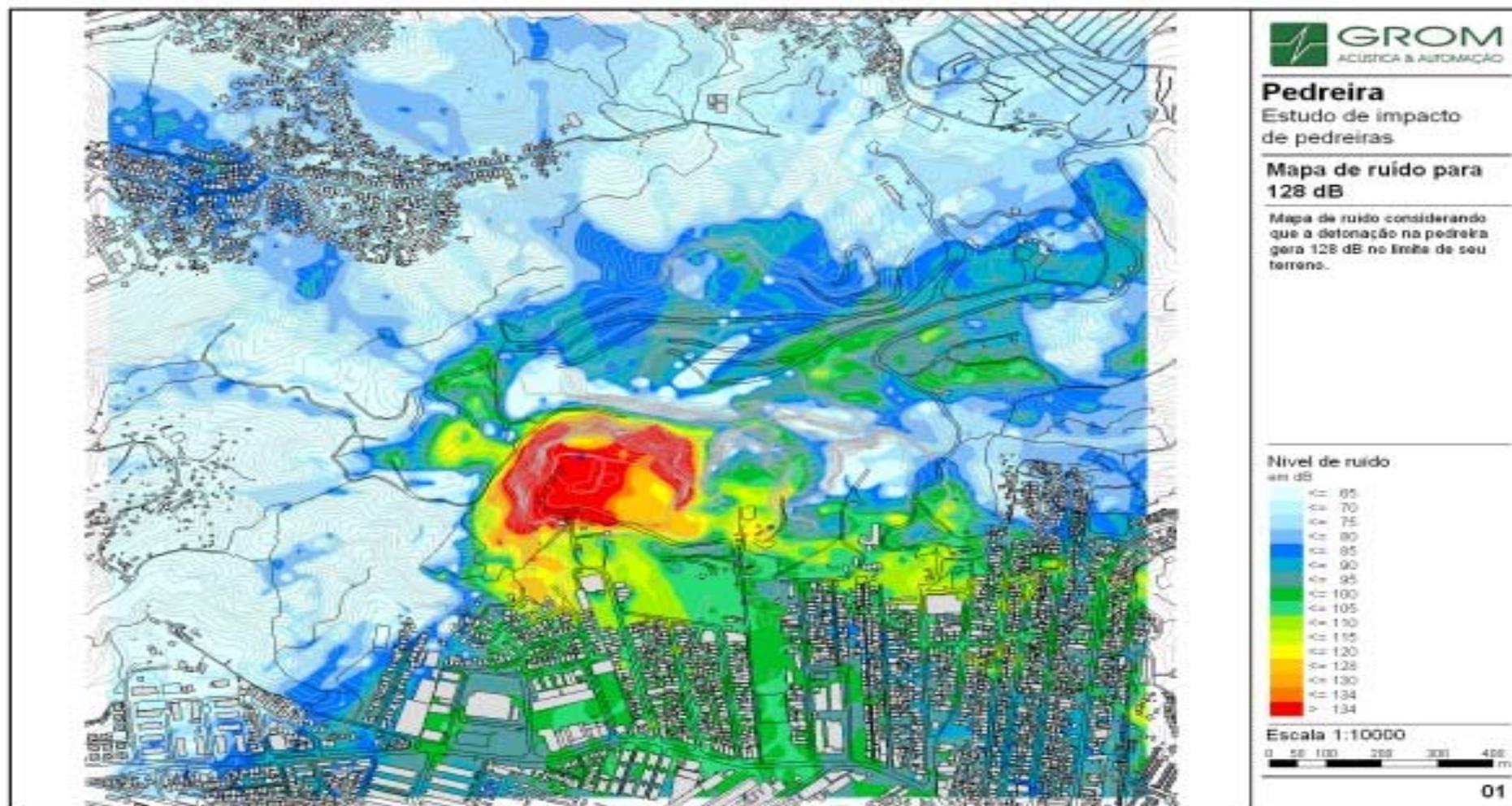
A simulação indicou que para valores acima de 128 dBL Pico, em áreas residenciais o desconforto sonoro deve ser relatado com “INCÔMODO”.

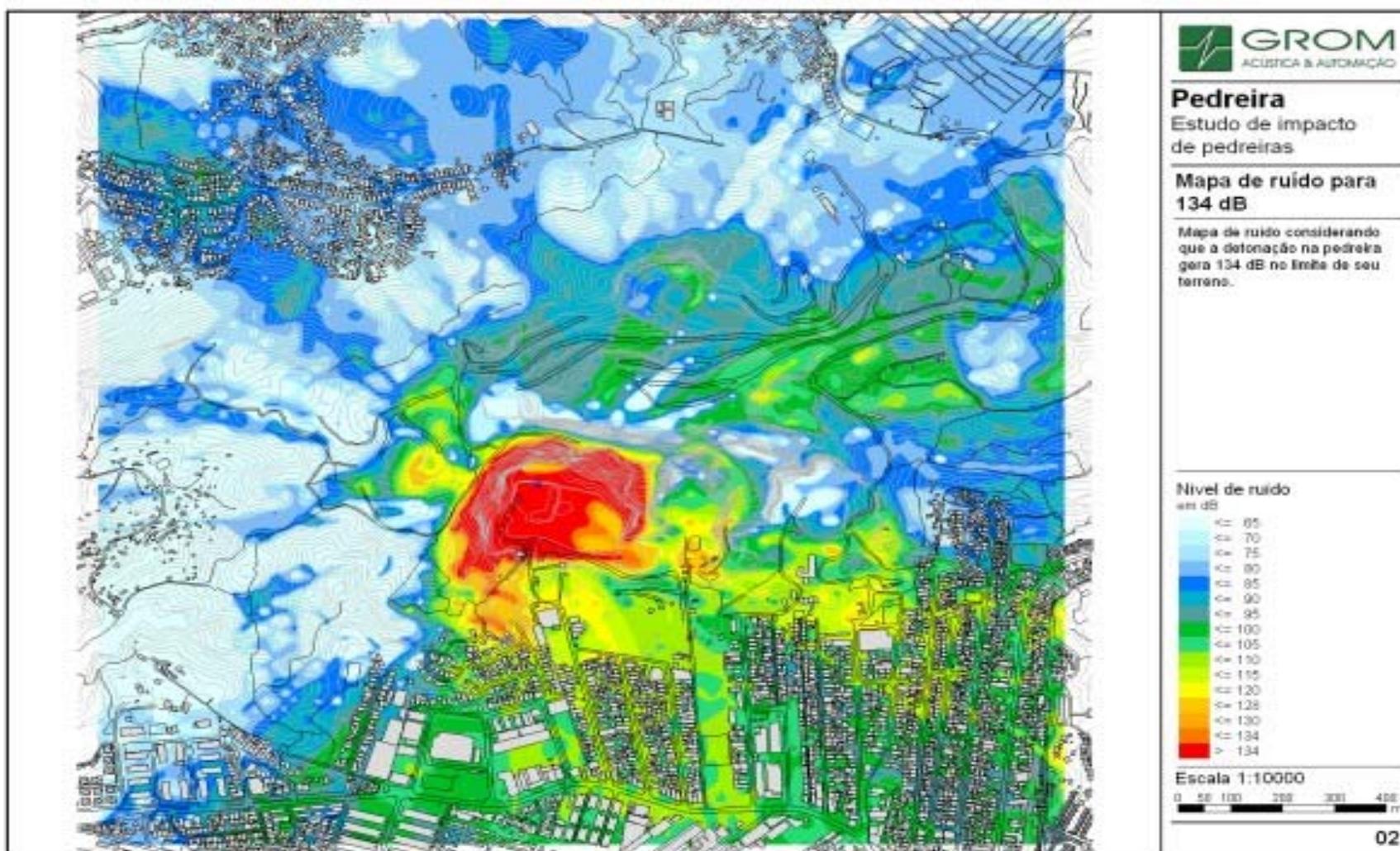
A segunda etapa do estudo buscou avaliar quantitativamente os valores de ruído, que provocariam o incômodo sonoro e conseqüentemente ratificar as críticas à NBR 9653 / OUT 05. Nesta avaliação foi utilizado um programa de simulação chamado “SOUNDPLAN”, desenvolvido por Braunstein e Berndt em 1986, e posteriormente atualizado. O “SOUNDPLAN” é um pacote computacional para avaliação de ruído e poluição do ar.

Os resultados obtidos nesta simulação indicam claramente que se as pedreiras adotarem as medidas visando a minimização do impacto sonoro, relatadas no capítulo VII págs. 169 e 170, os níveis de ruído podem ser mantidos bastante abaixo dos valores preconizados pela norma NBR 9653 / OUT 05.

Cabe frizar que, como verificado no estudo de caso, os valores da NBR citada anteriormente podem sofrer uma redução significativa (**6 dBL**) e não prejudicar as operações das pedreiras, visto que o quadro nº 05 pg. 157 é testemunho desta ação.

É nossa principal sugestão que uma nova revisão da NBR deve adotar o valor de 128 dBL pico (50 Pa), como limite legal para o nível de pressão acústica (sobrepção de ar). Isto reduziria em 50% os valores da pressão sonora e em 75% a energia sonora emitida pela atividade. Com isto a população incomodada seria em muito reduzida como podemos observar nas figuras nº 35 e 36.





CAPÍTULO VII – PROPOSTAS PARA MITIGAÇÃO DOS PROBLEMAS DE RUÍDO E VIBRAÇÃO

A atividade extrativa mineral envolve normalmente o desmonte do minério ou estéril. Essa operação implica geralmente na detonação de explosivos industriais na área da mina, liberando uma grande quantidade de energia, que se propaga em todas as direções. A parte não utilizada na fragmentação do maciço rochoso é perdida sob a forma de luz, calor e vibrações pelo terreno e atmosfera, podendo causar danos de diferentes magnitudes, tanto pela geração de ruídos e pressões acústicas, como por abalos sísmicos e vibrações pelo terreno, ou ainda pela emissão de fragmentos de rocha e poluição do ar e da água.

As vibrações são de forma geral, diretamente proporcionais à carga de explosivo detonado e inversamente proporcional à distância da frente de lavra ao local de medição ou observação.

Basicamente, um desmonte de rochas com explosivos, tendo em vista seu controle sísmico, deve passar por etapas básicas:

- Reconhecimento geológico;
- Estabelecimento de cargas iniciais;
- Instrumentação sísmica, ajustes de campo em detonações bem projetadas com relação a energias perdidas, são suficientes para se trabalhar com baixos níveis de impacto.

Modernamente, o uso de micro retardos de tempo nas detonações faz com que a intensidade desses efeitos secundários seja proporcional à chamada carga por espera, isto é, à quantidade de explosivos detonado em cada intervalo de tempo separado pelos retardos (da ordem de milisegundos), e não à carga total do desmonte, que seria a soma

das cargas por espera individuais; com isso, os picos máximos dessas vibrações nocivas são reduzidas e os efeitos diluídos no tempo total da detonação, e portanto as análises dos desmontes devem considerar estes conceitos.

Diversas ações podem ser realizadas para alcançar a redução de pressões acústicas, basicamente as recomendações buscam maximizar o confinamento dos explosivos, pois praticamente toda pressão acústica gerada significa energia perdida e portanto aumento nos custos de produção.

Abaixo apresentamos os principais ajustes necessários para reduzir os impactos ambientais e formas de redução de pressões acústicas:

- **REDUZIR CARGA POR ESPERA;**
- **ADEQUAR O TEMPO DE RETARDO;**
- **ADOTAR MAIOR TAMPÃO POSSÍVEL E MATERIAL ADEQUADO;**
- **INICIAR A DETONAÇÃO COM O MENOR NÚMERO POSSÍVEL DE FUIROS;**
- **AUMENTAR CONFINAMENTO DE EXPLOSIVOS;**
- **FAZER TAMPÃO INTERMEDIÁRIO EM FRATURAS;**
- **CONSIDERAR CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS E VERIFICAR ANORMALIDADES CLIMÁTICAS;**
- **INICIAR DETONAÇÃO NO FUNDO DO FURO;**
- **NÃO DIRIGIR A FRENTE DE DETONAÇÃO PARA A COMUNIDADE;**
- **BUSCAR MALHAS DE PERFURAÇÃO PERFEITAMENTE DEMARCADAS E EXECUTADAS;**
- **DIMINUIR O NÚMERO DE DETONAÇÕES NO MÊS;**
- **FAZER DETONAÇÃO EM HORÁRIO DE MAIOR RUÍDO DE FUNDO;**
- **EVITAR, E SE POSSÍVEL ELIMINAR DESMONTES SECUNDÁRIOS;**
- **EVITAR A UTILIZAÇÃO DE CORDEL DETONANTE, PREFERÊNCIA PARA ESPOLETAS ELETRÔNICAS;**
- **IMPLANTAR OBSTÁCULOS ENTRE A MINA E COMUNIDADE (barreira vegetal)**

Para corroborarmos a eficácia das ações apresentadas anteriormente, propomos o seguinte raciocínio:

Como a energia sonora transportada por uma onda é proporcional ao quadrado de sua amplitude, o nível de energia sonora será dado pela equação:

$$L = 10 \log \left(\frac{E}{E_0} \right) \quad (6)$$

$L \Rightarrow$ Nível de energia em dB

$E \Rightarrow$ Energia sonora

$E_0 \Rightarrow$ Energia sonora de referência

Então temos:

$$\frac{L}{10} = \log \left(\frac{E}{E_0} \right) ; 10^{\frac{L}{10}} = \frac{E}{E_0}$$

A redução R dos níveis de energia da situação E_1 para uma E_2 ($E_1 > E_2$) é definida como sendo $R = E_1 - E_2$.

Logo a redução percentual de energia sonora é:

$$R = \frac{E_1 - E_2}{E_1} 100\% \quad (7)$$

Assim, se supusermos uma redução de **6 dB** no nível de energia sonora de uma determinada fonte observaremos:

$L_1 =$ Nível de energia emitido pela fonte na situação original.

$L_2 =$ Nível de energia emitido pela fonte após implementação de ações mitigadoras.

$$L_1 - L_2 = \mathbf{6 \text{ dB}}$$

$$10^{\frac{L_1}{10}} = \frac{E_1}{E_0} \text{ e } 10^{\frac{L_2}{10}} = \frac{E_2}{E_0}$$

$$\text{Porem } R = \frac{E_1 - E_2}{E_1} 100\%$$

$$R = \frac{\frac{E_1 - E_2}{E_0}}{\frac{E_1}{E_0}} 100\% \Rightarrow \frac{\frac{E_1}{E_0} - \frac{E_2}{E_0}}{\frac{E_1}{E_0}} 100\%$$

$$\frac{10^{\frac{L_1}{10}} - 10^{\frac{L_2}{10}}}{10^{\frac{L_1}{10}}} 100\% \Rightarrow \left[\frac{10^{\frac{L_1}{10}}}{10^{\frac{L_1}{10}}} - \frac{10^{\frac{L_2}{10}}}{10^{\frac{L_1}{10}}} \right] 100\%$$

$$\left[1 - 10^{\frac{L_1 - L_2}{10}} \right] 100\% \Rightarrow (1 - 10^{-0,6}) 100\%$$

$$R = \left(1 - \frac{1}{10^{0,6}} \right) 100\% \Rightarrow \left(1 - \frac{1}{4} \right) 100\% \Rightarrow$$

$$0,75 \times 100\% = 75\%$$

Neste caso a energia sonora emitida seria reduzida em 75%, quando reduzissemos em **6 dB** o nível sonoro da fonte.

Se extrapolarmos o raciocínio e observarmos o quadro de medições realizado pela pedreira Inhaúma no ano de 2005, verificaremos que os valores formam a tabela nº 28 que é mostrada a seguir.

Valor medido dB	Número de eventos	%
≤ 100	04	7
100 a 120	20	32
120 a 126	23	37
126 a 134	15	24
> 134	0	0
Tabela nº 28 – Percentual de eventos		

Esta tabela nos dá uma radiografia dos bons resultados que podem ser alcançados se forem adotadas as ações preconizadas para a minimização dos impactos devidos a utilização de explosivos na extração de rocha.

Realizando um novo agrupamento dos percentuais da tabela nº 28 poderemos constatar que **76%** dos valores medidos encontram-se abaixo de **126 dB**, ou seja, a pedreira está emitindo **75%** menos energia sonora em relação ao parâmetro preconizado pela NBR 9653 / 2005, que é de **134 dB**; Mais uma vez ratificando as ações mitigadoras.

Capítulo VIII – CONCLUSÕES.

A atividade extrativa mineral, que utiliza explosivos para desmonte de minérios, geralmente expõe a população próxima, a níveis elevados de ruído impulsivo de alta energia e baixa frequência.

A vibração e o ruído são de forma geral proporcionais à carga de explosivo detonado e inversamente proporcional à distância da lavra ao local avaliado. Logo nada mais evidente que tentarmos administrar estas variáveis.

Após as análises e simulações realizadas, visando qualificar e quantificar os possíveis incômodos sonoros gerados pela operação de extração de rocha com a utilização de explosivos, e avaliarmos medições e dados com base na NBR 9653 / OUT. 05, sugerimos:

- Adoção, por parte dos empreendimentos que realizam extração de rocha, das ações visando a mitigação dos problemas de ruído e vibração enumeradas a seguir:
 - a) *Reduzir carga por espera;*
 - b) *Adequar o tempo de retardo;*
 - c) *Adotar o maior tampão possível com material adequado;*
 - d) *Iniciar detonação com o menor número de furos possível;*
 - e) *Aumentar confinamento dos explosivos;*
 - f) *Fazer tampão intermediário em fraturas;*
 - g) *Considerar condições meteorológicas para o desmonte;*
 - h) *Iniciar detonação pelo fundo do furo;*
 - i) *Não dirigir frente de detonação para a comunidade;*
 - j) *Otimizar malha de perfuração;*
 - k) *Diminuir número de detonações no mês;*

l) Realizar detonação em horário de maior ruído de fundo;

m) Evitar, e se possível eliminar, desmontes secundários;

n) Evitar a utilização de cordel detonante;e

o) Implantar barreiras entre a mina e a comunidade (barreira vegetal).

- Redução do valor legal do nível de pressão acústica para 128 dBL pico;
- Monitoramento constante dos parâmetros de ruído e vibração, em função dos valores de produção de cada empresa.

As sugestões apresentadas anteriormente podem permitir um ajuste adequado de um empreendimento de extração de rochas, uma vez que permitirá a redução do impacto sonoro sobre a população mais próxima.

Os resultados das duas simulações nos indicam claramente que uma redução de **6 dBL** nos níveis legais não prejudicariam as operações desenvolvidas pela atividade, como podemos comprovar no quadro nº 02 pgs. 156,157 e 158, e promoveriam uma diminuição de **50%** nos níveis permitidos de pressão sonora e conseqüentemente uma redução de **75%** da energia sonora emitida.

Capítulo IX – Referências Bibliográficas.

ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.151:avaliação de ruídos em áreas habitadas visando o conforto da comunidade.Rio de Janeiro,2000

ATLAS POWDER COMPANY. Explosives and rock blasting. Dallas, 1987

BACCI, D.C. Vibrações geradas pelo uso de explosivos no desmonte de rochas: avaliação dos parâmetros físicos do terreno e dos efeitos ambientais. Tese apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista para a obtenção do Título de Doutor, Rio Claro, SP, 200. 205p.

BERTA, G. L 'esplosivo strumento di lavoro.1985.ITALESPLOSIVI - Milano.1ª ed. 488p.

BOLLINGER, G. ^a Blast Vibration analysis. Carbondale, Southern Illinois University Press, 1980

Brasilminingsite - Portal da Mineração Brasileira. Normas para Vibração Subsídios para uma Nova Padronização. João Químio Nojiri (12/12/2001)

CETEMAG Diagnóstico da Situação da Gestão Ambiental nas Indústrias do Setor de Mármore & Granitos- SEBRAE/ES - Dezembro/2004.Ricardo Luiz Peixoto de Barros.

Chemica Edile S. R. L. FRACT.AG. Argamassa expansiva para demolições, cortes de rocha e cimentos. Chemica Edile S.R.L. [s.d.]. (catálogo)

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Controle ambiental da mineração.São Paulo, 1991. (Série Didática,1 Especial)

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente.Resoluções CONAMA:1984a 1991. 4. ed. Brasília:IBAMA,[19--].P.245p

De Paula, M. R. Termoconsolidação de Obras de cantaria. DEMIN/UFOP,2002. (Relatório de estágio supervisionado no DEMIN).

DEVINE, J.F. Avoiding damage to residences from blasting vibrations. 1966. Hygway Reserarch Bord. 135p

Diagnóstico da Gestão Ambiental nas Indústrias do Setor de Marmores e Granitos. Cochoeiro de Itapemirim - Espírito Santo - Brasil, dezembro 2004 - Ricardo Luis Peixoto Barros. SEBRAE/ES.

ESTON, S. M. Uma análise dos níveis de vibração associados a detonações. 1988. Tese de Livre Docência. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 125p.

Estudo de Uso e Ocupação do Solo no Entorno das Pedreiras: Embu, Cantareira e Mariutti. São Paulo, ago. 1985. 49p. Il., foto

Estudo de uso e Ocupação do Solo no Entorno de Pedreiras. São Paulo, jul. 1988. 80p. il.

Estudo de uso e Ocupação do Solo no Entorno de Pedreiras. São Paulo, set. 1984. 95p. Il., 1 mapa

Estudos Experimentais dos Efeitos de Desmonte de Rocha sobre Estruturas Modelo, pelo IPT/Divisão de Minas e Geologia Aplicada. São Paulo, jan. 1986. 144p. il., foto., graf., tab

Gran Mac do Brasil Ltda. DEMOX. Massa expansiva para desmontes de rochas. Belo Horizonte: Gran Mac Brasil Ltda. [s.d.]. (catálogo)

IRAMINA, W. S. Desmonte de rocha e controle ambiental. Dissertação de Mestrado da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1997, 128p

IRAMINA, W. S. O mapa de isso-velocidades como ferramenta de controle ambiental. Tese de Doutorado da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2002, 223p

JAEGER, J. C., Cook, N. G. Fundamentals of rock mechaniscs (3.ed.). London: Chapman & Hall, 1979.

Licença Ambiental ainda é entrave para crescimento. Jornal Agazeta. 03.05.2005

Manual Técnico para Empreendimentos Minerais na RMSP.Código de Mineração e legislação Correlativa - Recursos Minerais do Brasil - Dicionário geológico-geomorfológico São Paulo Brasil.

Maria Luisa Matos(2001).Análise da Exposição ao Ruído na Indústria Extractiva Face à Evolução Tecnológica. Estudos, Notas e Trabalhos, Tomo 43. Instituto Geológico e Mineiro.

Medidas de Ordem Técnica para Disciplinar a Atividade de Exploração de Pedreiras na RMSP. São Paulo, set. 1984. 110p. Il., foto., graf., tab., 1 mapa.

Medidas de Ordem Técnica para Disciplinar a Atividade de Exploração de Pedreiras na RMSP:Testes na Pedreira Constan. São Paulo, ago. 1985. Pte.2, 74p. il.,foto., graf., tab.

Melchiades, F. G. et alii. A curva de gresificação: Parte I - Fabio G. Melchiades. Cerâmica Industrial, v.1, n. 04/05, Agosto/Dezembro,1996

MENDEL, J. M. Fuzzy logic systems for engineering:A Tutorial, 1995.

MineralNet.com.ar.htm-Fevereiro/2005- Regras de Boa Prática no Desmonte a Céu Aberto(Del Instituto Geológico e Mineiro -Portugal).

Pedreiras - Como ampliar os negócios, diminuir a ociosidade e ampliar a vida útil através da redução do impacto ambiental. Paulino E. Coelho, M.Sc., Ph.D. - PECE, Escola Politécnica da Universidade de S. Paulo e DEC/CCET Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

Pedreiras em Áreas Urbanas: Importância e Efeitos. São Paulo, 1987. 64p. il., tab.

PINHEIRO, J. R. O emprego da argamassa expansiva na extração de rochas ornamentais. Rochas de Qualidade, v. 28, n. 145, março/abril,199p.

GAMA, Dinis da Prof. (2001). O Futuro das Pedreiras Subterâneas. Boletim de Minas, Vol.38 - nº 4. Instituto Geológico e Mineiro.

Projeto Rede Cooperativa de Pesquisa em Minerais da Construção Civil e Mitigação de seus Impactos Ambientais - RETECMIN-RJ.

Propostas de Ordem Técnica e Documentos Legais para a Exploração de Pederiras na RMSP. São Paulo, set. 1983. V.1, 119p. il., tab., 6 mapas.

Propostas de Ordem Técnica e Documentos Legais para a Exportação de Pedreiras na RMSP. São Paulo, set. 1983.v.2, 24 mapas.

Rem: Ver. Esc. Minas vol.56 no.3 Ouro Preto July/Sept.2003 - Emprego de Argamassa Expansiva e Termoconsolidação de peças em cantaria - José Aurélio Medeiros da Luz; Francisco Javier Montenegro Balarezo; Carlos Alberto Pereira.

Rochas de Qualidade, 1º trimestre 1986, p. 43-46, e Rochas de Qualidade, 4º trimestre 1986, p. 34-47; Available - (dezembro 1997).

SANTOS, P. de S. Ciência e tecnologia de argilas (2.ed.). São Paulo: Edgard Blücher, 1989.

SISKIND, D. E. et al. Structure response and damage produced by airblast from surface mining. Washington, U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines, 1980. (U.S. Bureau of Mines. Report of Investigations, 8485).

SISKIND, D. E. et al. Structure response and damage produced by ground vibration from surface mine blasting. Washington, U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines, 1980. (U.S. Bureau of Mines. Report of Investigations, 8507).

SISKIND, D.E. Vibrations from blasting. 2000. International Society of Explosives Engineers. 120p.

STACHURA, V. J.; SISKIND, D.E.; ENGLER, A.J. Airblast instrumentation and measurement techniques for surface mine blasting. W. U.S. Department of Interior, Bureau of Mines, 1981. (U.S. Bureau of Mines. Report of Investigations, 8508).

VILLASCHI FILHO, A, Sabadini, M. S. Arranjo produtivo de rochas ornamentais (marmore e granito) no Estado do Espírito Santo. Rio de Janeiro: Instituto de Economia - IE/UFRJ, 200.

X Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada a Vulnerabilidade de uso ao Redor das pedreiras Mecanizadas em feira de santana, BA: Um Modelo. Adriana Mascarenhas Valente - PROBIC/UEFS; Liana Maria Barbosa - Ciências Exatas/UEFS.

Capítulo X - ANEXOS

Explosivos

Explosivos são substâncias químicas que devidamente iniciadas reagem liberando uma grande quantidade de energia num curto espaço de tempo. Os explosivos podem ser divididos basicamente em duas categorias:

- Baixo explosivo – pólvora negra, etc;
- Alto explosivo – dinamite, etc;

Enquanto a característica de decomposição do baixo explosivo é a deflagração ou queima, a do alto explosivo é a detonação. Os dois tipos de decomposição podem diferir em mecanismo, porém a grande diferença está na velocidade. A pólvora negra (foto 06) queima progressivamente em contraste com o alto explosivo cuja decomposição é quase instantânea.

Existem várias espécies de dinamites em uso e cada uma delas é subdividida em outros tipos diferenciados.

A detonação de altos explosivos envolve uma decomposição extremamente rápida das moléculas do explosivo. Isto se dá numa zona de reação gerando uma onda detonante cuja velocidade de propagação varia entre 1500 a 8500 m/seg.

É importante observar que a diferença no efeito produzido pela queima e detonação, não acontece na quantidade de energia liberada, mas sim na taxa de liberação de energia. Existem explosivos que passam da queima à detonação.

Em trabalhos de pedreira normalmente são necessários acessórios de detonação, que se constituem em dispositivos ou produtos para iniciar cargas explosivas, fornecer chama para iniciar explosão ou propagar uma onda detonante de ponto a ponto.

Existem inúmeros acessórios, tais como estopim de segurança (foto 07), acendedores (foto 08), etc. Os detonadores variam desde espoletas simples (foto 09) a espoletas elétricas de espera e cordel detonante (foto 10).

O cordel detonante se constitui num pequeno núcleo cilíndrico de explosivo, coberto por uma camada protetora, cuja função é isolar o núcleo de abrasões ou outros danos físicos e reduzir a possibilidade de penetração de água ou umidade. O cordel detonante não transmite chama a um explosivo, como no caso do estopim, apenas inicia as cargas de altos explosivos (foto 11) através da detonação de seu núcleo. A explosão do núcleo precisa ser iniciada por uma espoleta ou outro produto similar.

Há vários tipos de cordel detonante no mercado. É necessário ainda o uso de reforçadores (foto 12) para romper a base da bancada, como também é importante a utilização de retardos (foto 13) que possibilitam um desmonte mais controlado e eficiente.

Algumas das principais propriedades dos explosivos são: força; densidade; sensibilidade; velocidade; resistência à água e produção de gases.

Parte dessa energia é utilizada para desagregar a rocha, fragmentando-a e lançando-a a uma certa distância de sua posição original, junto à praça de produção, formando pilhas que podem ser trabalhadas por equipamentos de carregamento.

A seguir exemplos de explosivos mais utilizados em Desmonte de rocha.

Pólvora Negra



Foto 06 – Pólvora Negra, embalagem comercial

TIPOS Granel - Mina - Tubete

APRESENTAÇÃO:

Caixa de Papelão 25 Kg (mina e granel) e 12,5 Kg (tubete).

APLICAÇÃO:

Explosivo de baixa velocidade, de larga aplicação, cuja fabricação no Brasil remota ao ano de 1808, constituindo-se no embrião da atual IMBEL. Aplica-se principalmente na extração de mármore e granitos e indústrias da caça.

ESPECIFICAÇÕES:

TIPOS (ms)

PARÂMETROS	Granel	Mina	Tubete
Nitrato de Potássio (%)	74 + - 2		
Enxofre (%)	10,4 + - 1,5		
Carvão Vegetal (%)	15,6 + - 1,5		
Retenção Peneira	5 % Máximo n.º 16 (ASTM) / n.º 14 (TYLER) / 1,19 mm (ABNT)	5 % Máximo n.º 03 (ASTM) / 6,35 mm (ABNT)	5 % Máximo n.º 16 (ASTM) / n.º 14 (TYLER) / 1,19 mm (ABNT)
Passagem Peneira	8 % Máximo n.º 60 (ASMT) / n.º 60 (TYLER) / 0,25 mm (ABNT)	8 % Máximo n.º 10 (ASMT) / n.º 09 (TYLER) / 02 mm (ABNT)	8 % Máximo n.º 60 (ASMT) / n.º 60 (TYLER) / 0,25 mm (ABNT)

Prazo de validade: O Produto em embalagem original e devidamente estocado é garantido dentro do prazo de 6 meses.

Estopim Hidráulico



Foto 07 – Estopim Hidráulico, embalagem comercial

APRESENTAÇÃO:

Caixa de Papelão com Carretel plástico de 500 m.

APLICAÇÃO:

O Estopim Hidráulico Belpim é um acessório de alta segurança, utilizado para iniciar espoletas comuns e cargas explosivas sensíveis à chama. O Belpim é flexível, resistente e, por sua impermeabilidade, tem desempenho inalterado em trabalhos com presença de água, desde que suas características originais sejam preservadas.

ESPECIFICAÇÕES:

PARÂMETROS

Massa do núcleo por metro linear	(6,5 + - 1,0) g/m
Tempo de queima à céu aberto	(150 + - 7) seg/m
Tempo de queima submerso	Variação de 20% em relação a céu aberto
Impermeabilidade	16 h/1 atm
Comprimento da chispa	> 30 mm
Encordoamento	Fios de Algodão
Revestimento	Resina Termoplástica Branca

Prazo de validade: O Produto em embalagem original e devidamente estocado é garantido dentro do prazo de 2 anos.

Acendedor



Foto 08 – Acendedor, embalagem individual

TIPO Acendedor Fricção IMBEL

APRESENTAÇÃO:

Os acendedores devem estar contidos em saquitéis plásticos com capacidade para 10. O acondicionamento final é feito em cunhete de madeira com capacidade para 100 saquitéis.

APLICAÇÃO:

O Acendedor de Fricção é um acessório usado para acendimento do estopim.

ESPECIFICAÇÕES:

PARÂMETROS

Comprimento	115 + - mm
Diâmetro	9,5 + - 2 mm
Temperatura de Funcionamento	de - 10°C à + 52°C (+/- 2°C)
Comprimento do Estopim	10 cm
Esforço de Tração de 50g	Estopim não deve soltar da garra

Prazo de validade: O Produto em embalagem original e devidamente estocado é garantido dentro do prazo de 2 anos

Espoleta



Foto 09 – Espoleta comum

TIPOS

Comum n.º 8

APRESENTAÇÃO:

Caixeta de Papelão com 100 peças e Caixa de Papelão com 1000 peças.

APLICAÇÃO:

O Beldeton é o acessório de detonação iniciado por Estopim, utilizado para acionamento de Cordel Detonante ou diretamente nos explosivos.

ESPECIFICAÇÕES:

PARÂMETROS

Diâmetro Externo	44,95 + - 0,25 mm
Diâmetro Externo	6,55 mm máximo
Diâmetro Interno	5,86 mínimo
Altura Livre	25 + - 2 mm
Carga Explosiva	3 mg iniciadores / 5 mg alto explosivo
Brizância (Ensaio de Esopo)	8 mm

Prazo de validade: O produto em embalagem original e devidamente estocado é garantido dentro do prazo de 2 anos.

Cordel Detonante



Foto 10 – Cordel detonante, embalagem comercial.

TIPOS

NP3

NP5

NP10

APRESENTAÇÃO:

Caixa de papelão com Carretel plástico de 1.000m (NP3), 750 m (NP5) 500 m (NP10).

APLICAÇÃO:

O Cordel Detonante é um acessório consagrado no mercado de explosivos graças as suas características de elevada capacidade de transmissão de energia, fácil manuseio, maleabilidade, resistência, impermeabilidade e segurança.

ESPECIFICAÇÕES:

TIPOS

PARÂMETROS

	NP5	NP10
Cargas do Núcleo (pentolite)	5 g / m	10 g / m
Encordoamento	Fios Sintéticos	
Resistência à Tração	1960 N	
Impermeabilidade	72 h à 2 atm	
Revestimento	Resina Termoplástica amarela	
Diâmetro Externo	4,5 mm	5,0 mm
Velocidade Média de Detonação	6600 m / s	7000 m / s

Prazo de validade: O Produto em embalagem original e devidamente estocado é garantido dentro do prazo de 2 anos.

Emulsão Encartuchada



Foto 11 – Alto explosivo, Emulsão encartuchada.

APRESENTAÇÃO:

Emulsão encartuchada em filme de polietileno, que apresenta grande resistência à água e elevada energia de detonação.

PRODUTO CLASSE 1.1D

No ONU: 0241

APLICAÇÃO:

Produto utilizado em minerações a céu aberto e construções civis em geral. Aplicado em furos com diâmetros iguais ou superiores a 2", sendo utilizado como carga de fundo ou carga única em rochas de elevada, média ou baixa resistência. Esse explosivo é sensível à espoleta comum no 8 e ao cordel BELCORD NP 10. Recomenda-se a utilização de booster BELEX de 150 g ou de 250 g para melhorar a liberação de energia.

APRESENTAÇÃO:

O produto é embalado em caixas de papelão impermeabilizado, medindo: 400 mm de comprimento, 300 mm de largura e 255 mm de altura, com peso líquido de 25 kg e peso bruto de 26,4 kg, com tolerância de $\pm 2\%$. Poderá haver uma variação de 1/2", para menos, no comprimento dos cartuchos.

ESPECIFICAÇÕES:

PARÂMETROS	DIMENSÕES		
	2" x 24"	2" 1/4 x 24"	2" 1/2 x 24"
Velocidade de detonação (m/s)	> 4.000	> 4.200	> 4.400
Massa Volumétrica Aparente(g/cm ³)	1,05 a 1,18		
Bloco de Trauzl(cm ³)	> 280.		

Obs.: O ensaio de velocidade de detonação é realizado sem confinamento

Prazo de validade: 6 meses

Reforçadores



Foto 12 – Diferentes tipos de reforçadores

TIPOS

150 - 250 - 350 e 450 g

APRESENTAÇÃO:

Caixa de papelão com 100 peças.

APLICAÇÃO:

Produto destinado a propiciar a iniciação de explosivos de baixa sensibilidade (Anfos, emulsões, pastas, etc.). A sua versátil concepção permite que seja utilizado tanto como Cordel Detonante / Dispositivo / Detonadores não elétricos quanto Espoletas Comuns / Elétricas.

ESPECIFICAÇÕES:

TIPOS

PARÂMETROS	150g	250g	350g	450g
Massa de Carga Explosiva (g)	150 + - 4%	250 + - 4%	350 + - 4%	450 + - 4%
Densidade da Carga Explosiva (g/cm ³)	1,45 à 1,70			
Teor de Trotil na Pentolite (%)	52 + - 2			
Teor de Nitropenta na Pentolite (%)	48 + - 2			
Esmagamento ao Chumbo (%)	25 Mínimo			

Prazo de validade: O produto em embalagem original e devidamente estocado é garantido dentro do prazo de 2 anos

Retardos



Foto 13 – Diferentes tipos de retardos
TIPOS

5 - 10 - 20 - 30 - 40 - 50 e 100 ms

APRESENTAÇÃO:

Caixa de Papelão com 25 peças.

APLICAÇÃO:

Acessório de fundamental emprego para os trabalhos a céu aberto de desmonte e minerações. A sua utilização judiciosa permite escalonar os fogos em tempos determinados durante a detonação. Tem um formato já consagrado pelo mercado em que o corpo plástico protege o dispositivo e permite a melhor fixação do Cordel.

ESPECIFICAÇÕES:

PARÂMETROS	TIPOS (ms)						
	5	10	20	30	40	50	100
Resistência à Água	0,2 atm / 24h						
Resistência à Alta Temperatura	60° C						
Resistência à Baixa Temperatura	- 10° C / 24h						
Cor	Azul Escuro	Verde	Amarillo	Laranja	Azul Claro	Vermelho	Branco
Tempo de Espera	5 +- 1	10 +- 2	20 +- 4	30 +- 6	40 +- 8	50 +- 10	100 +- 20

Prazo de validade: O Produto em embalagem original e devidamente estocado é garantido dentro do prazo de 6 meses.

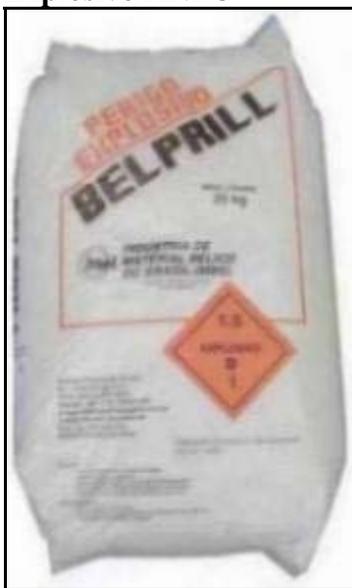
Explosivo ANFO

Foto 14 – Explosivo ANFO

TIPO:

Explosivo pulverulento, derramável.

PRODUTO CLASSE 1.5 D

Nº ONU: 0331

APLICAÇÃO:

Produto utilizado em desmontes a céu aberto, como carga de coluna.

Obtém-se melhor rendimento quando utilizado com o PV 15 N como carga de fundo.

APRESENTAÇÃO:

Saco plástico valvulado com 25,0 kg.

ESPECIFICAÇÕES:

PARÂMETROS	PRODUTO	
	AMBEL PLUS (Carbonitrato)	BELPRILL (Anfo)
Velocidade de detonação (m/s)	> 2.400	> 2.500
Densidade(g/cm ³)	0,70 a 0,80	0,75 a 0,83

Observações:

1. Velocidade de detonação - confinado em cano de ferro de 2".
2. Sensíveis à iniciação com espoleta comum no 8.

Prazo de validade: 6 meses

Para orientar a utilização, manuseio e armazenagem de explosivos temos a Norma Regulamentadora nº 19 (NR – 19 EXPLOSIVOS), que apresentamos em pequeno fragmento.

19.1 Depósito, Manuseio e Armazenagem de Explosivos.

19.1.1 Explosivos são substâncias capazes de rapidamente se transformarem em gases, produzindo calor intenso e pressões elevadas, se subdividindo em:

- a) Explosivos iniciadores: aqueles que são empregados para excitação de cargas explosivas, sensíveis ao atrito, calor e choque. Sob efeito do calor explodem sem se incendiar;*
- b) Explosivos reforçadores: os que servem como intermediário entre o iniciador e a carga explosiva propriamente dita;*
- c) Explosivos de rupturas: são os chamados altos explosivos, geralmente tóxicos;*
- d) Pólvoras: que são utilizadas para propulsão ou projeção.*

Quanto a construção dos depósitos para armazenagem de explosivos estes devem ser construídos em terreno firme, seco, a salvo de inundações e não sujeito à mudança freqüente de temperatura ou ventos fortes. Deve ainda estar afastado de centros povoados, rodovias, ferrovias, habitações, oleodutos, linhas de eletricidade, água ou gás.

Para disciplinar a armazenagem de explosivos a NR – 19 apresenta as tabelas (tabela A; tabela B; tabela C) assegurar:

DISTANCIAMENTO PARA ARMAZENAGEM DE EXPLOSIVOS.

TABELA A

ARMAZENAGEM DE PÓLVORAS QUÍMICAS E ARTIFÍCIOS PIROTÉCNICOS

QUANTIDADE EM QUILOS (capacidade do armazém)	DISTÂNCIAS MÍNIMAS, EM METROS, a			
	EDIFÍCIOS HABITADOS	FERROVIAS	RODOVIAS	DEPÓSITOS
4.500	45	45	45	30
45.000	90	90	90	60
90.000	110	110	110	75
225.000(*)	180	180	180	120

*Quantidade máxima que não pode ser ultrapassada em caso algum.

TABELA B

ARMAZENAGEM DE EXPLOSIVOS INICIADORES

QUANTIDADE EM QUILOS (capacidade do armazém)	DISTÂNCIAS MÍNIMAS, EM METROS, a			
	EDIFÍCIOS HABITADOS	FERROVIAS	RODOVIAS	DEPÓSITOS
20	75	45	22	20
200	220	135	70	45
900	300	180	95	90
2.200	370	220	110	90
4.500	460	280	140	90
6.800	500	300	150	90
9.000(*)	530	320	160	90

*Quantidade máxima que não pode ser ultrapassada em caso algum.

TABELA C

ARMAZENAGEM DE PÓLVORA MECÂNICA (PÓLVORA NEGRA E “CHOCOLATE”)

QUANTIDADE EM QUILOS (capacidade do armazém)	DISTÂNCIAS MÍNIMAS, EM METROS, a			
	EDIFÍCIOS HABITADOS	FERROVIAS	RODOVIAS	DEPÓSITOS
23	45	30	15	20
45	75	45	30	25
90	110	70	35	30
135	160	100	45	35
180	200	120	60	40
225	220	130	70	43
270	250	150	75	45
300	265	160	80	48
360	280	170	85	50
400	300	180	92	52
450	310	190	95	55
680	345	210	105	65
900	365	220	110	70
1.300	405	240	120	80
1.800	435	260	130	85
2.200	460	280	140	90
2.700	480	290	145	90
3.100	490	300	150	90
3.600	510	305	153	90
4.000	520	310	155	90
4.500	530	320	158	90
6.800	570	340	170	90
9.000	620	370	185	90
11.300	660	400	195	90
13.600	700	420	210	90
18.100	780	470	230	90
22.600	860	520	260	90
34.000	1.000	610	305	125
45.300	1.100	670	335	125
68.000	1.150	700	350	250
90.700	1.250	750	375	250
113.300(*)	1.350	790	400	250

*Quantidade máxima que não pode ser ultrapassada em caso algum.

Quanto às atividades que utilizem explosivos também a Norma Regulamentadora nº 16 (NR-16 ATIVIDADES E OPERAÇÕES PERIGOSAS) apresenta algumas determinações que influem na atividade de extração mineral.

Apresentamos abaixo um fragmento da NR 16.

16.1 São consideradas atividades e operações perigosas as constantes dos Anexos números 1 e 2 desta Norma Regulamentadora(NR).

16.2 O exercício de trabalho em condições de periculosidade assegura ao trabalhador a percepção de adicional de 30% (trinta por cento), incidente sobre o salário, sem os acréscimos resultantes de gratificações, prêmios ou participações nos lucros da empresa.

16.8 Todas as áreas de risco previstas nesta NR devem ser delimitadas, sob responsabilidade do empregador.

ANEXO 1

ATIVIDADES E OPERAÇÕES PERIGOSAS COM EXPLOSIVOS

1. São consideradas atividades ou operações perigosas as enumeradas no Quadro nº 1, seguinte:

ATIVIDADE	ADICIONAL DE 30%
a) no armazenamento de explosivos	Todos os trabalhadores nessa atividade ou que permaneçam na área de risco
b)no transporte de explosivos	Todos os trabalhadores nessa atividade
eração de escorva de cartuchos de explosivos	Todos os trabalhadores nessa atividade
) na operação de carregamento de explosivos	Todos os trabalhadores nessa atividade
e) na detonação.	Todos os trabalhadores nessa atividade
f) na verificação de detonações falhas	Todos os trabalhadores nessa atividade
eima e destruição de explosivos deteriorados	Todos os trabalhadores nessa atividade
f) nas operações de manuseio de explosivos	Todos os trabalhadores nessa atividade

2. O trabalhado, cuja atividade que esteja enquadrada nas hipóteses acima discriminadas, faz jus ao adicional de 30% (trinta por cento) sobre o salário, sem os acréscimos resultantes de gratificações, prêmios ou participações nos lucros da empresa, sendo-lhe ressalvado o direito de opção por adicional de insalubridade eventualmente devido.

3. São consideradas áreas de risco:

a) nos locais de armazenagem de pólvoras químicas, artificios pirotécnicos e produtos químicos usados na fabricação de misturas explosivas ou de fogos de artifício, a área compreendida no Quadro n° 2.

QUADRO N° 2

QUANTIDADE ARMAZENADA EM QUILOS	FAIXA DE TERRENO ATÉ A DISTÂNCIA MÁXIMA DE
<i>Até 4500</i>	<i>45 metros</i>
<i>Mais de 4500 até 45000</i>	<i>90 metros</i>
<i>Mais de 45000 até 90000</i>	<i>110 metros</i>
<i>Mais de 90000 até 225000*</i>	<i>180 metros</i>

* Quantidade máxima que não pode ser ultrapassada

b) Nos locais de armazenagem de explosivos iniciadores, a área compreendida no Quadro n° 3.

QUANTIDADE ARMAZENADA EM QUILOS	FAIXA DE TERRENO ATÉ A DISTÂNCIA MÁXIMA DE
<i>Até 20</i>	<i>75 metros</i>
<i>Mais de 20 até 200</i>	<i>220 metros</i>
<i>Mais de 200 até 900</i>	<i>300 metros</i>
<i>Mais de 900 até 2200</i>	<i>370 metros</i>
<i>Mais de 2200 até 4500</i>	<i>460 metros</i>
<i>Mais de 4500 até 6800</i>	<i>500 metros</i>
<i>Mais de 6800 até 9000*</i>	<i>530 metros</i>

* Quantidade máxima que não pode ser ultrapassada

c) Nos locais de armazenagem de explosivos de ruptura e pólvoras mecânicas (pólvora negra e pólvora chocolate ou parda), área de operação compreendida no Quadro n° 4.

QUADRO N° 4

QUANTIDADE ARMAZENADA EM QUILOS		FAIXA DE TERRENO ATÉ A DISTÂNCIA MÁXIMA DE
	<i>Até 23</i>	<i>45 metros</i>
<i>Mais de 23</i>	<i>Até 45</i>	<i>75 metros</i>
<i>Mais de 45</i>	<i>Até 90</i>	<i>110 metros</i>
<i>Mais de 90</i>	<i>Até 135</i>	<i>160 metros</i>
<i>Mais de 135</i>	<i>Até 180</i>	<i>200 metros</i>
<i>Mais de 180</i>	<i>Até 225</i>	<i>220 metros</i>
<i>Mais de 225</i>	<i>Até 270</i>	<i>250 metros</i>
<i>Mais de 270</i>	<i>Até 300</i>	<i>265 metros</i>
<i>Mais de 300</i>	<i>Até 360</i>	<i>280 metros</i>
<i>Mais de 360</i>	<i>Até 400</i>	<i>300 metros</i>
<i>Mais de 400</i>	<i>Até 450</i>	<i>310 metros</i>
<i>Mais de 450</i>	<i>Até 680</i>	<i>345 metros</i>
<i>Mais de 680</i>	<i>Até 900</i>	<i>365 metros</i>
<i>Mais de 900</i>	<i>Até 1300</i>	<i>405 metros</i>
<i>Mais de 1300</i>	<i>Até 1800</i>	<i>435 metros</i>
<i>Mais de 1800</i>	<i>Até 2200</i>	<i>460 metros</i>
<i>Mais de 2200</i>	<i>Até 2700</i>	<i>490 metros</i>
<i>Mais de 2700</i>	<i>Até 3100</i>	<i>490 metros</i>
<i>Mais de 3100</i>	<i>Até 3600</i>	<i>510 metros</i>
<i>Mais de 3600</i>	<i>Até 4000</i>	<i>520 metros</i>
<i>Mais de 4000</i>	<i>Até 4500</i>	<i>530 metros</i>
<i>Mais de 4500</i>	<i>Até 6800</i>	<i>570 metros</i>
<i>Mais de 6800</i>	<i>Até 9000</i>	<i>620 metros</i>
<i>Mais de 9000</i>	<i>Até 11300</i>	<i>660 metros</i>
<i>Mais de 11300</i>	<i>Até 13600</i>	<i>700 metros</i>
<i>Mais de 13000</i>	<i>Até 18100</i>	<i>780 metros</i>
<i>Mais de 18100</i>	<i>Até 22600</i>	<i>860 metros</i>
<i>Mais de 22600</i>	<i>Até 34000</i>	<i>1000 metros</i>
<i>Mais de 34000</i>	<i>Até 45300</i>	<i>1100 metros</i>
<i>Mais de 45300</i>	<i>Até 68000</i>	<i>1150 metros</i>
<i>Mais de 68000</i>	<i>Até 90700</i>	<i>1250 metros</i>
<i>Mais de 90700</i>	<i>Até 113300</i>	<i>1350 metros</i>

d) Quando se tratar de depósitos barricados ou entrincheirados, para o efeito da delimitação de área de risco, as distâncias previstas no Quadro nº 4 podem ser reduzidas à metade