

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIENCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MINERAL

Saulo Dantas de França

CONTROLE AMBIENTAL ATRAVÉS DO MONITORAMENTO SISMOGRÁFICO:
CASO DA MINERAÇÃO DE CALCÁRIO EM JOÃO PESSOA-PB.

Recife
2017

SAULO DANTAS DE FRANÇA

**Controle Ambiental Através do Monitoramento Sismográfico: Caso da Mineração
de Calcário em João Pessoa-PB.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral do Centro de Tecnologia em Geociência da Universidade Federal de Pernambuco para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mineral.

Área de concentração: Minerais Industriais

Orientador: Prof. Dr. Carlos Magno Muniz e Silva

RECIFE

2017

Catálogo na fonte

Bibliotecária Maria Luiza de Moura Ferreira, CRB-4 / 1469

F814c

França, Saulo Dantas de.

Controle ambiental através do monitoramento sismográfico: caso da mineração de calcário em João Pessoa-PB. / Saulo Dantas de França. - 2017.

105 folhas, il., tabs., abr.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Magno Muniz e Silva.

Dissertação(Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, 2017.

Inclui Referências e Anexos.

1. Engenharia Mineral. 2. Desmonte. 3. Vibração. 4. Frequência. 5. Retardo. 6. Velocidade de partícula. I. Silva, Carlos Magno Muniz e (Orientador). II. Título.

UFPE

622.35 CDD (22. ed.)

BCTG/2017-376



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MINERAL
PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA
DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE

**“CONTROLE AMBIENTAL ATRAVÉS DO MONITORAMENTO SISMOGRÁFICO:
CASO DA MINERAÇÃO DE CALCÁRIO EM JOÃO PESSOA -PB”**
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Minerais Industriais

A comissão examinadora composta pelos professores abaixo, sob a presidência
do **Prof. CARLOS MAGNO MUNIZ DA SILVA**. Considera o aluno
SAULO DANTAS DE FRANÇA, APROVADO.

Recife, 25 de Maio de 2017.

Prof. Dr. CARLOS MAGNO MUNIZ E SILVA
- Orientador – (UFPE) -

Prof. Dr. MÁRCIO LUIZ SIQUEIRA CAMPOS BARROS
- Examinador Interno – (UFPE)

Prof. Dr. VALDIR COSTA E SILVA
- Examinador Externo – (UFOP)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a minha mãe Cristina M. B. de França, que foi minha grande inspiração, pela sua dedicação, por ter acreditado em mim, pelo suporte e estrutura, fazendo com que conseguisse a realização de todas as minhas conquistas. Posteriormente; ao meu irmão João Paulo B. D. de França, que me ajudou bastante, incentivando e me dando apoio psicológico, ao meu pai Paulo G. Dantas, aos meus tios nos quais são “pais” por consideração Cleto B. de França e João Bosco B. de França e toda a minha família.

Aos meus amigos que sempre estiveram ao meu lado; na alegria e na tristeza, acreditaram em mim, me ajudando em tudo que preciso e me deram bastante incentivo e apoio e aos colegas de curso e faculdade.

Meus singelos agradecimentos ao meu mestre e orientador; Prof. Dr. Carlos Magno M. e Silva; que me proporcionou conhecimentos, não só teórico, como também de vivência, me ajudando bastante em toda minha vida, ficando assim uma eterna gratidão por toda sua dedicação para comigo. Posteriormente à Universidade Federal de Pernambuco, principalmente a todos que compõem o Departamento de Engenharia de Minas e a Pós-Graduação em Engenharia Mineral, professores e aos funcionários que fazem parte desses departamentos.

À empresa InterCement-PB, pela hospitalidade e apoio durante todo o processo de coleta de dados e acompanhamento das sismografias.

" O lápis, o esquadro, o papel; o desenho,
o projeto, o número: o engenheiro pensa o
mundo justo, mundo que nenhum véu
encobre.."
(João Cabral de Melo Neto)

RESUMO

O desmonte de rocha com a utilização de explosivos, tanto em operações minerárias quanto em obras civis, geram ondas e vibrações que se propagam em todas as direções, através do maciço ou solo, podendo ocorrer de forma bastante prejudicial às edificações e estruturas circunvizinhas. Por este motivo torna-se necessário o monitoramento das atividades de desmonte com o uso de explosivos, utilizando os registros relativos ao comportamento das detonações no que diz respeito à evolução das frequências das ondas e vibrações produzidas considerando a distância e a geologia local, assim como em relação a lei de atenuação do maciço e sua correlação com a evolução da velocidade de partícula em função da distância escalonada. Dessa forma, através da análise dos referidos registros e do estudo da lei de atenuação, em comparação com o que está previsto na norma vigente, a *NBR 9653-2005: Guia para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações em áreas urbanas - Procedimento*, é possível definir a aplicação das correções necessárias nas futuras detonações e com isso obter-se os resultados almejados tanto no que diz respeito ao controle dos efeitos sobre o meio ambiente quanto com relação a qualidade do desmonte .

Palavras-chave: Desmonte. Vibração. Frequência. Retardo. Velocidade de partícula.

ABSTRACT

The use of explosives in rock blasting, both in mining operations and in civil works, generate waves and vibrations that spread in all directions, through rock massif or soil and can occur in a very harmful way to surrounding buildings and structures. For this reason it is necessary to monitor the dismantling activities with explosives, using the records related to the behavior of the blasts, regarding the evolution of the waves frequencies and vibrations produced considering the distance and the local geology, as well as In relation to the legislation of massif attenuation and its correlation with the evolution of the particle velocity depending on the stepped distance. Thus, through the analysis of these records and study of the mitigation law, in comparison with what is provided for in current regulations, the *NBR 9653-2005 - Guide for the evaluation of effects of the use of explosives in minning and quarrying near urban areas - Proceedings*, it is possible to define the application of the necessary corrections in the future detonations and with this, obtain the desired results both regard to the control of the effects on the environment and the quality of the blasting.

Keywords: Blasting. Vibration. Frequency. Delay. Particle velocity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ilustração do Processo de Detonação.....	20
Figura 2 - Mecanismos de ruptura da rocha.	23
Figura 3 - Movimento da partícula dentro da onda P.	27
Figura 4 - Movimento da partícula dentro da onda S.	27
Figura 5 - Movimento das ondas love e rayleigh	28
Figura 6 - Movimento das partículas nas diferentes ondas.	30
Figura 7 - Velocidade Máxima de Partícula x Tempo de Retardo.	32
Figura 8 - Oscilação de uma partícula.	34
Figura 9 - Velocidade da partícula X Raiz Quadrada da Distância Escalonada; típica dispersão de dados.	37
Figura 10 - Variáveis da equação de Holmberg e Persson.	38
Figura 11 - Sismograma.	40
Figura 12 - Registros de vibração.	41
Figura 13 - Sismograma.	44
Figura 14 - Limites de velocidade, presentes na norma, medidos nas fundações.	48
Figura 15 - Limites de velocidade de partícula presentes na norma UNE 22.381-1993	49
Figura 16 - Gráfico da norma UNE 22-381-1993, que permite conhecer o tipo de estudo requerido.	51
Figura 17 - Limites de velocidade de partícula e sua respectiva frequência, de acordo com a RI 8507-1980.	53
Figura 18 - Limites da Norma NBR 9653:2005.	54
Figura 19 - Estratificação esquematizada da bacia Pernambuco-Paraíba.	55
Figura 20 - Aspectos dos calcários da Intercement.	57
Figura 21 - Segmento arenoso com predominancia de cor vermelha.	57
Figura 22 - Localização da área de estudo, visão do nordeste.	59
Figura 23 - Imagem de satélite da área da empresa.	59
Figura 24 - Sismógrafo Geosonic SSU 3000 EZ.	61
Figura 25 - GPS Garmin 650.	61
Figura 26 - Localização dos pontos monitorados, no dia 07/05/2015, a partir da Bancada de Detonação: Ponto 1 (Condomínio), Ponto 2 (Posto Setta), Ponto 3 (Res. Sra. Socorro) e Ponto 4 (Residência Sr. Jacinto).	63

Figura 27 - Localização dos pontos monitorados, no dia 11/06/2015, a partir da Bancada de Detonação: Ponto 1 (Condomínio), Ponto 2 (Posto Setta), Ponto 3 (Res. Sra. Socorro) e Ponto 4 (Depósito Sr. José).	63
Figura 28 - Ponto 1 (Condomínio), Data 07/05.....	64
Figura 29 - Ponto 2 (Posto Setta), Data: 07/05.....	64
Figura 30 - Ponto 3 (Res. Sra. Socorro), Data: 07/05.....	64
Figura 31 - Ponto 4 (Residência Sr. Jacinto), Data: 07/05.	64
Figura 32 - Ponto 1 (Condomínio), Data: 11/06.....	64
Figura 33 - Ponto 2 (Posto Setta), Data: 11/06.....	64
Figura 34 - Ponto 3 (Res. Sra. Socorro), Data: 11/06.....	65
Figura 35 - Ponto 4 (Depósito Sr. José), Data: 11/06.....	65
Figura 36 - Iniciador eletrônico.	66
Figura 37 - Detonador eletrônico Dinatron Iriun.	67
Figura 38 - Sismograma correspondente ao Ponto 01 (Condomínio).	69
Figura 39 - Gráfico de velocidade de vibração de partícula de pico em função da distância	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fatores de influência no controle de vibrações.	30
Tabela 2 - Intervalo de registro nos sismogramas.	46
Tabela 3 - Velocidades máximas de partícula, impostas pela Norma DIN 4150.....	48
Tabela 4 - Velocidade, frequência e o tipo de estrutura (UNE 22-381-93).....	50
Tabela 5 - Velocidade máxima de partícula proposta pela norma.	52
Tabela 6: Limites da Norma NBR 9653:2005.....	54
Tabela 7 - Resumo dos monitoramentos.	62
Tabela 8 - Velocidade de cada componente e suas respectivas resultantes.....	68
Tabela 9 - Frequência de cada componente e seus pontos.	70
Tabela 10 - Cálculo da distância escalonada.	71
Tabela 11 - Dados utilizados para a construção do modelo da lei de atenuação.....	71
Tabela 12 - Análise de variância.	73
Tabela 13 - Tabela com a formulação para os tempos de retardo.	75

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira
VOD	Velocidade de Detonação (Velocity of Detonation)
P_d	Pressão da Detonação
ρ	Densidade do Explosivo
U	Velocidade da partícula
x	Deslocamento
A	Amplitude
ω	Frequência angular do movimento
t	tempo, em segundos;
ϕ	Fase inicial e indica o estado de oscilação ou vibração
A	Amplitude máxima da partícula (m);
K	Constante característica da rocha
Q	Carga máxima por espera (kg);
D	Distância da detonação até o ponto de registro (m).
v	velocidade de partícula;
K	Constantes empíricas
α	Constantes empíricas
β	Constantes empíricas
γ	Razão linear de carregamento
H	Comprimento do furo
R_0	Distância linear entre a carga e ponto de referência
V	Velocidade em mm/s;
F	frequência principal em Hz;
d	deslocamento indicado pela tabela.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Generalidades	14
1.2	Justificativas e Motivação	16
1.3	Objetivos: Geral e Específicos	16
1.4	Metodologia	17
1.5	Estrutura da Dissertação	19
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1	O Princípio do Desmonte de Rocha	20
2.2	Princípios da Vibração na Detonação	24
2.3	Tipos de Ondas	25
2.4	Tempos dos retardos e suas sequências de iniciação	30
2.5	Implicações Ambientais: Impactos e Fenômenos Incidentes	33
2.6	Lei de Atenuação	35
2.7	O Monitoramento Sismográfico: Procedimentos Técnicos	40
2.8	Normalizações: nacionais e internacionais	46
2.8.1	<i>Normas da Comunidade Europeia</i>	47
2.8.2	<i>Normas Americanas</i>	52
2.9	Considerações Geológicas	54
3	A MINERAÇÃO DE CALCÁRIO EM JOÃO PESSOA-PB: ESTUDO DE CASO	59
3.1	Descrição do Empreendimento	59
3.2	Monitoramento Ambiental	61
4	ANÁLISES, INTERPRETAÇÕES E DISCUSSÕES DE DADOS	66
4.1	A Tecnologia de Desmonte Adotada: Sistema de Iniciação	66
4.2	Parâmetros e/ou Variáveis de Controle	68
4.3	Procedimentos de Controle Ambiental	73
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES	76
5.1	Considerações Finais	76
5.2	Sugestões para Trabalhos Futuros	77
	REFERÊNCIAS	78
	ANEXO A - PROCESSO MINERAL DA EMPRESA JUNTO AO DNPM	82

ANEXO B - PLANO DE FOGO DO DIA 07 DE MAIO DE 2015	84
ANEXO C - PLANO DE FOGO DO DIA 11 DE JUNHO DE 2015	86
ANEXO D - SISMOGRAMA: 07/05/2017 – PONTO 1 (CONDOMÍNIO)	88
ANEXO E - SISMOGRAMA: 07/05/2017 – PONTO 2 (POSTO SETTA).	89
ANEXO F - SISMOGRAMA: 07/05/2017 – PONTO 3 (RES. SRA. SOCORRO).....	90
ANEXO G - SISMOGRAMA: 07/05/2017 – PONTO 4 (RES. SR. JACINTO)	91
ANEXO H - SISMOGRAMA: 11/05/2017 – PONTO 1 (CONDOMÍNIO)	92
ANEXO I - SISMOGRAMA: 11/05/2017 – PONTO 2 (POSTO SETTA)..	93
ANEXO J - SISMOGRAMA: 11/05/2017 – PONTO 3 (RES. SRA SOCORRO).....	94
ANEXO L - SISMOGRAMA: 11/05/2017 – PONTO 4 (DEPÓSITO DO SR. JOSÉ)	95
ANEXO M - ABNT NBR 9653-2005	96

1 INTRODUÇÃO

1.1 Generalidades

As empresas de mineração brasileiras e mundiais, em grande maioria, utilizam explosivos civis nas operações de escavação de rocha. Muitas dessas operações ocorrem em áreas próximas a povoados rurais, e até de cidades circunvizinhas. Com isso, acarreta incômodos e protestos de moradores no tocante à danos estruturais, riscos de segurança física. Ou seja, o primeiro como danos estruturais em suas moradias e o segundo como o poeira e/ou ruído. Esses danos e riscos, causam grande impacto à imagem das empresas operantes, neste caso, a mineração.

Por muitos anos, a seriedade e comprometimento de várias empresas, buscam tentativas de aperfeiçoamento para tal problema. Pois, em muitos países tais adversidades operacionais dessas empresas, se enxerga como algo depredador e prejudicial para o meio.

Estes problemas socioambientais, por muitas vezes por parte das empresas, se dá o fato de uma falta de estudos prévios, uma boa base de conhecimento técnico e um uso mais rigoroso das normativas. Este último desenvolvido por diferentes países, onde deve-se ser seguido de uma forma bastante severa, muitas vezes com diferenciações de acordo com sua localidade.

Por apresentar um custo baixo, bem como uma boa produtividade na escavação do maciço rochoso, o desmonte de rocha por explosivos é bastante utilizado nas obras de engenharia. Porém, um dos principais problemas de sua utilização, como consequência direta, é a produção e geração de vibrações em seu meio circundante, bem como ruído (ondas de choque aérea), poeira e ultralancamento dos fragmentos; gerando problemas para os animais e seres humanos que habitam nas proximidades dessas escavações.

Por outro lado, a energia dos explosivos, desde então, é utilizada para diferentes tipos de trabalho, como por exemplo: em uma mineração seu objetivo principal é a fragmentação da rocha. Que de acordo com DIAS (2012), também utilizado na indústria da soldagem para unir dois materiais dissimilares, suas finalidades são diversas. No entanto, mediante a sua eficiência na detonação em si, observa-se, que a energia liberada não é totalmente utilizada em seu trabalho, com isso, parte dela é liberada em forma de vibração e sopro de ar (*airblast*).

Alguns pesquisadores da área, decorrente de inúmeros métodos de investigação com o intuito de simular os prováveis níveis de vibrações decorrentes das detonações. Desde 1930, a USBM (US Bureau of Mines); principal agência de realização de pesquisas científicas dos Estados Unidos, vêm investindo bastante em vários aspectos relacionado ao tema. Todos esses estudos são realizados com o principal objetivo seja evitar os níveis de vibrações de certas detonações excedam os limites pré-estabelecidos. Sendo assim, com a finalidade de evitar maiores problemas, principalmente os socioambientais, que por muitas vezes além de causarem desconforto na população circunvizinha e que podem causar, principalmente, falha nas estruturas (casas, apartamentos, construções etc.).

Para a criação do modelo preditivo de análise e medição de vibrações, se realizaram alguns ensaios com auxílio de sismógrafos alocados em zonas próximas à mineração em estudo. Neste caso de estudo, empreendimento localizado no bairro da Ilha do Bispo, na cidade de João Pessoa, capital da Paraíba, Brasil; que utiliza desmontes mecânico e com auxílio de explosivos.

Existem vários métodos que são utilizados para a análise da predição e uma possível amenização das vibrações causadas, no entanto, presente trabalho adotará de um único modelo, dado que cada um se diferencia de qualquer outro devido as características intrínsecas do terreno e também a eficiência do explosivo, este último acaba que não sendo tão mensurado quantitativamente, outro caso se dá a locação dos sismógrafos juntos, conseqüentemente a superfície que o mesmo é instalado. Estes detalhes apresentam uma grande diferença, o fato se dá a utilização, nos cálculos, de constantes preestabelecidas, teoricamente, acarretaria em informações pouco confiáveis, devido à distintas características do meio.

No processo de detonação se baseia na liberação de energia do explosivo, causando assim a fragmentação da rocha circundante. Essa liberação de energia gera também uma série de ondas que viajam pelo maciço rochoso e uma onda de choque que se desloca pelo ar. Durante esse processo, as ondas movem as partículas do meio à uma velocidade, deslocamento e aceleração que podem ser registrados por dispositivos destinados a este fim. Esses registros apresentam três características: a amplitude, frequência e a duração (tempo). Amplitude depende da quantidade de explosivo detonado e da distância do ponto de registro, a frequência depende do meio e do deslocamento que este percorre e a duração depende da quantidade de explosivo detonado em um determinado tempo; este também de seu somatório (IRIARTE e ALBERTO, 2010).

O projeto se deu o fato de um estudo de impacto ambiental causados pelas operações minerárias, identificando os possíveis problemáticos junto as moradias existentes no entorno, bem como uma breve análise estrutural das residências com maiores possíveis ameaças de danos causadas pelas detonações. Com isso, poderá se determinar uma lei de atenuação, com os resultados dos dados obtidos de algumas detonações e assim fazer com quem tenham-se menos problemas.

1.2 Justificativas e Motivação

O processo de desmonte de rochas, com a utilização de explosivos, é uma atividade que gera vibrações no entorno de seu processo, estas podem causar sérias complicações. O potencial de efeito prejudicial depende de diversos fatores, como: amplitude, frequência, duração, quantidade de ocorrências, etc. e as propriedades de comportamento dinâmico existente do próprio sistema (frequência e ressonância). Erroneamente, a engenharia de minas é uma profissão considerada como “prática” por alguns desinformados, que por muitas vezes são pressionados com questões de investimentos na área preditiva, fazendo com que não há muitas vezes um controle mais adequado dos possíveis efeitos.

A criação de normas, nos quais, muitas deles são elaboradas em outros países, com condições ambientais diferentes, e até mesmo questões estruturais de edificações, que por falta de um investimento local, são usadas no Brasil; essa aplicação local, requer, então, como primeiro passo, um processo de análise dessas normativas, para que haja uma melhor adaptação e viabilidade de seu uso. No caso, essas normas não se adequam, em muitos casos, para os tipos de construções encontradas na região.

Um prévio estudo do tipo de estrutura, localizado na região, dos quais são mais “fracos” e problemáticos; junto com uma análise dos desmontes, geram uma motivação para muitos engenheiros, devido à extinção do problema junto à comunidade local e também uma melhoria não só da empresa e também da mineração em si.

1.3 Objetivos: Geral e Específicos

O objetivo principal deste presente estudo é poder desenvolver mediante à utilização de diferentes ferramentas, um modelo preditivo que possa ser utilizado como um guia para futuras detonações da mineração em questão. No entanto, para alcançar certos objetivos, é importante mencionar algumas metas “secundárias”, os quais serão fundamentais para alcançar os resultados esperados. Estes suplementares, são:

- Medição da velocidade de pico da partícula e a frequência das vibrações no terreno, geradas pela detonação;
- Comparações dos valores obtidos dos ensaios com aqueles que são os resultados de equações puramente teóricos;
- O projeto de um gráfico que representa as áreas de riscos e a carga máxima por espera permissível na mineração modelo, para que a presente vibração não exceda os limites estabelecidos, neste caso, pela norma ABNT NBR 9653:2005.

1.4 Metodologia

A primeira parte a ser desenvolvimento dentro do trabalho metodológico, é a pesquisa e levantamento da bibliografia, que abrange vários aspectos, dentre eles, o recolhimento de informações relativas ao tema de controle de vibrações produzidas pelas detonações em minerações ou obras civis, análises semelhantes com o tema abordado, trabalhos prévios tanto nacionais ou internacionais relacionados, análise e a seleção do tipo de norma que regula os aspectos referentes ao monitoramento e análise de vibrações associados à atividade que envolvam o uso de explosivos.

Conforme escrito no parágrafo anterior, é indispensável para o desenvolvimento da dissertação é a referência e conhecimento de normas que regulam todos os aspectos referentes ao controle de vibrações em áreas urbanas, e principalmente as normas usadas no âmbito nacional.

Devido que o trabalho de dissertação englobar uma parte de aquisição de dados e uma parte de procedimentos, é conveniente separar a metodologia de trabalho em tópicos. A primeira parte para este segmento é fazer uma breve descrição das atividades realizadas dentro do que é a aquisição de dados, variáveis e fatores que podem influenciar, junto ao desmonte de rochas, a vibração. Uma segunda é enumerar e explicar como será a manipulação (coleta) dos dados para seu processamento e análise, que neste caso necessita de um auxílio de um software, este último é o AnalysisNET, da própria Geosonic.

Os equipamentos utilizados na obtenção de dados sismográficos analisados neste trabalho, pertencentes ao Laboratório de Controle Ambiental – LACAM , foram:

- 04 (quatro) sismógrafos de engenharia modelo SSU 3000 EZ, fabricante Geosonic Inc.,;
- 01 GPS, modelo Garmin 650, para possíveis marcações de pontos e determinação da distância entre o mesmo e a detonação em si;

- Computador para requisição dos dados junto aos sismógrafos.

O trabalho tem como base as recomendações propostas pela NRB 9653:2005 – *Guia para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações em áreas urbanas*. Estas recomendações práticas, auxiliam como um guia geral, mas por outro lado as vezes não englobam todos os casos que diferentes lugares e condições podem proporcionar. Por isso necessita de um conhecimento técnico do operador em avaliar tais condições e obter uma boa resposta entre a instrumentação e a escolha do determinado lugar de locação do equipamento. No qual o objetivo é alcançar todas as especificações contidas na norma (9653), realizando assim as medições de forma mais confiáveis e com menos erros possíveis.

Para a locação do equipamento, são tomadas as seguintes medidas:

- Pré-estabelecer, com auxílio de *software*, onde se pode demarcar uma possível locação do mesmo, junto às estruturas mais críticas ou comunidade local que possam sofrer os impactos das detonações;
- Localizar com auxílio do GPS ou *software* específico, as coordenadas dos pontos nos quais serão locados os equipamentos e o desmonte em si, obtendo-se as distâncias entre os mesmos;
- Ao chegar no determinado lugar, levantar as coordenadas, registrar as condições do local do desmonte e fotografar os pontos onde estão alocados os equipamentos;
- Programar os sismógrafos com todos os dados decorrentes da detonação e possíveis anotações;
- Após a detonação, recolher todos os equipamentos, tomando todas as medidas de segurança cabíveis e ambientais assim com o auxílio de um computador repassa-los para os sismogramas;
- Após a obtenção dos sismogramas, com o auxílio da norma (NBR 9653:2005); verificar os níveis de picos e relatar de forma teórica as possíveis não conformidades.

Uma vez concluída essa última etapa de levantamento de dados e com o auxílio de um computador. Procederá então as seguintes fases correspondente a manipulação e utilização dos dados para o processamento e análise. Para isso é imprescindível transferir todos os registros dos sismógrafos para o computador, com o auxílio do aplicativo AnalysisNET, este desenvolvido pela própria Geosonic fabricante dos sismógrafos.

A partir de uma base de dados com todo cada evento registrado durante a detonação. Os principais dados obtidos e carregados são: as resultantes e seus tempos de

cada pico, velocidade registrada de cada componente (transversal, longitudinal e vertical), também são gravadas as frequências e distância escalonar de cada sismógrafo.

Com essas informações, são feitas uma análise do plano de fogo, a formulação da lei de atenuação e todas as variáveis que possam ser ajustadas para futuras detonações e assim fazer com que a mesma fique corrigida e assegurada junto a norma vigente e as questões ambientais.

1.5 Estrutura da Dissertação

O presente estudo apresenta um escopo com cinco capítulos, contendo subitens.

O capítulo 1, trata da parte introdutória da dissertação, o que se propõe discutir, uma visão geral sobre o tema abordado, tendo um enfoque nos objetivos e as metodologias utilizadas.

O capítulo 2, apresenta a revisão bibliográfica, no qual são apresentados mais detalhadamente os tópicos sobre o desmonte de rocha utilizando explosivos e seus possíveis impactos ambientais.

No capítulo 03, trata dos aspectos da empresa no qual foi feita o estudo, junto com os procedimentos usados para a sismografia.

O capítulo 04, apresenta a elaboração do modelo da lei de atenuação com base nos dados coletados em campo e possíveis correções para os ajustes de frequência, ocasionados pela desmonte de rocha.

Por último, o capítulo 05 compõe a conclusão da dissertação e sugestões para futuros trabalhos, junto a empresa para a melhoria das operações minerárias de desmonte de rocha.

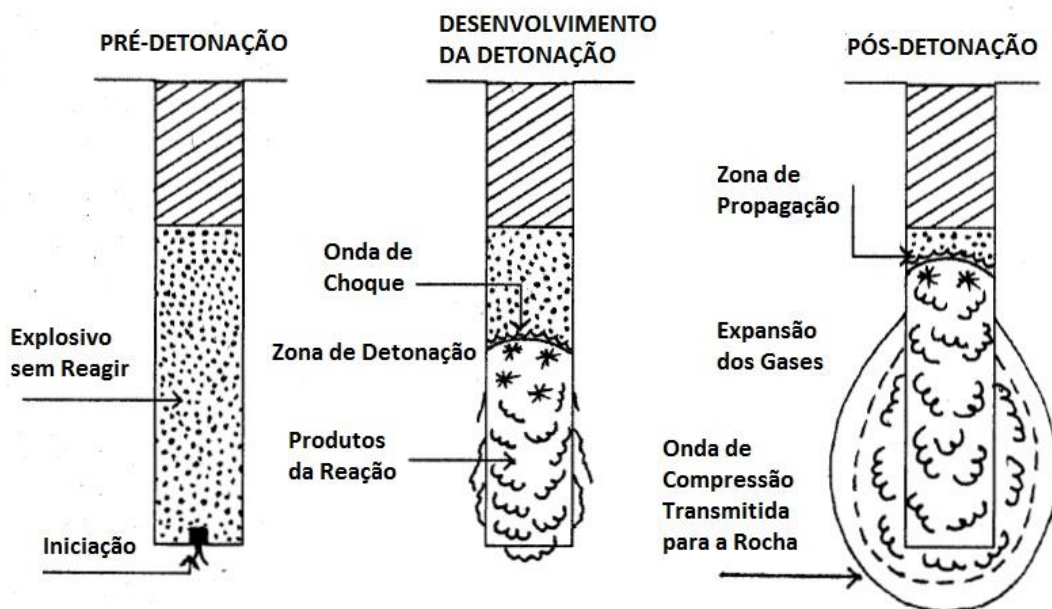
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 O Princípio do Desmonte de Rocha

A tecnologia de desmonte de rochas convencional, basicamente, consiste em detonar uma carga explosiva confinada dentro de um furo, iniciada adequadamente. E cuja reação termodinâmica resulta na produção de uma grande quantidade de gases em alta temperatura e pressão em um curto espaço de tempo, propagando ao maciço rochoso circundante frentes de ondas de choque compressivas. Assim, suscitando característica importante dos explosivos quanto a produção de grande quantidade de energia por unidade de tempo (BHANDARI, 1997).

Diversos autores descrevem a detonação como sendo uma reação química em velocidade supersônica, associado a uma onda de choque que se propaga através do explosivo. Comprimindo este, e aquecendo (calefação) de forma a provocar sua explosão adiabática. E, não havendo troca de calor com o meio externo no decorrer de sua reação, transformando a carga explosiva em um gás com alta pressão e temperatura ao longo de sua superfície, conforme mostrado na Figura 1.

Figura 1 - Ilustração do Processo de Detonação.



Fonte: Adaptado de Souffle (1994).

Esta superfície se move com uma alta velocidade (VOD – *Velocity of Detonation*), enquanto que a velocidade de movimento da produção da calefação do explosivo, determinada pelo modelo de Johnson-Cook; no qual observa variações no limite de

escoamento do material, devido a deformação plástica e elevação da temperatura, fazendo com que pudesse controlar o amolecimento e endurecimento do material; esta velocidade de movimento determinada por Cook é resultante de fotografias de raios X, no qual alcança um valor de 25% da velocidade de detonação. Por isso, a pressão máxima da onda de choque é (NEVES, 2014), dada pela expressão 1:

$$P_d = \rho \cdot VOD \cdot U \quad (1)$$

No qual:

- P_d : Pressão da Detonação;
- ρ : Densidade do Explosivo;
- VOD: Velocidade da detonação;
- U : Velocidade da partícula;

Considerando a velocidade de partícula é 25% da velocidade de detonação ($U = 0,25 \cdot VOD$), obtém-se a expressão 2:

$$P_d = \frac{\rho \cdot VOD^2}{4} \quad (2)$$

Resulta:

- P_d : Pressão da Detonação (GPa);
- ρ : Densidade (g/cm³);
- VOD: Velocidade da Detonação (m/s).

A pressão termoquímica (a pressão máxima disponível para efetuar um trabalho) dá-se geralmente como a metade da pressão de detonação. Mas se o explosivo estiver em contato direto a rocha, através das “paredes” do furo de detonação, esta tensão exercida sobre a mesma, proveniente da expansão dos gases da detonação, será igual a pressão termoquímica.

De acordo essas premissas, foram formuladas diversas teorias sobre o mecanismo de ruptura da rocha por ação dos explosivos. Em 1953, Robert Akre patenteou a mistura de nitrato de amônia e carvão, que com isso, de forma usual, estabeleceu uma hipótese que os gases do explosivo impulsionam a rocha de sua bancada para a sua face livre. Na década de 60 foram realizaram-vários estudos em laboratório com detonações em escalas menores, no qual chegou-se a afirmar que a causa principal da fragmentação é causada pela reflexão das ondas de choque a partir das superfícies livres; esta última que podem ser planos de descontinuidade da rocha ou da face livre da proveniente bancada. A onda de choque de compressão, de fato, transforma-se em ondas de tração e cisalhamento,

induzindo a continuidade da fragmentação da rocha e o “desplacamento”. Este último conhecido como fenômeno de *Spalling*.

De acordo com Jimeno (1995), existem mecanismos que por sinal são identificadas dentro do processo de detonação da rocha, estes são:

1. Pulverização da Rocha:

Em um furo de detonação, sua área, no qual se encontra em contato direto com o explosivo, ali depositado, em média, de acordo com os estudos, apresenta uma “zona” denominada “zona de trituração” no raio de 2 ou 10 vezes a mais do seu diâmetro; o mesmo se dá ao fato de que toda aquela região é submetida a uma fragmentação (pulverização), ocasionada pela detonação. No qual a onda de choque supera, amplamente, a resistência dinâmica de compressão da rocha. Neste mecanismo, que em média, consome 30% da energia da onda de choque, colabora com a fragmentação de um volume muito pequeno, girando em torno de 0,1% do volume total (HAGAN, 1977).

2. Formação de microfissuras radiais:

Na zona circundante ao redor do furo os esforços da pulverização associados a compressão radial da onda de tensão, supera a resistência dinâmica da rocha. Porém, um grande volume do maciço é afetado com a formação de microfissuras radiais (gretas), que se propaga em uma velocidade de 0,15 à 0,40 vezes a onda de choque longitudinal, proporcional a tensão máxima nas paredes dos furos de detonação e inversamente proporcional ao índice de absorção de energia do meio. As primeiras gretas se formam em um espaço de tempo bastante pequeno, numa média de 2 ms.

3. Fragmentação por liberação da carga explosiva:

O mecanismo se deve à queda abrupta da pressão no furo, devido ao escape dos gases através do tampão, das fissuras radiais e do deslocamento da rocha. Este material se encontra em um estado de estresse intenso que é gerado durante a sua liberação, causados pela tração e cisalhamento de sua ruptura. Isso pode afetar um grande volume de rocha remanescente após a detonação, estes danos podem chegar até 60 m, de forma radial, da última linha de fratura que se foi feita a detonação.

4. Ruptura por reflexão da onda de choque:

A reflexão da onda de choque na superfície livre da rocha gera-se dois tipos de ondas, uma de tração e outra de cisalhamento. Embora a energia associada as duas ondas dependem do ângulo de incidência. Geralmente, a ruptura é causada pela onda de tração refletida, uma vez que a resistência à tração da rocha é muito menor que a de compressão ou de cisalhamento (estimando-se em uma proporção de 1 à 15).

Este mecanismo contribui relativamente pouco para o processo global de ruptura, estimando-se que a carga do explosivo necessária seria de 8 vezes mais a carga normal para produzir a quebra da rocha pela ação única da reflexão da onda de choque. No entanto, as descontinuidades internas presentes no maciço, antes da detonação, terão o efeito da reflexão das ondas de uma forma mais significativa.

5. Propagação das fissuras radiais:

Após a passagem da onda de choque, a pressão dos gases provoca um campo de tensão semi-estático ao redor de todo o furo da detonação. Durante ou após a formação das fissuras (gretas), pela componente de tração tangencial à onda, os gases começam a se expandir e penetrar nas rachaduras. Estas ultimas, se estendem-se sob a influência das concentrações de tensões (provocadas pela elevada pressão dos gases) em suas extremidades, assim, em algumas “fugas” prematuras dos gases podem causar a menor utilização da energia do explosivo.

6. Fratura por cisalhamento:

Em formações rochosas sedimentares quando as camadas ou estratos apresentam diferentes parâmetros geomecânicos, a fratura ocorre nos distintos planos de separação por tensões de cisalhamento decorrentes da passagem de ondas de choque.

7. Ruptura por flexão:

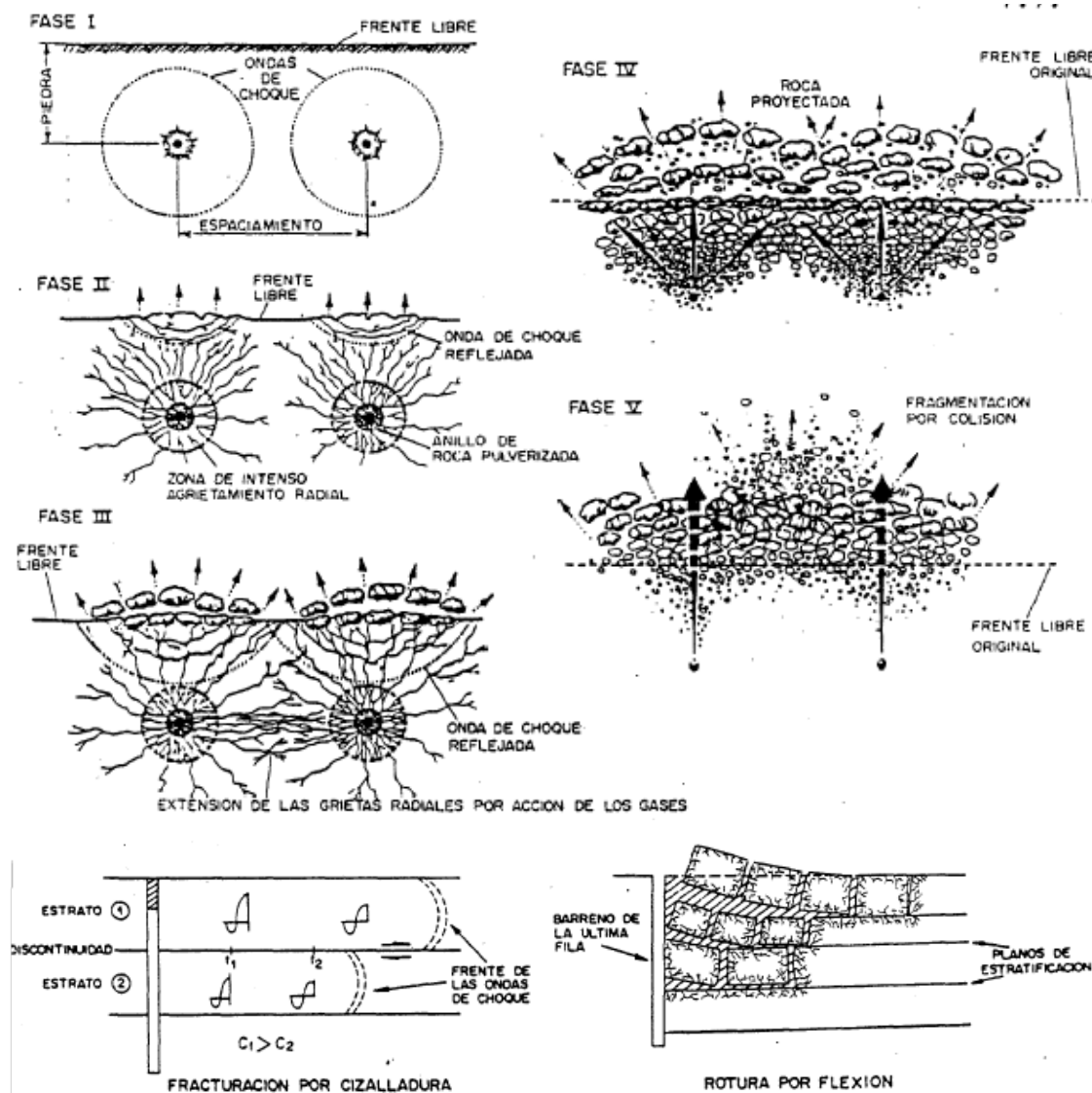
Outro mecanismo de ruptura é devido à ação da pressão dos gases dos explosivos sobre a rocha.

8. Ruptura por colisão:

Os fragmentos rochosos, derivados da detonação, são projetados em função de uma face livre, estes supracitados colidem uns com outros produzindo uma maior quebra, mostrados por Petkof (1961) e Hino (1959), através de estudos com vídeos e fotografias com alta resolução.

A Figura 2 a seguir, demonstra ilustrativamente os mecanismos de ruptura.

Figura 2 - Mecanismos de ruptura da rocha.



Fonte: Jimeno (1995).

2.2 Princípios da Vibração na Detonação

As vibrações resultantes de operações de desmonte de rocha por explosivos em mineração, conforme citados acima, são causadas pelo aumento súbito da pressão da carga explosiva em reação no furo, causando a geração de tensões dinâmicas na rocha. E assim, criando ondas de tensão radiais esféricas, que se propagam de forma concêntrica ao furo. A intensidade destas frentes de vibração, diminui de acordo com a distância. E cuja a energia é transmitida por todo o maciço rochoso, se distribuí por toda sua superfície. Estas frentes de ondas de choque, decorrentes das supracitadas detonações, acabam movimentando todo o solo e/ou maciço rochoso. As mesmas constituem de uma perda energética, isso demonstra que o trabalho não é totalmente aproveitando na operação,

fragmentando a rocha e lançando-a. Essas vibrações, em grandes casos, causam danos nas estruturas de edificações e construções civis.

No contorno dos furos, consideram-se três zonas, em função da magnitude da pressão da onda de choque, de acordo com Sanchidrián e Muñiz (2000), são:

- Zona contígua do furo: onde a pressão da onda de choque é superior a resistência de compressão da rocha, causando sua pulverização, conseqüentemente a atenuação da onda de choque pelo alto consumo de energia.
- Zona de deformação plástica: onde a pressão da onda de choque não exceda a resistência a compressão da rocha, mas o limite de elasticidade, produzindo basicamente deformações permanentes (plásticas). Ocasionalmente, também, faturamento radial, bastante intensas nas imediações do furo, por efeito das tensões tangenciais por tração.
- Zona Elástica: onde se estende decorrente da anterior citada. Esta zona os esforços não superam o limite elástico à compressão do material, fazendo com que tenha um comportamento elástico, embora também, na mesma, produzam algumas fraturas radiais como consequência de esforços por tração. O consumo de energia, é praticamente nulo.

Pode-se afirmar que a partir então, de uma distância bastante pequena ao furo, gera-se um efeito de vibração no qual se constituem principalmente de ondas elásticas, com um desprezível consumo de energia.

2.3 Tipos de Ondas

Em resumo, as vibrações ocasionadas pelas operações minerais, são fenômenos de transferência de energia que se refletem em uma propagação de um movimento ondulatório através do meio. A iniciação de uma carga explosiva, confinada em um furo no maciço rocha, gera, de uma forma instantânea, um grande volume gás à alta temperatura e pressão. Este último fenômeno, provoca no maciço deformações axiais e tangenciais em diferentes direções, produzindo assim a ruptura da rocha.

A característica do movimento ondulatório, é descrito por algumas equações clássicas de ondas elásticas. No entanto, a sua propagação não existe movimento efetivo de massas e nem de volumes, tampouco, se realiza transporte de matéria, apenas consiste em uma transferência de energia a partir de um ponto para outro.

O movimento vibratório se assemelha a um movimento senoidal harmônica, definido pela seguinte equação, expressão 3:

$$x(t) = A \cdot \text{sen}(\omega t + \phi) \quad (3)$$

No qual:

- x: deslocamento, em unidade de comprimento;
- A: amplitude, máximo valor que alcança a oscilação;
- ω : frequência angular do movimento, em rad/s;
- t: tempo, em segundos;
- ϕ : é fase inicial e indica o estado de oscilação ou vibração no tempo $t=0$ da partícula que oscila.

A frequência angular relacionada com a frequência, mostrado na expressão 4:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f \quad (4)$$

Onde f é a frequência dado em Hertz. Então:

$$x(t) = A \cdot \text{sen}(2\pi f t + \phi) \quad (5)$$

A velocidade (v) e a aceleração (a) são respectivamente obtidas através da derivada primeira e segunda das equações acima (2 e 3), expressões 6 e 7:

$$v = \frac{dx}{dt} = 2\pi f \cdot A \cdot \cos \omega t \quad (6)$$

$$a = \frac{d^2x}{dt^2} = -(2\pi f)^2 \cdot A \cdot \text{sen} \omega t \quad (7)$$

Embora as equações clássicas de ondas, tal como as citadas à acima, são inadequadas para descreverem o fenômeno de vibração decorrentes das detonações nas operações minerais, estas, não aquela supracitada, não leva em conta os problemas de atenuação, dispersão, comprimento de onda longitudinal e suas superposições. Deve-se considerar que, até o momento este modelo, de forma simplificada, é que melhor se adequa para uma análise de tal fenômeno. Pode-se considerar, tal efeito das vibrações, no qual nos interessam à propagação da onda de choque, as ondas na zona elásticas (externa) entorno do furo onde se concentra a carga explosiva, e em seu interior as ondas que se transmite resultando em ondas elásticas de baixa energia (DE BLÁS, 2000).

A classificação das ondas elásticas se dará em duas classes, a saber:

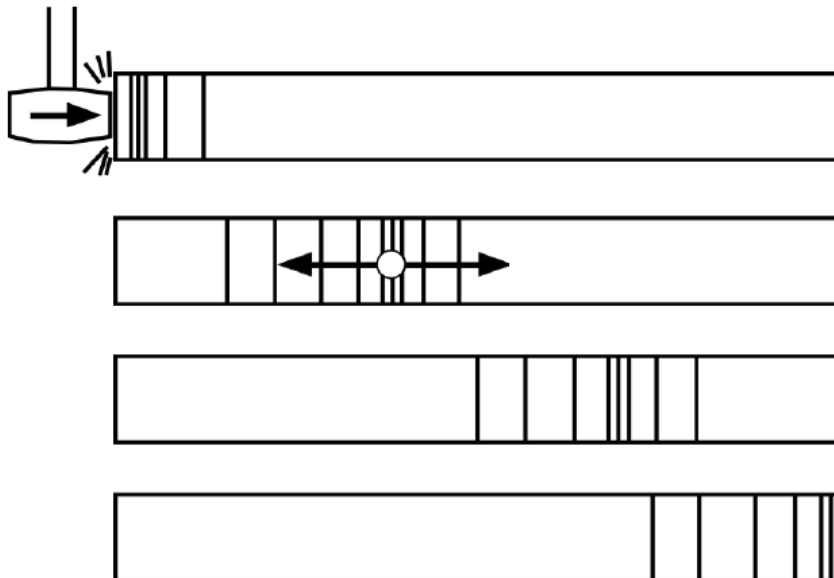
1. Ondas internas:

Estas propagam através do maciço rochoso, entre elas encontramos dois tipos, as:

- i. Ondas Longitudinais, Compressivas ou Principais (Onda P): as ondas longitudinais deslocam-se em uma maior velocidade, deformando o volume da rocha na direção de propagação da mesma. A Figura 3, ilustra de uma forma mais detalhada o seu movimento, podemos considerar um material no qual em sua extremidade sofre um golpe, dando origem ao movimento

oscilatório (para frente e atrás) das partículas enquanto que o impulso segue ao longo do objeto; ou seja, as partículas da onda se movem na mesma direção da propagação da onda.

Figura 3 - Movimento da partícula dentro da onda P.



Fonte: Sánchez (2013).

Em resumo, as ondas P correspondem a compressões e refração do meio no qual a mesma percorre; a sua velocidade de propagação é seguinte expressão 8:

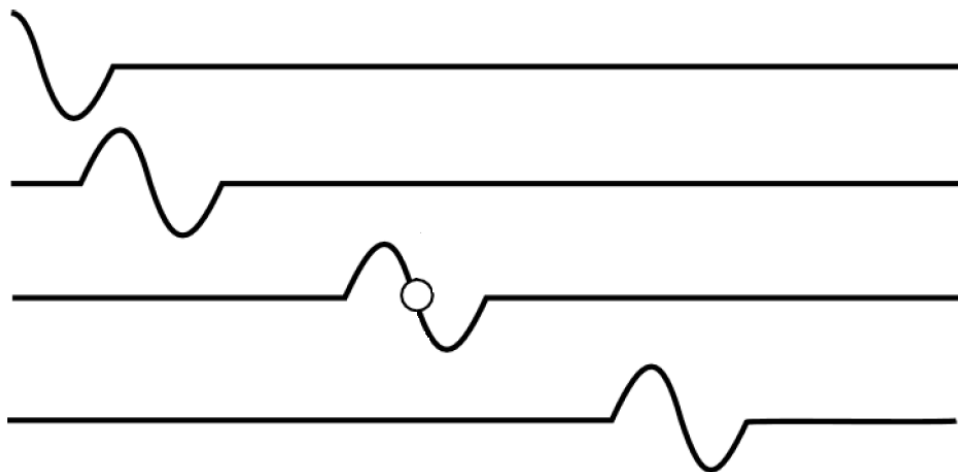
$$V_p = \sqrt{\frac{k + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \quad (8)$$

No qual:

- k: módulo volumétrico (ou de incompressibilidade) do material;
- μ : módulo de rigidez do material;
- ρ : densidade do material.

- ii. Ondas Transversais, Cisalhamento ou Secundárias (Onda S): logo após as ondas longitudinais, ocorre a propagação das ondas transversais. Essas últimas, provocam uma deformação na massa rochosa perpendicularmente (transversal) na direção de sua propagação, sem modificar o volume dos materiais onde passa. O movimento das partículas dentro da onda S, pode ser ilustrado mediante a agitação de uma corda, por exemplo, onde o deslocamento da onda pode ser visualizado. À Figura 4 demonstra o movimento.

Figura 4 - Movimento da partícula dentro da onda S.



Fonte: Cormio (2012).

As ondas S provocam oscilações perpendiculares através da sua direção de propagação, e não se pode propagar em um meio fluido, com isso o módulo de rigidez é nulo (CORMIO, 2012), de acordo com a expressão 9:

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (9)$$

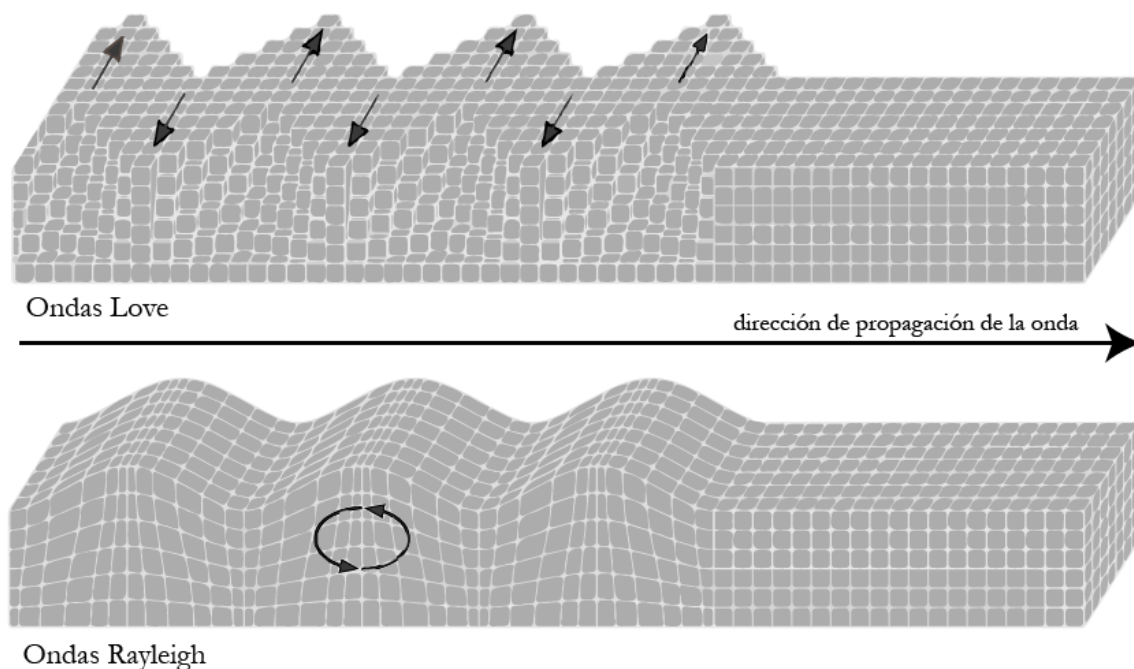
No caso nas detonações à céu aberto, às mesmas são bastante próximas da superfície, no qual o principal fenômeno característico da propagação de ondas, são as de superfícies.

2. Ondas de superfícies:

Estas ondas se propagam através da superfície do maciço, dentro desse grupo estão as:

- i. Ondas Rayleigh (Onda R): As Ondas Rayleigh, são intituladas em homenagem ao matemático e físico John William Strutt, mais conhecido como Barão de Rayleigh, no qual foi um grande pesquisador em fenômenos ondulatórios. Estas, supracitadas apresentam uma velocidade de propagação de cerca de 90% das ondas transversais, apresentando uma amplitude maior que as primárias e secundárias. As partículas apresentam um movimento do tipo elíptico retrógrado em um plano vertical, no mesmo sentido da direção de sua propagação. Seu movimento está expresso na Figura 5.
- ii. Ondas “Love” (Onda L): outro tipo de ondas superficiais, são as Ondas “Love”, cujo a sua oscilação e velocidade se parecem as Ondas R, são também elípticas, porém seu movimento está contido em um plano horizontal, demonstrado na Figura 5.

Figura 5 - Movimento das ondas love e rayleigh .



Fonte: <https://concienciadelatierra.files.wordpress.com/2015/02/ondas-superficiales.png> (2015).

De acordo com Sanchidrián e Muñiz (2000), as Ondas Longitudinais são as que apresentam maior velocidade; no qual as Ondas Transversais apresentam 50% à 60% da primeira citada, que por sua vez é ligeiramente mais rápida que as Ondas de Rayleigh com aproximadamente 90% da velocidade das Ondas “S”. A velocidade das Ondas “P”, variam desde 1500 m/s à 6000 m/s para a grande maioria das rochas; se a rocha apresenta bastante fraturamento está velocidade pode diminuir bastante. Nos solos, à velocidade de propagação é entre 150 m/s à 1300 m/s.

A energia sísmica de alta frequência é absorvida mais rapidamente do que as de baixa frequência, de modo que a esta energia contida nas ondas sísmicas estará mais concentrada em intervalos correspondentes à baixas frequências na medida que nos afastamos do foco no qual é gerado (DE BLÁS, 2000).

Miller e Pusey (1955) formularam a distribuição da energia total os diferentes tipos de ondas em uma fonte pontual, através de um aparato, no qual obtiveram a distribuição das ondas, nas seguintes proporções:

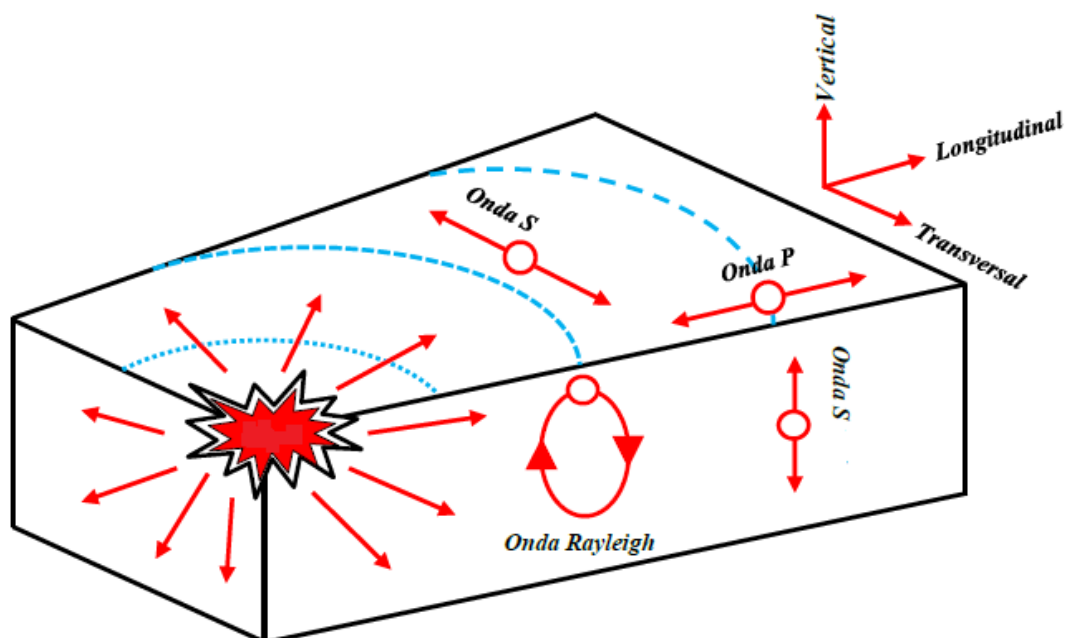
- Onda de Compressão (P) igual a 7%;
- Onda de Cisalhamento (S) igual a 26%;
- Onda Rayleigh (R) igual a 67%.

Podendo-se afirmar, que aproximadamente dois terços da energia total é transportada pelas ondas de Rayleigh (R). Outra investigação, de Vorob’ev (1973) afirma

que as detonações com distâncias maiores que 450m, as ondas Rayleigh correspondem a 80% da energia sísmica.

Para melhor entendimento das ondas, a Figura 6 a seguir demonstra o movimento da partícula conforme respectivos tipos (CORMIO, 2012):

Figura 6 - Movimento das partículas nas diferentes ondas.



Fonte: Cormio (2012).

2.4 Tempos dos retardos e suas sequências de iniciação

O desmonte de rocha, especificamente à detonação em si, para escalas de produção na mineração, têm como os objetivos básicos:

- Uma boa fragmentação;
- Diminuição do nível de vibração e o sopro de ar;
- Redução de ultra lançamentos e as formações de underbreak (repé) e overbreak (ultraquebra).

Rosenthal e Morlock (1987) retratam uma série de fatores, que influenciam de forma direta sobre as questões de aumento de vibração provenientes das detonações. Nesta ele separa em variáveis no quais possam ser controláveis ou não.

Tabela 1 - Fatores de influência no controle de vibrações.

Variáveis Controláveis	Influência nas Vibrações	
	Diretamente	Moderadamente
Carga Máxima por Espera	X	
Sequência dos retardos	X	
Confinamento da Carga	X	
Espaçamento		X

Diâmetro e Comprimento do Furo (Carregado)		X
Ângulo de Inclinação		X
Direção da Iniciação		X
Variáveis não controláveis		
Geologia Local	X	
Tipo de Rocha	X	
Parâmetros Geomecânicos	X	
Distância	X	
Erro no Tempo de Iniciação		X

Fonte: Adaptado de Rosenthal & Morlock (1987).

A Carga Máxima por Espera (CME), se mostra a ser o fator mais importante quanto se diz a respeito do controle de vibrações. Qualquer diminuição de seu fator, seja ele qual for, faz com que há uma redução nas futuras vibrações e futuramente uma menor probabilidade de danos nas estruturas.

Vale frisar também, a grande importância na sequência de detonação, os retardos e o controle de tempo dos mesmos. Na prática, a técnica de uso de retardo, consiste em “dividir” as cargas, dentro de cada furo, em uma sequência de tempos, através de usos de cápsulas detonadoras, nos quais as mesmas apresentam um “atraso” em milissegundos.

No que se diz respeito a um “tempo mínimo”, para ajustes dos retardos, com o intuito de eliminar interferências construtivas ou com efeitos somatórios de ondas, foram retratadas com os primeiros estudos, sendo realizados por Duvall, *et al.* (1963), que propõem intervalos de 8 ms e 9 ms, calculados a partir dos experimentos realizados em pedreiras de calcários.

Langefors e Kihlström (1963), por sua vez, sugerem que para afastamentos entre 0,5 m e 8 m, aplica-se a equação:

$$\tau = K \cdot A \quad (10)$$

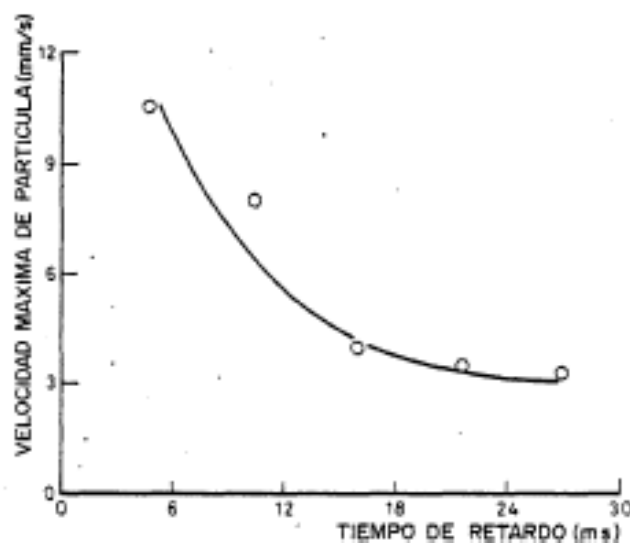
Onde:

- τ : tempo de retardo (ms);
- K: constante que pode variar com o intervalo de 3 ms/m à 5 ms/m;
- A: afastamento até a face livre (m).

No entanto, Wiss e Linehan (1978) sugerem que o tempo de retardo sucessíveis, dos furos, sejam de 17 ms para que haja eliminação do efeito somatório da vibração. Porém, em outros estudos feitos pela Nobel's Explosives Co. da Grã Bretanha sobre detonações sequenciais com tempos de retardos entre furos inferiores a 25 ms, concluiu-se que há existência de interferências construtivas no nível máximo de vibração, reduzindo assim a velocidade de vibração. A seguir, na Figura 7 demonstra a influência

do tempo com a velocidade máxima de partícula (JIMENO, JIMENO e BERMÚDEZ, 2003).

Figura 7 - Velocidade Máxima de Partícula x Tempo de Retardo.



Fonte: Jimeno et. al. (2003).

S. Winzer, (1979), no entanto, em “*Initiator Firing Times And Their Relationship To Blasting Performance*”, com dados coletados a partir resultados obtidos através de experimentos, utilizando quatro tipos de detonadores elétricos. Neste estudo, o mesmo constatou uma dispersão de 5% à 10%, a partir dos tempos de retardo, no qual, concluiu-se que com o aumento de iniciadores há um maior erro, fazendo com que seja aconselhado uma limitação na quantidade de uso dos detonadores. Com isso, Birch (1983), analisando o estudo anterior, chegou a uma conclusão que os desvios padrões podem ser calculados a partir da seguinte expressão 11 (BAYO, FERNÁNDEZ, *et al.*, 1985):

$$\sigma_t = 3 + 2 \cdot n \quad (11)$$

no qual “*n*” é o número de retardos.

Framtti (1953), Pollack e Greenhalgh (1963), documentaram os efeitos dos retardos sobre as frequências resultante nas detonações. Que posteriormente, Andrews (1982) demonstrou que a frequência poderia diminuir de acordo com o ajustes dos tempos de retardo. Linehan e Wiss (1982) citam que algumas séries de tempos de retardos utilizados habitualmente podem corresponder à frequências inferiores à 20 Hz que implica à uma aproximação perigosa e intencional das frequências naturais de algumas estruturas; por exemplo: em um retardo de 60 ms entre cargas, correspondem à uma frequência forçada de 16,7 Hz que ser um elevado risco, pois alguns estruturas que

apresentam frequência natural de 15 Hz podem ser comprometidas, causando o efeito de ressonância (LINEHAN e WISS, 1982).

Já Hustrulid (1999), propõe que para um eficaz desmonte, é necessário determinar seu tempo de forma unitária, através de cada fileira, utilizando a expressão 12:

$$4 \cdot \sqrt{\frac{\rho_r}{Q}} \leq t \leq 6 \cdot \sqrt{\frac{\rho_r}{Q}} [ms/m] \quad (12)$$

em que ρ_r refere-se à densidade da rocha e Q a média consumo do explosivo por metro de furo.

De acordo com Giraldo (2010), as frequências menores que 10 Hz, produzem ao maciço por conta dos altos níveis de tensão, e também se acopla dentro das frequências de ressonância típicas de algumas estruturas, de 4 a 12 Hz para os movimentos de deformação transversal e vertical. As características de frequência das vibrações provocadas pelas detonações dependem fortemente da geologia e dos intervalos de tempo dos retardos na operação.

2.5 Implicações Ambientais: Impactos e Fenômenos Incidentes

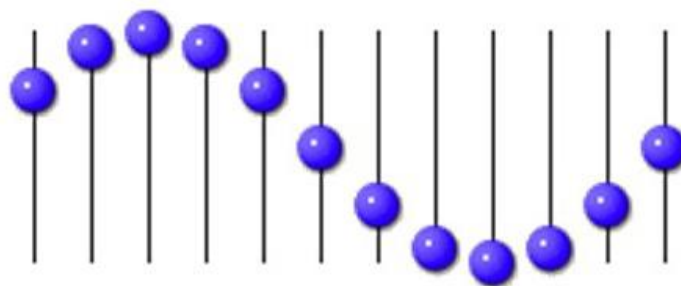
Após a detonação de uma carga explosiva no interior de um maciço rochoso, sua energia potencial é liberada num intervalo de tempo bastante curto, e cria-se também uma elevada pressão na zona onde ocorre a reação química. Esta pressão provoca uma onda de choque, a qual, é utilizado para iniciar (ativar fraturas, fendas e micro-fendas) o trabalho de fragmentação da rocha, sendo que outra parte dessa energia é liberada no ambiente, propagando-se através do meio (rocha ou solo) e também pelo ar.

A propagação de uma onda, decorrente de uma atividade mineira, produz um fluxo ou transporte de energia de uma fonte emissora ao longo do meio com direção em que a onda avança. Isso propaga uma espécie de perturbações provocado pelo movimento ondulatório. Esta onda de choque é amortecida a medida que sua frente se distancie da origem. Além disso, o fenômeno é uma dispersão de energia, puramente geométrico, em um espaço tridimensional, de característica não completamente elástico das rochas e a presença de água em seus vazios também são fatores de amortecimento dessa vibração. A amplitude, velocidade e a aceleração do movimento oscilatório diminuem com a distância, acontecendo o mesmo com a frequência de oscilação (SÁNCHEZ, REPETTO e KAREZ, 2002).

A partir dos conceitos básicos da física geral, mais específico nas questões de propagações de ondas mecânicas, essa última que é mais usual na análise de vibrações, é

importante o entendimento de seus conceitos, começando pelo movimento ondulatório, que segundo Halliday (2016) é o processo pelo qual se propaga energia de um a outro sem transferência de matéria, mediante ondas e quando estas necessitam de um meio material, se chamam ondas mecânicas; no qual ocorrem em um ponto de um meio elástico, transmitindo a todos os outros, causando perturbações. Quando uma partícula se move desde um ponto extremo até o outro e retorna para o inicial, passando duas vezes pela de equilíbrio, atribui como uma oscilação completa, conforme mostrado na Figura 8.

Figura 8 - Oscilação de uma partícula.



Fonte: <http://slideplayer.com.br/slide/3753131/> (2016).

Segundo Halliday (2016), se caso não seja aplicado uma força exterior, a amplitude deste movimento vai decrescendo progressivamente, porém as vezes é possível compensar esta perda com impulsos de forma que cada vibração seja idêntica a anterior. Neste caso o movimento é periódico e denominado período (T), que é o tempo necessário para ocorrer uma oscilação completa. A frequência (f) é o número de oscilações por unidade de tempo, o número de ciclos por segundo é chamado de Hertz (Hz), esta é a unidade com qual se mede a frequência. Pela própria definição, o período é o inverso da frequência.

A propagação das ondas, são classificadas em dois tipos, as primárias (P) e secundárias (S), como citadas na epígrafe 2.3. De acordo com o tipo de geologia, no que será o meio de propagação, significa também um dos fatores mais importantes no que se diz a respeito ao controle de resposta à estrutura. A importância da frequência se baseia no qual uma estrutura responde, dependendo, principalmente, da frequência dominante.

Para também um melhor entendimento das causas principais de uma excessiva vibração, deve-se ter o conhecimento das variáveis controláveis e não controláveis que intervêm no complexo processo de desmonte de rocha. As não controláveis, se caracterizam por sua grande aleatoriedade, as principais são: a heterogeneidade do maciço, no qual as ondas viajam através de diferentes estados de impedância, como

também as falhas geológicas acabam que fazendo um papel de amortização da vibração. Já as controláveis, são as que ficam de caráter humano, aquelas que podem ser ajustadas pelo mesmo no plano de fogo, tipo: tempo de retardo, quantidade e tipo de explosivo, entre outros.

Salas (1980), classifica os efeitos danosos causados pela detonação em como três partes:

- A detonação é transmitida pelo ar como uma onda P de compressão que produz um incremento na pressão atmosférica (com risco de ruptura de vidro, cristais, etc.) e é percebido como um ruído pelos seres vivos, que pode causar até danos se tiver uma alta intensidade;
- O meio (maciço rochoso ou solo) transmite vibrações que incluem ondas P de compressão com origem em um foco, ondas S de corte que provem de reflexões e/ou refrações das ondas P quando encontram descontinuidades no meio e as ondas L ou R que se transmite através da superfície e tem componentes de compressão e de tensão. Estas vibrações podem causar danos nas construções;
- Existem também a questão das projeções aéreas de rochas na área da detonação ("flyrocks"), que essas podem causar sérios danos à pessoas e estruturas.

2.6 Lei de Atenuação

De acordo com García (2001), a definição de lei de atenuação é a capacidade do terreno para amortecer o movimento gerado pelas ondas sísmicas de acordo com o foco (distância) de interesse.

Uma das etapas fundamentais no estudo de controle de vibrações geradas por desmonte de rocha com uso de explosivos, é constituída em determinar as leis que controlam a propagação das mesmas nos diferentes meios. Para isso, existem diversos métodos para estimar os movimentos dos terrenos que serão induzidos a tal fenômeno.

Tais métodos são relativamente simples, caso contrário, não teriam grandes aceitação no campo prático da mineração e obras civis. No entanto, é preciso reconhecer que as vibrações provocadas pelas detonações são uma consequência de uma série de eventos complexos e que a utilização desses "estimadores" podem dar lugar a desvios e erros consideráveis entre os valores reais e calculados. Por este motivo, embora durante muitos anos foram utilizados outros modelos simplistas, este modelo é uma das pesquisas atuais em que vários países direcionam seus esforços (BAYO, FERNÁNDEZ, *et al.*, 1985).

A lei de atenuação, baseia-se em dados locais; níveis de vibração; este último utilizando os parâmetros controláveis incumbidos no plano de fogo, de forma a premeditar; as vezes de uma forma não tão confiável; eventos que possam provocar danos as estruturas vizinhas, trazendo em si uma segurança maior para tal evento (SILVA, 2012).

Um dos primeiros artigos desenvolvidos na área de geração e medições no que se diz respeito aos controles de vibrações causadas por detonações, com uso de explosivos, nas minerações, foi sugerida por Morris (1950); no qual obedece a expressão 13 (FISH, 1951):

$$A = K \frac{Q}{\sqrt{D}} \quad (13)$$

Onde:

- A – Amplitude máxima da partícula (m);
- K – Constante característica da rocha, este que pode variar desde 0,57, para rochas duras e competentes, até 3,40 para solos não consolidados;
- Q – Carga máxima por espera (kg);
- D – Distância da detonação até o ponto de registro (m).

Posteriormente, Leconte (1967), utilizando de uma revisão das técnicas de controles de vibrações, sugeriu a substituição da amplitude máxima da partícula, expressa na fórmula de Morris, pela velocidade resultante da partícula (V), tomando-a pela expressão 14:

$$V = K \cdot \frac{\sqrt{Q}}{D} \quad (14)$$

Dois anos após o estudo de Leconte, Jaeger e Cook (1969), concluíram que a relação entre carga máxima por espera (Q) e a distância (D), está última da detonação até o ponto avaliado (por muitas vezes; estruturas), são os parâmetros mais importantes para a determinação da velocidade da partícula.

Posteriormente após o desenvolvimento de pesquisas, testes e medições; estudos de Blair e Duvall (1954), Duvall e Petkof (1959), Ambraseys e Hendron (1968) e Dowding (1971); chegaram a uma nova variável de distância, no qual obtiveram melhores resultados em relação à velocidade de partícula, denominada de distância escalonada. Esta última, conhecida também como distância reduzida (DR) é uma obtida através da expressão 15:

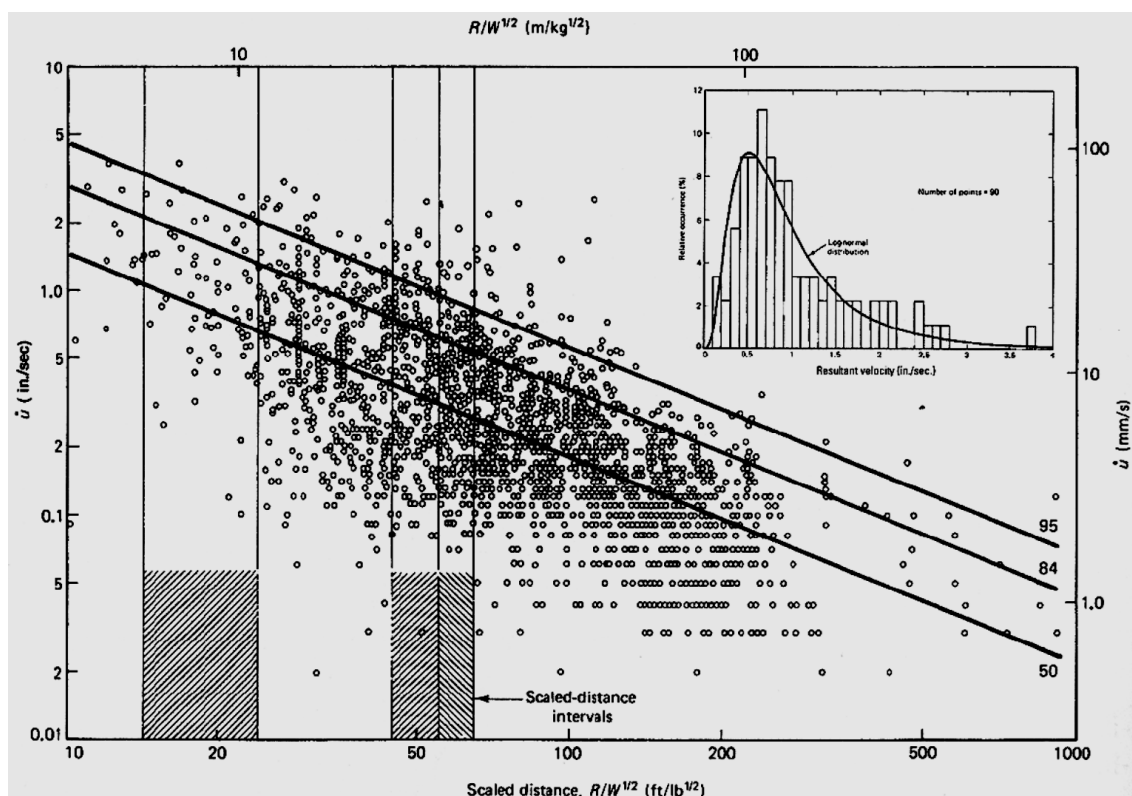
$$DR = \frac{D}{Q^n} \quad (15)$$

onde n é uma constante empírica. Para tal esta constante, de acordo com alguns estudiosos, toma medida de $1/2$ para cargas cilíndricas ou $1/3$ para cargas esféricas.

Estes valores são obtidos de acordo que para uma carga esférica, o comprimento seja menor que seis vezes o seu diâmetro, este correlaciona com a raiz cúbica da carga (Q), enquanto que para um comprimento de carga seis vezes maior que seu diâmetro, a relação se daria com a raiz quadrada da carga (SILVA, 2012).

O modelo mais utilizado nas minerações é da raiz quadrada, que também será usado em presente estudo. Teoricamente este critério é que melhor representa o comportamento de vibrações em campo, onde as análises dimensionais sugerem que as distâncias devem ser corrigidas dividindo-as pela raiz quadrada da carga. A formula clássica da distância reduzida é baseada na análise de um grande número de dados, conforme mostra a Figura 9:

Figura 9 - Velocidade da partícula X Raiz Quadrada da Distância Escalonada; típica dispersão de dados.



Fonte: Dowding (2000).

Outros estudos são mencionados por Jimeno (1995), tais como: Davies et al (1964), Atewel et al (1965), Holmberg e Persson (1978), Shoop e Daemen (1983), nos quais os mesmos não levam em consideração a simetria da carga. Os mesmos atribuem a velocidade pela seguinte expressão 16:

$$V = K \cdot Q^\alpha \cdot D^\beta \quad (16)$$

K , α e β são constantes empíricas que englobam a geologia de uma determinada região; retiradas a partir de uma análise de regressão múltipla.

Um dos objetivos do estudo de vibração é encontrar cada uma dos presentes constantes (K , α e β) através de uma:

- Regressão linear por mínimos quadrados;
- Regressão não linear;

realizados para os valores V , K e D tomados nos respectivos ensaios.

Para todos os métodos o coeficiente de correlação obtido indicará que tanto se ajusta os pontos a uma determinada lei. O coeficiente de correlação alcança o valor máximo 1 quando os pontos se ajustam perfeitamente a lei e se o valor mínimo 0 se os pontos se encontram aleatoriamente distribuídos.

Por outro lado; Klen (2010) utilizando o método de Holmberg e Persson (1978), permite o conhecimento da velocidade de partícula próximos às cargas detonantes. Esta equação se baseia numa carga linearmente distribuída, no qual uma integral de alguns fatores resulta o conhecimento dessa velocidade. Este modelo é representado pela equação 17, abaixo:

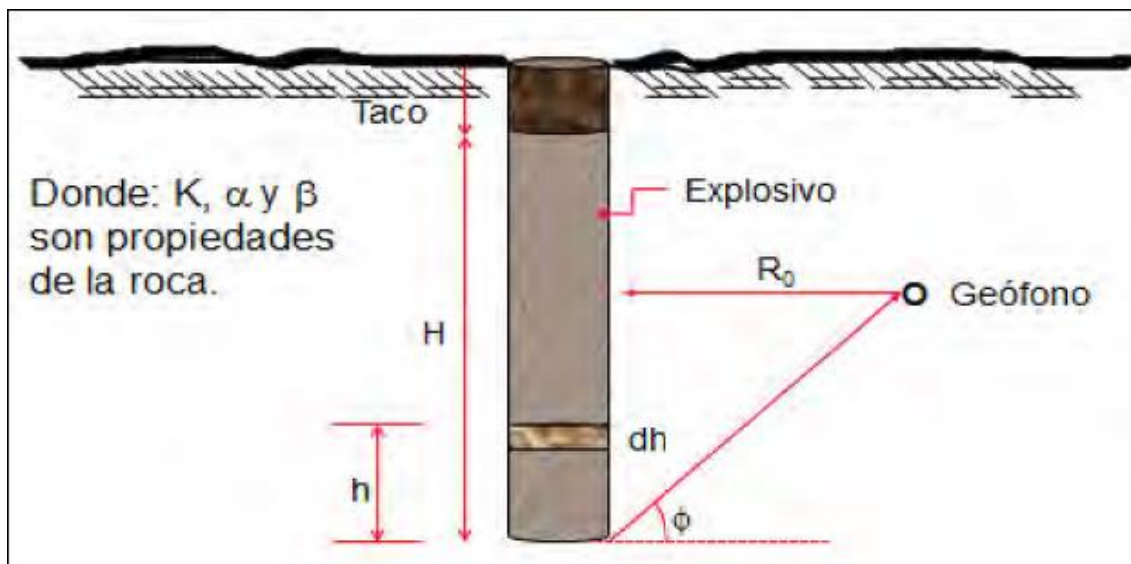
$$v = K\gamma^\alpha \left[\int_0^H \frac{dh}{[R_0^2 + (R_0 \tan \phi - h)^2]^{\beta/2\alpha}} \right]^\alpha \quad (17)$$

Onde:

- v – velocidade de partícula;
- K , α e β – constantes empíricas;
- γ – razão linear de carregamento (kg/m);
- H – comprimento do furo;
- R_0 – distância linear entre a carga e ponto de referência.

A Figura 10 representa graficamente a equação:

Figura 10 - Variáveis da equação de Holmberg e Persson.



Fonte: Manual Orica (2009).

Deve-se mencionar que o modelo matemático proposto por Holmberg e Persson (1978) foi desenvolvido para ser aplicado em um limite de distância, no qual o R_0 terá que ser menor ou igual a 50 m. Para distâncias maiores, serão aplicados outros modelos matemáticos.

Existem numerosas equações para um possível resultado de uma investigação nos parâmetros de vibrações, mas a que mais se destaca é a proposta por Langefors (1973), relacionando a velocidade de pico de partícula com a distância escalonada, apresentado pela expressão 18:

$$v = a(DR)^b \quad (18)$$

Ainda segundo a literatura, para obtenção dessa equação (expressão 18) utilizou um modelo estatístico baseado em diversas sismografias, obtendo-se quantia representativa de dados. E assim, utilizando uma regressão obtém os coeficientes adequados para tal estudo. Esta regressão, fornecerá uma equação de primeiro grau de uma reta, conforme expressão 19:

$$\log v = \log a - b \log DR \quad (19)$$

Utilizando a equação baseada em dados experimentais, ocorre que para as próximas medições já se pode ter uma noção das futuras operações a serem feitas. Em quais variáveis seriam melhoradas ou modificadas e assim ajustar as detonações subsequentes. No qual, o coeficiente de correlação, quanto mais próximo a 1, melhor será sua adequação.

2.7 O Monitoramento Sismográfico: Procedimentos Técnicos

As vibrações geradas pelas detonações são produto direto do uso de explosivos, descrita como um deslocamento com variação do tempo, velocidade ou aceleração de uma partícula no meio (rocha ou solo).

É fundamental, a partir das medições, obter os parâmetros que permitem a análise das vibrações, como a velocidade de partícula e a frequência. A obtenção desses dados experimentalmente é feita através de sismógrafos dotados de geofones, adequadamente localizados em uma região correlacionada ao presente estudo. Os geofones, transformam a energia mecânica de vibração em energia elétrica com intensidade proporcional ao movimento de oscilação.

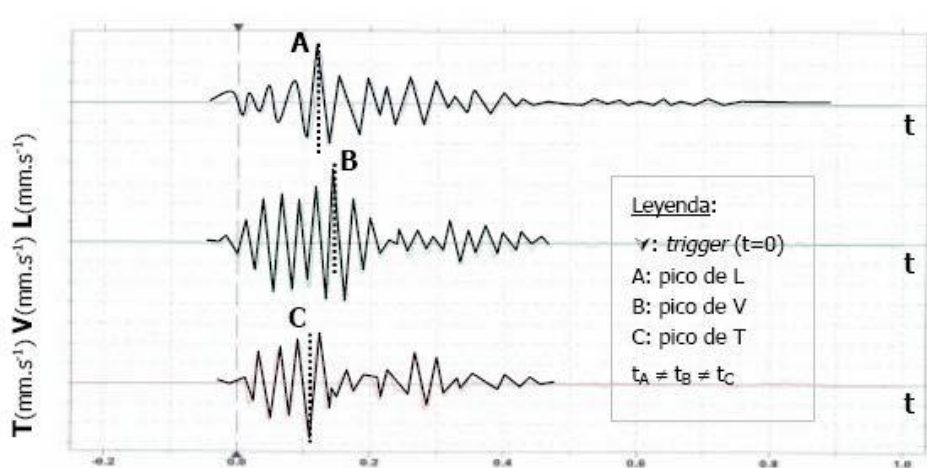
Após cada detonação os geofones recebem os impulsos sísmicos, em diferentes instantes e fazendo seu registro. Esses últimos, depende dos limites de detecção do equipamento, ajustada pelo técnico operante, denominado de “*trigger*” (valor mínimo para ativação, definido para iniciar a medição) no qual indica o instante de uma detonação.

As ondas transmitidas pelas detonações ao maciço rochoso apresentam três componentes:

- Longitudinais (L);
- Transversais (T);
- Verticais (V).

Alguns autores atribuem a onda aérea também a outro componente. Figura 11 mostra o espectro de um sismógrafo.

Figura 11 - Sismograma.



Fonte: Manual da Orica (2009) .

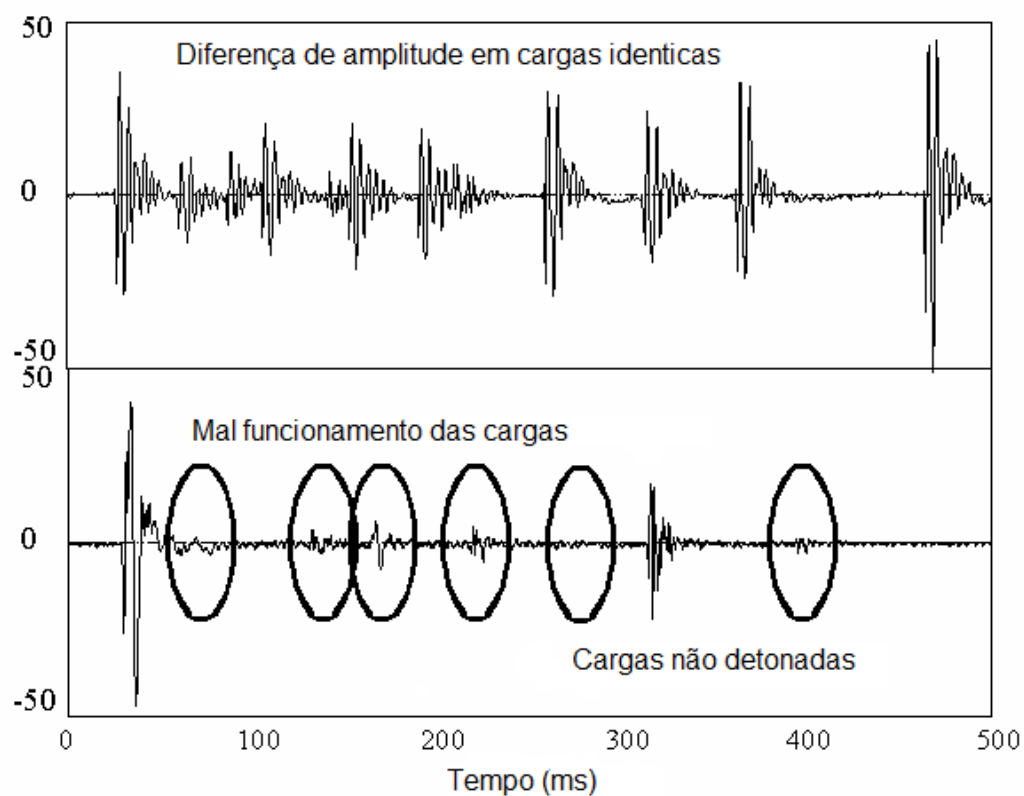
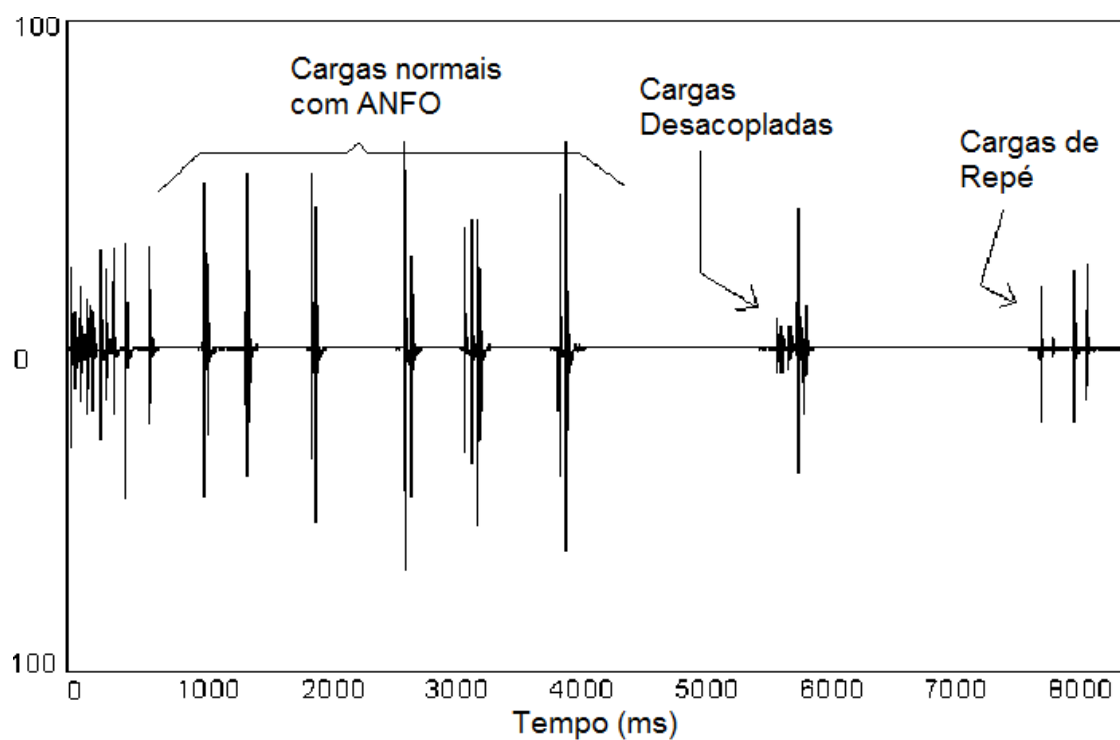
O valor máximo da velocidade, registrado em um evento vibratório, normalmente nomeado por PVS (Peak Velocity Sum), apresentado no sismograma como o resultado do cálculo da resultante dos vetor (L, V e T), correspondendo as três coordenadas ao mesmo instante de tempo (t) e não a resultante do vetor com as componentes máximas (exemplo; pontos A,B e C; como mostra a figura acima) em instantes de tempos distintos. É usual que ocorra em um instante de tempo correspondente a maior componente registrada, sendo geralmente de 5 a 10% maior que este pico (DOWDING, 1992). Como mostra a expressão 20, abaixo:

$$v = \left| \sqrt{v_l^2(t) + v_v^2(t) + v_t^2(t)} \right| \quad (20)$$

Um relevante aspecto no estudo do potencial de danos a estrutura está associado às frequências dominantes. Para tal importância, há uma complexidade na identificação das ondas individuais, produto das características geométricas e a sequência de iniciação utilizada nos planos de fogo.

Cada registro pode ser analisado em vários aspectos, tais como: o rendimento do projeto (Plano de Fogo) ao término de sua eficiência na detonação, precisão do retardo e a sequência da detonação. Tipicamente, as análises incluem um exaustivo conhecimento do sismograma, com isso é possível obter com exatidão; o tempo da detonação de cada carga presente (rendimento e a precisão do retardo), a eficiência tomando como base a amplitude relativa e a vibração em valor absoluto; mostrado graficamente na Figura 12.

Figura 12 - Registros de vibração.



Fonte: Garrido (2007).

As vibrações de qualquer material, são as oscilações da partícula em torno de sua posição de equilíbrio. A velocidade, período e amplitude, no maciço rochoso, podem determinar para qual tipo sofrerá alguma alteração ou colapso. Com o monitoramento das

vibrações induzidas, poderá estimar a probabilidade que um ponto de monitoramento poderá sofrer, por outro lado, é possível correlacionar o resultado desses monitoramentos fazendo com que se obtenham importantes resultados conclusivos (VIZARRETA, 2014).

A instrumentação e equipamentos é fundamental para que obtenhamos uma boa informação representativa, consistente e, sobretudo, confiável. Para tal, exige um certo conhecimento técnico, como o caso das ondas sísmicas geradas por uma operação com explosivo, com isso há um conhecimento de que essas ondas são transmitidas ortogonalmente e sua decomposição se dá em ondas do tipo Primárias, Secundárias, Love e Rayleigh; essas ondas são responsáveis pela transmissão da energia vibracional.

Portanto, deve ser lembrado que as incidências dessas dependem da geometria, posicionamento e a estrutura de todos os parâmetros presentes na detonação, assim, temos um exemplo prático de que as ondas superficiais, são as de menores amplitude e “viajam” com maiores distâncias; e por outro lado, as ondas P e S que tem uma maior “importância”, por viajarem em menores distâncias; com isso há uma necessidade de um conhecimento mais técnico para assim ser aplicado os equipamentos de monitoramento de acordo com as distâncias.

Na maioria dos estudos de danos produzidos por uso de explosivos em desmonte de rochas, estão baseados nos parâmetros de velocidade de partícula e suas influências, estes estão mais presentes em áreas atuantes da construção civil. Através dos mesmos, houve um grande avanço, no qual, alguns autores incorporaram o uso da "frequência" como sendo uma das variáveis mais importante desses estudos de vibração.

Em outras palavras; ainda a respeito aos danos causados nas estruturas provocados por vibrações por detonações, os danos não estão somente associados somente a variável de velocidade de pico, está também pelas frequências causadas pelas mesmas. Um exemplo de uma situação extremamente desfavorável seria quando a frequência de uma onda que vá excitar uma determinada estrutura seja igual à sua frequência de ressonância. Neste caso, há máxima absorção de energia por parte da estrutura, e assim, terá uma maior probabilidade de causar danos a mesma. Por isso, é de bastante importância determinar quais seriam as frequências predominantes das ondas geradas pela possível operação de desmonte de rocha.

Para a elaboração dos cálculos de frequência e ressonância, de forma experimental, deve-se iniciar com a aquisição dos dados dos sismógrafos feitos em campo, utilizando sempre estruturas (casa, prédios, moradias, comércios etc.) como

parâmetros para iniciar tal estudos, sempre de acordo com normatizações técnicas regionais/nacionais.

Os sismógrafos são compostos por instrumentos, estes são:

- Transdutores (Geofones ou Acelerômetros): que devem ser instalados adequadamente;
- Microfone: para a captação de sobre pressão atmosférica;
- Sistema de cabos que se encaixam e levam o sinal captado pelo sistema acima para o equipamento de monitoramento;
- E o equipamento em si, no qual se recebe os sinais e guarda em sua memória.

Os transdutores são em geral dispositivos capazes de converter um tipo de energia em outro, através do uso de sensores. Transformando informações não elétricas (frequência) em informações elétricas (Wikipédia, 2017).

No sismógrafo, o dispositivo utilizado é o geofone. Este equipamento realiza uma medição direta da velocidade de partícula, através de um sistema de bobina móvel suportada por molas e um ímã fixo. Ao contrário do acelerômetro, o mesmo opera sobre sua frequência natural e quando se medem frequência muito baixas, a saída se vê influenciada por suas características de resposta. Para isso os sinais resultantes em termos dos níveis de vibração devem ser corrigidos adequadamente. Também não é um equipamento tão robusto como o outro citado, isso faz com que se torne mais fácil seu manuseio, outro fator se dá à comparação econômica entre os dois, no qual o geofone, apresenta ser mais em conta. Para tal este equipamento não se é adequado quando à frequência dominante ultrapassa os 500 Hz.

Em resumo, as principais características dos geofones são: entrega uma medição direta de velocidade; tendo uma boa medição no intervalo de 1 mm/s à 1200 mm/s; sua resposta de frequência varia entre 4,5 Hz à 100 Hz e um baixo custo chegando à aproximadamente US\$ 100,00.

Após a obtenção dos dados em campo, as informações, comumente, são transferidas para computadores, vide cabos, e com o auxílio do *software* do fabricante do produto. Esses dados são expressos através dos sismogramas, este expresso na Figura 13.

Figura 13 - Sismograma.

GeoSonics Inc. Seismic Analysis Velocity Waveform Analysis

Serial No: 8991 v5.12
 Date: 11.06.2015 16:29:10
 Event No: 2
 Record Time: 5,0 s
 Client: INTERCEMENT JP
 Operation: MEDICAO DE VIBRACAO
 Location: PONTO 1
 Distance: 459
 Operator: MONITORA
 Comment:
 Seismic Trigger: 1,97 mm/s
 Sound Trigger: 100 db

Brasil ABNT-NBR 9653:2005

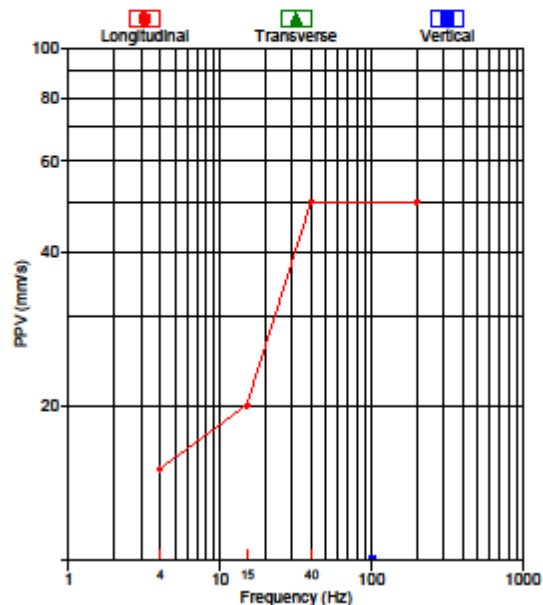
SN: 8991 Event: 2

	Summary Data		
	L	T	V
PPV (mm/s)	1,21	1,27	1,27
FREQ (Hz)	13,5	12,2	27,8
PD (.01mm)	1,48	2,32	1,64
PPA (g)	0,026	0,026	0,039
Peak Vector Sum :	1,52 mm/s		
Peak Air Pressure:	122 db		
	25,92768 PSI @ 9,6 Hz		

Additional Info:

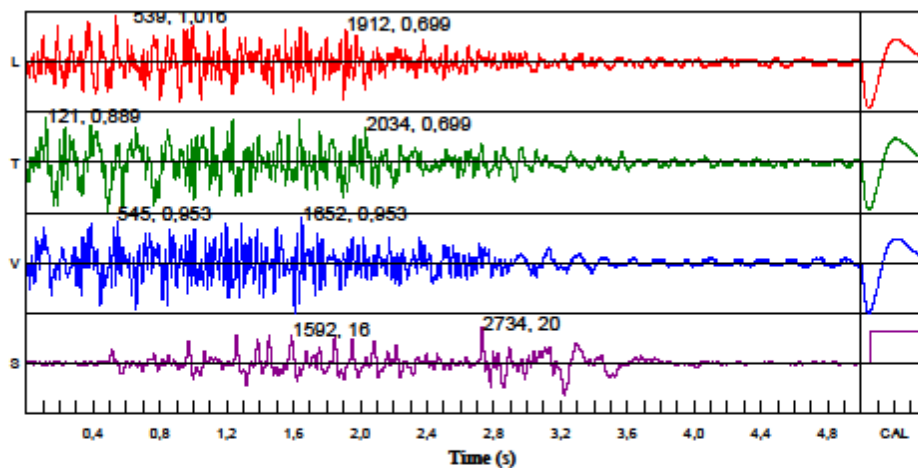
Shaketable Calibrated: 07.04.2014
 By: GeoSonics Inc.
 359 Northgate Drive
 Warrundale, PA 15086 U.S.A.
 TEL: 724.934.2900 FAX: 724.934.2999

Velocity Waveform Graph Scale
 Time Scale: 0,100 s
 Seismic Scale: +/- 1,28 mm/s
 Sound Scale: +/- 36,3 PSI



Velocity Waveform

SN: 8991 Event: 2



Printed: junho 12, 2015 File: #005_002.EV3 (GeoSonics Inc. AnalysisNET v8.1.54)

Fonte: LACAM (2015).

Os mesmos apresentam dados de velocidade de partículas, nos três eixos; longitudinais (L), verticais (V) e transversais (T), distribuídos de acordo com o tempo e

também suas possíveis resultantes. Há também informações como frequência, distância do ponto do sismógrafo até a detonação (este dado é informado pelo operador) e entre outros.

De acordo com Nicholson (2005), no qual o mesmo mostra a Tabela 2 com os intervalos típicos durante a sismografia. No qual ressalta que os pontos mais relevantes são os relacionados com os valores de pico, que nem sempre aparecem ao mesmo tempo nos sismogramas, em virtude do material (maciço rochoso) não ser isotrópico, fazendo com que o vetor resultante torne-se um valor extremamente relevante.

Tabela 2 - Intervalo de registro nos sismogramas.

Parâmetros	Intervalos
Deslocamento	0,0001 - 10 mm
Velocidade de partícula	0,001 -1000 mm/s ²
Aceleração de partícula	10 – 100000 mm/s ²
Duração do pulso	0,5 – 3 s
Comprimento de Onda	30 – 1500 m
Frequência	0,5 – 200 Hz
Tensão	0,003 – 5x10 ³

Fonte: Adaptado de Nicholson (2005)

Através dos sismogramas, tomando como base os dados obtidos, pode-se certificar se as vibrações provocadas pelas detonações, nas operações minerárias, estão nos conformes ou não no que se diz respeito aos níveis de danos que possam causar as estruturas em suas proximidades. Tomando esses dados também é possível a construção da equação de atenuação, relacionada com a carga explosiva e a distância escalonada para a previsão de futuros níveis por ela provocado. Por isso, tem-se a sismografia e seu monitoramento como uma ferramenta essencial para o controle ambiental e operacional das operações de desmonte de rocha.

Todavia, o mesmo proporciona verificações dos níveis de vibração provocados em relação aos limites de segurança estabelecidos pela legislação, portando, permite com base nos registros, efetuar a possível predição dos níveis de vibração provocados pelas próximas operações, determinando assim fatores ajustáveis do plano de fogo, a saber, a carga máxima por espera a ser detonado, limitando assim a quantidade de explosivos, através do ajuste dos tempos de retardos.

2.8 Normalizações: nacionais e internacionais

Os países considerados desenvolvidos sempre tiveram um maior interesse para o controle de operações, parte importante são os limites pré-estabelecidos de amortização

para problemáticas ambientais e estruturais. Desta forma, foram criadas instituições que mediante a estudos técnicos e aplicados à realidade desses países, são desenvolvidas normas ou leis para o estabelecimento de regras e diretrizes na área e assim a proteção de seu entorno.

As normas, por muitas vezes, apresentam uma semelhança, mas em muitas ocorrem uma grande diferenciação, pois muitos vêm de interesse particular, porque os estudos são desenvolvidos através de sua peculiaridade locais, de acordo com os países. Essas diretrizes, quando englobam o âmbito das vibrações, estas produzidas por detonações, apresentam diferentes valores de interesses; estes apresentam propostas bastantes conservadoras, como o caso da normativa DIN 4150, alemã, que os valores, para as velocidades máximas de partículas (PPV), são na ordem de 3 mm/s para zonas de edificações antigas, outro seria as normas americanas que exigem valores de 50 mm/s para suas estruturas. Desta forma, a grande maioria das normas, apresentam valores semelhantes a estes apresentados, variando desde 4 mm/s à 50 mm/s.

No que se diz respeito aos riscos causados pela vibração em uma estrutura, não está somente atrelado à velocidade de vibração da partícula, mas também a frequência emitida pela mesma. Em hipótese uma má situação, seria a produção de uma excitação à estrutura, causando um episódio de ressonância; fazendo com que a mesma tenha uma maior absorção de energia e assim há uma maior probabilidade de que se pode causar maiores danos a mesma. Por este motivo é muito importante determinar claramente quais são as amplitudes frequências que serão geradas pelas ondas causadas pelas detonações.

2.8.1 Normas da Comunidade Europeia

2.8.1.1 Alemã: DIN 4150-3

A normativa alemã DIN 4150, em sua terceira parte, trata-se das vibrações; de caráter interno e externo, e seus efeitos em edificações e seus elementos estruturais. Ela estabelece valores limites de velocidade máximas de partícula em mm/s, considerando o tipo de estrutura e o intervalo de frequência em Hz; estes valores, de acordo com a norma, asseguram a integridade das estruturas. O tipo de edificações, são separados em três classes, estas são:

- Edificações estruturais ou industriais;
- Edificações residenciais;
- Edificações históricas ou delicadas.

As frequências são apresentadas em intervalos, estes: menores que 10 Hz, compreendidos entre 10 e 50 Hz, entre 50 e 100 Hz e para valores maiores que 100 Hz, a norma prevê que a grande maioria das estruturas suportam tais níveis. Os valores de velocidade máximas de partícula, variam de 3 mm/s, para casos de históricas ou construções ditas como “delicadas” com frequências inferiores a 10 Hz, até 50 mm/s nos casos de estruturas industriais com frequências entre 50 e 100 Hz (GOMES, 2016). Para os diferentes valores apresentados como danosos às estruturas, pelas questões de vibrações, em função da frequência, são apresentados na Tabela 3:

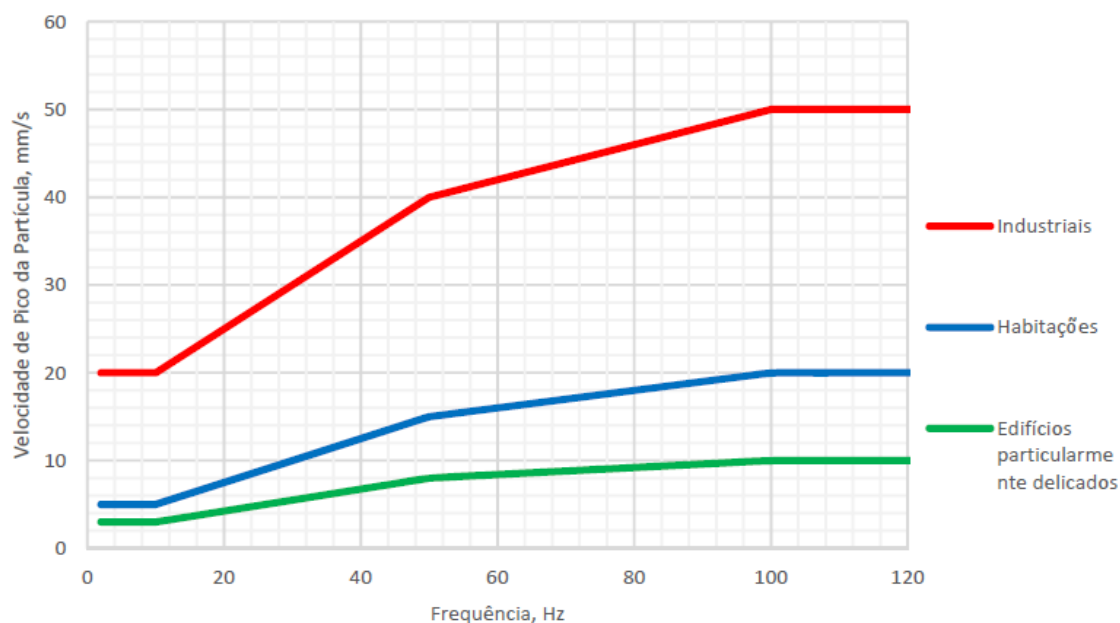
Tabela 3 - Velocidades máximas de partícula, impostas pela Norma DIN 4150

	Frequência (Hz)			
	Medidas nas Fundações			Medidas no topo da estrutura
Tipos de Estruturas	< 10	10 -50	50 - 100	0 - ∞
Estruturais ou Industriais	20 mm/s	20 – 40 mm/s	40 -50 mm/s	40 mm/s
Residenciais	5 mm/s	5 – 15 mm/s	15 – 20 mm/s	15 mm/s
Histórias ou Delicadas	3 mm/s	3 – 8 mm/s	8 – 10 mm/s	8 mm/s

Fonte: Adaptada da DIN 4150-3:1999.

A Figura 14 apresenta o gráfico dos valores limites da velocidade de vibração das partículas, descritos na norma:

Figura 14 - Limites de velocidade, presentes na norma, medidos nas fundações.



Fonte: Gomes (2016).

2.8.1.2 Espanhola: UNE 22381-93

Na Espanha, a escolha do critério para a prevenção de danos, deve ser baseada de acordo com a normativa vigente, esta: ITC 10.03.01 “*Voladuras Especiales*” da RGNBSM (*Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera*). Estes critérios se baseiam na velocidade de partícula, tomando alusões à frequência. A ITC refere-se a norma UNE 22381-93 “*Control de Vibraciones producidas por Voladuras*”. Esta última norma está estruturada em uma série de conteúdos que permite descrever, limitar e estudar as possíveis vibrações produzidas pelas detonações, de tal maneira à facilitar tanto o trabalho execução do projeto quanto à facilidade de interpretação por parte das autoridades competentes (IRIARTE e ALBERTO, 2010).

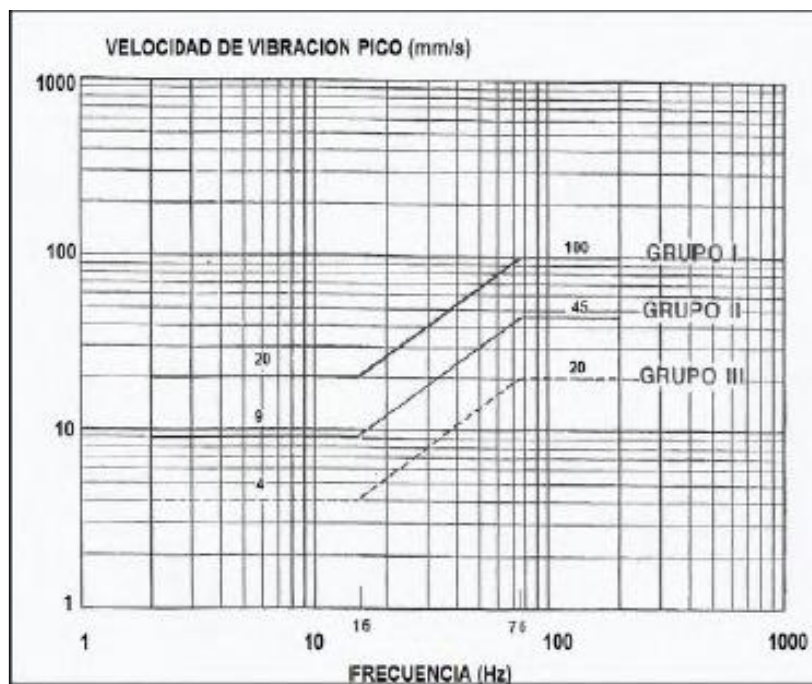
A norma, inicialmente, define os parâmetros fundamentais decorrentes da vibração e como calculá-los, primeiramente a velocidade de partícula, que se entende como a amplitude máxima da componente principal da onda na vibração, expresso como termo de velocidade de vibração e medida em mm/s; depois à frequência decorrente desta vibração.

Logo após esta etapa, segue uma distinção de grupos de estrutural, nos quais:

- Grupo I: estruturas industriais;
- Grupo II: habitações, alojamentos, residências etc.
- Grupo III: monumentos e “estruturas delicadas”.

Para as estruturas que não se adequam ou não citadas nesses grupos, necessitam de um estudo ou tratamento particular quando se diz respeito as definições de limites de tolerâncias estabelecidos. Dependendo dos diferentes tipos de edificações a função de frequência, há uma velocidade limite de vibração, que aumentam proporcionalmente A Figura 15 - Limites de velocidade de partícula presentes na norma UNE 22.381-1993 abaixo traz os valores admitidos pela norma.

Figura 15 - Limites de velocidade de partícula presentes na norma UNE 22.381-1993



Fonte: Iriarte e Alberto (2010)

A Tabela 4 apresenta os valores estabelecidos pela norma, de acordo com os seus determinados grupos:

Tabela 4 - Velocidade, frequência e o tipo de estrutura (UNE 22-381-93)

		Frequência Principal (Hz)		
		2 - 15	15 - 75	> 75
Tipo de Estrutura	Grupo I	20	0,212	100
	Grupo II	9	0,095	45
	Grupo III	4	0,042	20

Fonte: Viralta e Enrique (2004)

Nota-se que na Tabela 4 a seção compreendida no intervalo de frequência 15 e 75 Hz, está sendo dados em níveis do fator deslocamento, dependendo do tipo de estrutura. Para isto, calcula-se a velocidade correspondente, conhecendo a frequência, através da seguinte expressão 21:

$$V = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot d \quad (21)$$

No qual:

- V: velocidade em mm/s;
- π : 3,1416;
- f: frequência principal em Hz;
- d: deslocamento indicado pela tabela.

A definição de frequência principal, utilizado na normativa espanhola se dá utilizando a transformada rápida de Fourier, a citação a seguir expressa tal conjuntura (Site da empresa NSK Motion & Control, 2016):

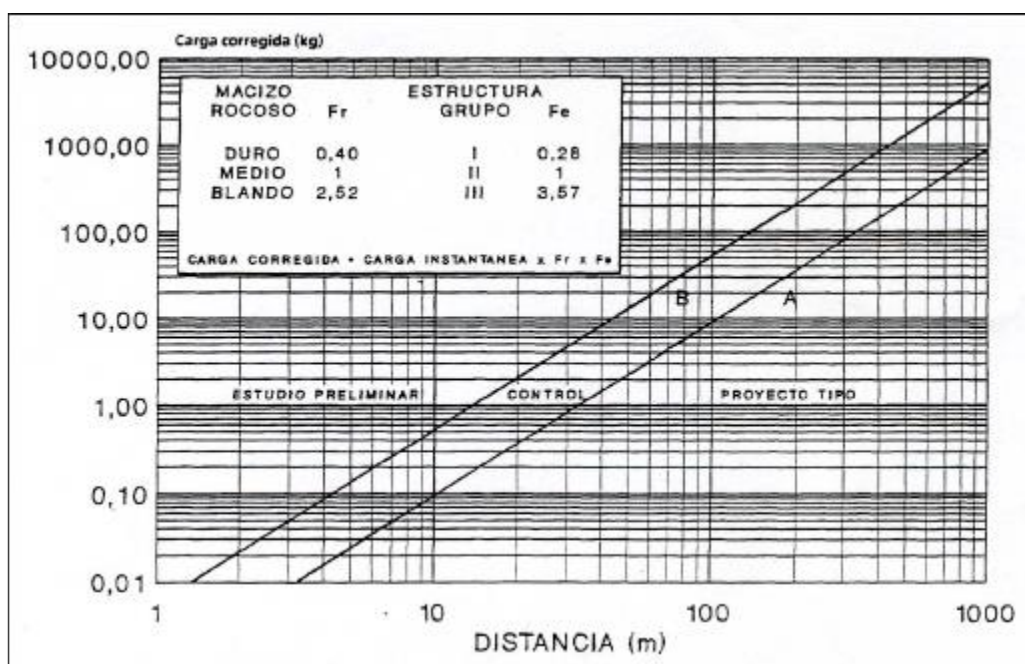
Modernos analisadores de vibração utilizam a Transformada Rápida de Fourier (Fast Fourier Transform). Uma FFT é uma transformação de dados do domínio do tempo (amplitude em função do tempo) em dados de domínio de frequência (amplitude em função da frequência), feita por um computador (microprocessador).

A presente norma também contempla outro tipo de estudo específico, no qual leva-se em consideração o tipo de explosivo utilizado, o tipo do terreno, a estrutura no qual será objeto de monitoramento, a distância que existe entre o ponto de estudo e a detonação e a carga máxima por espera. Neste estudo se divide em três tipos (VIRALTA e ENRIQUE, 2004):

- Projeto de vibração: é o de menor nível de exigência, embasado numa justificativa teórica obtida pela aplicação direta da norma, no qual os níveis de vibração não excedam os limites estabelecidos;
- Medição e o controle: apresenta um grau intermediário, se trata em uma medição real das primeiras detonações do projeto, a fim de definir os níveis de vibração geradas;
- Estudo preliminar: é o mais rigoroso, é necessárias as circunstâncias do trabalho tais que se devem conhecer o comportamento sísmico do terreno.

É utilizado a Figura 16 no qual é possível se obter o conhecimento do tipo de estudo a ser requerido.

Figura 16 - Gráfico da norma UNE 22-381-1993, que permite conhecer o tipo de estudo requerido.



Fonte: UNE 22-381 (1993).

2.8.2 Normas Americanas

2.8.2.1 Norte-Americana: RI 8507

O USBM (United States Bureau of Mines) em associação com a OSMRE (Office for Surface Mining Reclamation), estabeleceram uma norma para controle de danos provocados por vibrações decorrentes dos desmontes de rocha por explosivos.

Em 1962, baseando-se em aproximadamente 40 artigos de temas associados aos controles de vibrações produzidos por atividades mineiras, realizou-se uma revisão no qual encontrou-se apenas três que apresentavam dados com observações sobre os níveis de danos às estruturas das edificações, estes trabalhos são dos autores: Lee et al. (1936), Thoenen e Windes (1942) e Edwards e Northwood (1960). Estes trabalhos foram elaborados de formas estatísticas, tratando-se a determinar qual parâmetro (deslocamento, velocidade ou aceleração) apresentava uma melhor correlação com o grau de dano observado. No qual, conclui-se que o indicador de velocidade de partícula é o parâmetro mais adequado e quando seu valor é de 50 mm/s há uma probabilidade muito baixa de ocorrência de danos, para uma grande variedade de condições geológicas (VIRALTA e ENRIQUE, 2004).

A Tabela 5 correlaciona a velocidade de partícula, com intervalos de frequência e o tipo de estrutura que será passivo de sofrer danos.

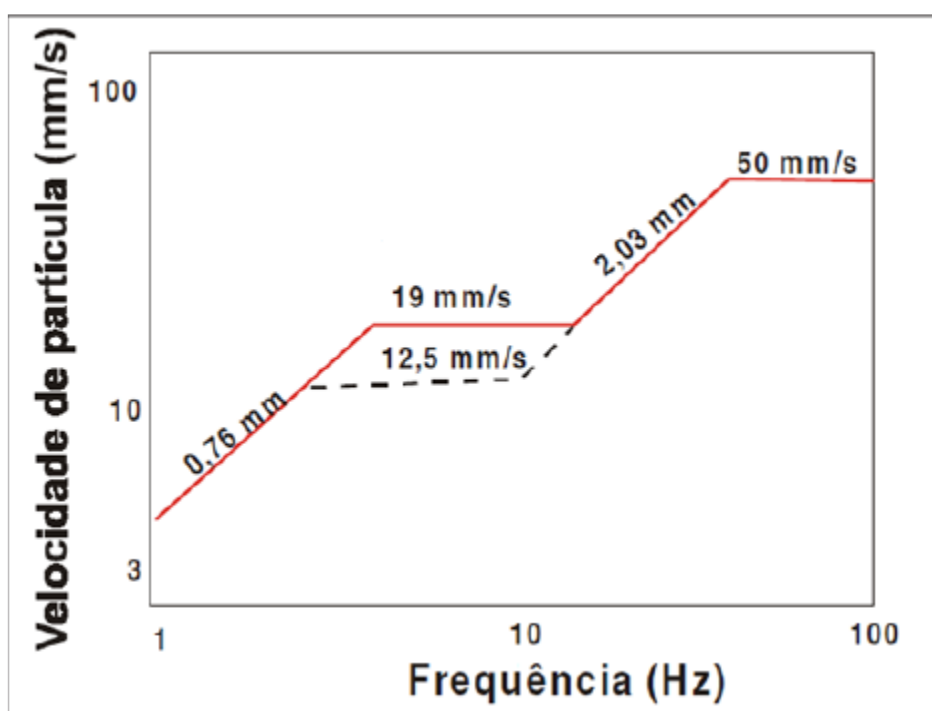
Tabela 5 - Velocidade máxima de partícula proposta pela norma.

Tipo de Estrutura	Baixa Frequência (< 40 Hz)	Altas Frequência (> 40 Hz)
Casas modernas com paredes revestidas de material diferente de reboco comum (gesso, etc.)	19 mm/s	50 mm/s
Casas antigas, com paredes rebocadas	12,5 mm/s	50 mm/s

Fonte: Adaptada, Siskind et al. (1980).

Para o gráfico de representação da norma, o mesmo inclui uma parte tracejada na curva, no qual a parte tracejada é a sugerida pela OSM e não tracejada da USBM, como mostra a Figura 17:

Figura 17 - Limites de velocidade de partícula e sua respectiva frequência, de acordo com a RI 8507-1980.



Fonte: Fonte: Bacci (2003).

2.8.2.2 Brasileira: NBR – 9653

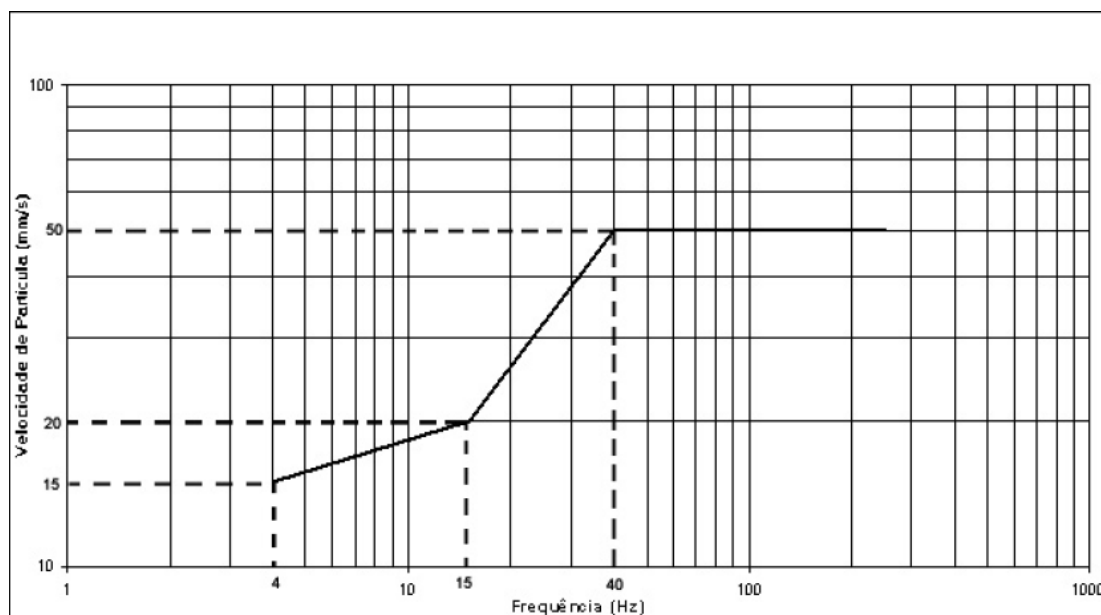
No Brasil, através da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) foi concebida a norma NBR-9653 a partir de coleta de estudos técnicos internacionais e fazendo uma associação com alguns dados utilizados em pedreiras nacionais localizadas próximos a grandes áreas urbanas, estas últimas concentradas em sua maioria no Estado de São Paulo.

A presente norma correlaciona a velocidade de partícula de pico, com os intervalos de frequência para a delimitações dos aceitáveis níveis, nesta não diferencia os

tipos de estruturas como outras normas citadas neste referido trabalho. Há também, de forma paralela, uma norma estadual D7.013 ABR/92, do estado de São Paulo expedida pela CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental), limitando de forma mais rigorosa os níveis de vibração presentes na região (SILVA, 2012).

A Figura 18 e a Tabela 6; apresentam os limites presentes na norma, sua frequência e velocidade:

Figura 18 - Limites da Norma NBR 9653:2005.



Fonte: NBR 9653:2005.

Tabela 6: Limites da Norma NBR 9653:2005.

Faixa de Frequência	Limite de Velocidade de vibração de partícula de pico
4 Hz a 15 Hz	Iniciando 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 de no máximo 0,6 mm (de zero a pico).

Fonte: NBR 9653:2005.

2.9 Considerações Geológicas

A empresa em estudo fica localizado no Estado da Paraíba que possui um grande potencial no que se diz respeito aos minerais não metálicos, mais destinados às indústrias pertencentes da construção civil.

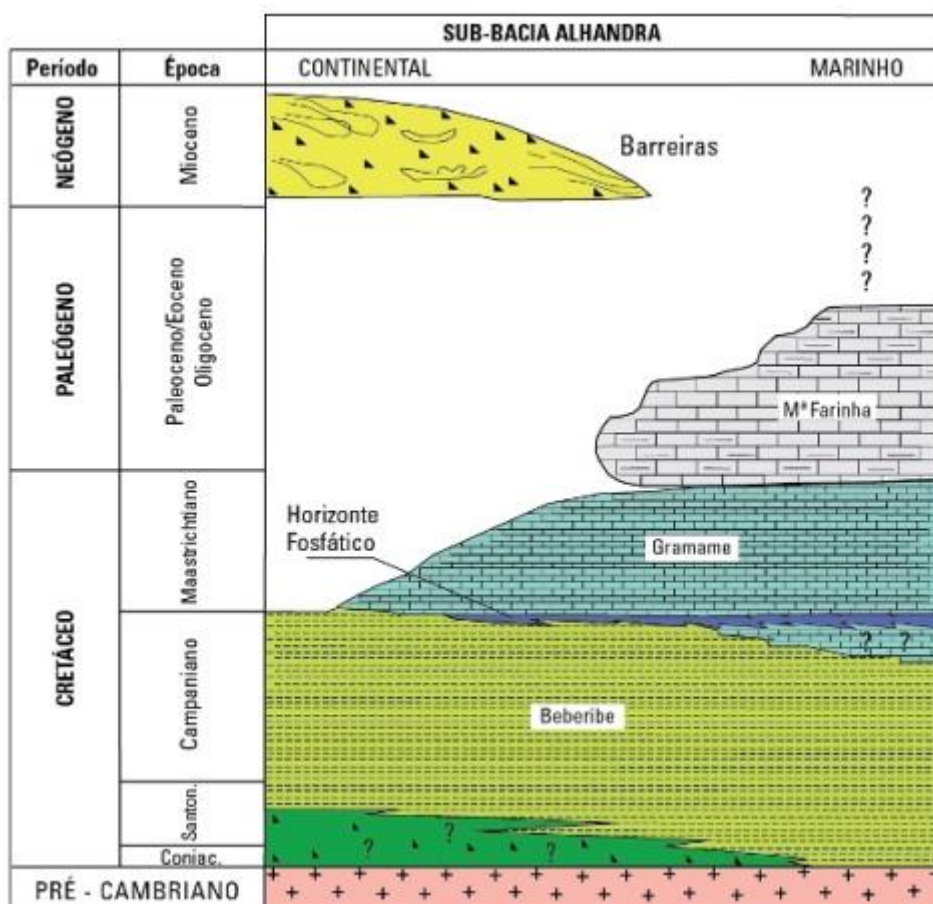
Nessa região, o calcário é o minério mais explorado, é uma matéria prima que tem uma vasta quantidade de aplicações; em seu estado natural, moído ou calcinado. É

demasiadamente utilizado nas indústrias de cimento, produção de cal, indústrias de fabricação de tintas, inseticidas, material de limpeza, corretivos de solos, alimentos animais etc (SANTOS, FERREIRA e SILVA JR.).

Para a fabricação do cimento, são usados calcário e argilas, que após sua extração são fragmentados, através de moinhos, à uma certa granulometria e logo após calcinados em fornos, à temperaturas superiores a 1300°C, transformando-se no clínquer. Este, quando adicionado de gesso, dão origem ao produto final, que podem ser embalados ou vendidos a granel e disponíveis para mercado (SOUZA, 2016). As minerações de calcário, na sua maior parte, são lavradas a céu aberto, no qual os custos da exploração se torna bastante reduzido.

A geologia na qual a empresa está localizada, fica compreendida em terrenos sedimentares entre o Grupo Paraíba e o grupo Barreiras. O Paraíba, destaca-se a formação Gramame é a primeira unidade carbonática de domínio marinho e repousa concordantemente sobre a Formação Beberibe/Itamaracá (Figura 1). Formada por calcário margosos, com coloração cinza na sua base e amarelado em seu topo, apresentando formações estratificadas bem definidas com camadas sub-horizontais, compactas, com presença de lentes argilosas, bastante fossilífera (BARROS, 2008).

Figura 19 - Estratificação esquematizada da bacia Pernambuco-Paraíba.



Fonte: SANTOS, FREITAS, FURRIER (2015).

A espessura máxima da formação Gramame é de no máximo 70 m. Porém, há uma predominância de espessuras inferiores a 55 m, dos quais 70% há uma predominância de um calcário argiloso cinzento. As estratificações se iniciam com camadas de calcários brancos dolomíticos, tornando-se cálcicos, contendo grãos milimétricos de quartzo, mal distribuídos, apresentando uma tonalidade azul e outras camadas de arenitos com os mesmos grãos de quartzo (FURRIER, 2007).

Dando seguimento a estratificação, logo após a camada de calcários brancos dolomíticos, há uma sequência do mesmo mineral sendo extremamente fossilífera, contendo crustáceos, dentes, escamas de peixes etc., típicos de um ambiente marinho. Essa estratificação é uma sequência da Formação Itamaracá.

Prosseguindo esta última camada há uma de arenito calcífero com uma tonalidade mais escura, com um baixo teor de fosfato, sendo bastante compacto apresentando uma espessura em torno de 1m. Que logo após inicia-se outra estratificação (camada) de um calcário de cor cinza escuro, com espessura de 30 metros, como mostra a Figura 20. Acima dessa última estratificação, há outra camada de arenito de cor amarela, por apresentar processo de oxidação.

Figura 20 - Aspectos dos calcários da Intercement.



Fonte: LACAM (2013).

Sobre a formação Gramame, aparecem sedimentos argilo-arenosos ou argilo-siltosos, pertencentes ao grupo Barreiras. No qual dar-se-á sedimentos de origem continental. A sequência de estratificação, pode ser resumida na sequência: sobre o calcário margoso amarelo, começa uma camada de arenito de silicatos hidratados de alumínio de granulação média à um pouco mais grosseira, tendo, por vez, pequenos leitos com aspectos conglomerados; no qual o mesmo passa de uma cor predominante para uma variada, com predominância de vermelho e branco (BARROS, 2008).

O seguimento arenoso passa gradativamente à cor vermelha devido ao material original ser substituído por uma solução limonítica, que, aos poucos, cimenta os grãos de quartzo, fazendo com que tenha no seu final um aspecto conglomerado, como mostra a Figura 21.

Figura 21 - Segmento arenoso com predominância de cor vermelha.



Fonte: LACAM (2013).

Na sequência arenosa é interrompida por um plano horizontal, com um mergulho sub-horizontal, apresentando uma direção aproximada para norte-oeste. Que sobre esse mesmo plano, inicia-se uma camada de silicato argiloso com uma predominância de cor vermelha na base e mudando para o amarelo em seu topo. Acima desta última, há uma camada arenosa cinza, rica em matéria orgânica que caracteriza o solo.

Contudo, o limite atual de calcários na área de estudo é de aproximadamente 20 km, a partir da linha de costa em direção ao continente.

3 A MINERAÇÃO DE CALCÁRIO EM JOÃO PESSOA-PB: ESTUDO DE CASO

3.1 Descrição do Empreendimento

A empresa estudada, a InterCement Participações S.A. (InterCement), acionista controladora da Cimpor, está localizada na área urbana do município de João Pessoa, porção oeste, no bairro da Ilha do Bispo, especificamente na propriedade denominada Fazenda da Graça, s/n, Paraíba; Brasil.

O acesso ao empreendimento, parte-se do cruzamento da BR 230 com BR 101, no estado da Paraíba, seguindo, pela primeira citada, cerca de 3km, pegando o acesso que dá em direção à Rodoviária, na Av Gal Aurélio de Lyra Tavares, após mais 3 km pega-se à direita na Rua Alfredo Dolabela Portela, no qual logo se avista a entrada da empresa, no qual sua lavra localiza-se na mesma área que abriga o seu beneficiamento, a Figura 22 e Figura 23 expressam de uma forma melhor.

Figura 22 - Localização da área de estudo, visão do nordeste.



Fonte: Imagem editada do Google Earth (2015).

Figura 23 - Imagem de satélite da área da empresa.



Fonte: Imagem editada Google Earth (2015).

A InterCement Participações S.A. é uma empresa nacional (brasileira) de capital privado, concentrando seus negócios na extração mineral e na produção de cimento, concreto, agregados e argamassa.

A empresa, nos últimos anos, passou por reformulações em sua estrutura de formação, alterando assim a sociedade do negócio, constituindo uma espécie de empresa majoritária (holding) InterCement Participações S.A.. Alterando assim, no decorrer do tempo, a razão social de Camargo Corrêa Cimentos S.A. para InterCement Brasil S.A., e a transferência das ações da InterCement Brasil S.A. para uma das empresas subsidiadas (holding), denominadas de: Cauê Austria Holding GmbH. de 1967 e a Camargo Corrêa Industrial. A InterCement Participações S.A., controladora da InterCement Brasil S.A., cresceu com base em projetos de expansões de unidades e aquisição de empresas do setor, como Cimento Cauê, de Minas Gerais, (1997), Loma Negra, na Argentina (2005) e Cimec do Brasil (2006). Em 2010, adquiriu cerca de 33% da Cimpor - Cimentos de Portugal e em 2012 assumiu 94,11% do capital da empresa. Em fevereiro de 2013, a companhia ampliou seu capital com a incorporação da controlada CCB - Cimpor Cimentos do Brasil S.A., o que impactou significativamente os resultados da companhia.

Esta mineração apresenta um grande destaque no estado da Paraíba. Segundo Gutierrez (2011) a área no qual a empresa ocupa é historicamente utilizada na extração

de argila e calcário desde 1930, atualmente a empresa ocupa uma área de aproximadamente 380 ha.

O processo de exploração é feito a céu aberto e o seu beneficiamento para a fabricação do cimento, também é feito na própria empresa. Esta extração é feita de forma habitual, utilizando explosivos e também outra parte é feita por desmonte mecânico, fazendo uso de equipamentos do tipo escavadeiras.

3.2 Monitoramento Ambiental

No presente estudo, todo o monitoramento sismográfico, com a supervisão e avaliação do professor Dr. Carlos Magno M. e Silva; foi feita pela equipe técnica pertencente ao Laboratório de Controle Ambiental (LACAM) da UFPE, junto com a empresa Intercement de João Pessoa.

Para a realização de tal monitoramento, foram necessários dois dias, utilizando 04 sismógrafos de engenharia, pertencentes ao próprio laboratório, todos estes da marca Geosonic e modelos SSU 3000 EZ, na Figura 24. Ocasionalmente assim 08 registros.

Figura 24 - Sismógrafo Geosonic SSU 3000 EZ.



Fonte: LACAM (2017).

Com um auxílio de um equipamento de GPS, modelo Garmin 650, demonstrado na Figura 25, foram demarcados pontos em uma comunidade próxima, estes medidos as distâncias de cada ponto até o centro de massa da detonação.

Figura 25 - GPS Garmin 650.



Fonte: <https://www.google.com.br/imghp?hl=pt-PT> (2017).

A Tabela 7 apresenta um resumo dos dados coletados junto aos sismógrafos, reunindo informações dos locais onde foram locados os sismógrafos, velocidade de pico nos três eixos e a resultante, frequência e as distância do equipamento até a detonação.

Tabela 7 - Resumo dos monitoramentos.

Ponto	Data	Velocidade de Pico Longitudinal (mm/s)	Velocidade de Pico Transversal (mm/s)	Velocidade de Pico em Vertical (mm/s)	Velocidade de Pico Resultante (mm/s)	Frequência Longitudinal (Hz)	Frequência Transversal (Hz)	Frequência Vertical (Hz)	Distância (m)
Ponto 1 (Condomínio)	07/05/2015	3,43	3,37	2,73	3,62	5,3	8,5	7,1	381
Ponto 2 (Posto Setta)	07/05/2015	3,11	2,03	1,46	3,11	9,8	17,9	4,7	417
Ponto 3 (Res. Sra. Socorro)	07/05/2015	3,62	3,05	1,71	3,87	6,1	5,4	17,2	366
Ponto 4 (Residência Sr. Jacinto)	07/05/2015	2,35	2,79	1,27	2,86	5	4,8	6,8	440
Ponto 1 (Condomínio)	11/06/2015	1,21	1,27	1,27	1,52	13,5	12,2	27,8	459
Ponto 2 (Posto Setta)	11/06/2015	1,52	1,59	0,95	1,65	15,6	11,9	9,8	480
Ponto 3 (Res. Sra. Socorro)	11/06/2015	2,41	1,71	2,22	2,54	21,7	10,2	50	416

Ponto 4 (Depósito Sr. José)	11/06/2015	1,02	1,14	1,27	1,46	25	10	15,2	490
-----------------------------------	------------	------	------	------	------	----	----	------	-----

Fonte: Autor (2017).

As detonações e monitoramento foram realizadas nos dias 07 de maio de 11 de junho de 2015, o último foi feito na comunidade próxima, onde há um agravante de reclamações devido às vibrações da mesma. A população relata fissuras em suas edificações. Com isso se viu uma necessidade de estudo para a melhoria de todo esse problema. As figuras Figura 26 e Figura 27, mostram as localidades dos pontos até a bancada, utilizando o Google Earth como auxílio.

Figura 26 - Localização dos pontos monitorados, no dia 07/05/2015, a partir da Bancada de Detonação: Ponto 1 (Condomínio), Ponto 2 (Posto Setta), Ponto 3 (Res. Sra. Socorro) e Ponto 4 (Residência Sr. Jacinto).



Fonte: LACAM (2015)

Figura 27 - Localização dos pontos monitorados, no dia 11/06/2015, a partir da Bancada de Detonação: Ponto 1 (Condomínio), Ponto 2 (Posto Setta), Ponto 3 (Res. Sra. Socorro) e Ponto 4 (Depósito Sr. José).



Fonte: LACAM (2015)

As figuras abaixo, mostram os sismógrafos instalados nas residências, no dia 07/05/2015 e logo após a locação do dia 11/06/2015.

Figura 28 - Ponto 1 (Condomínio), Data 07/05.

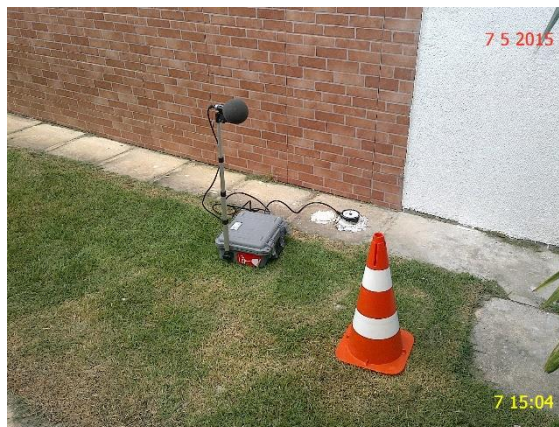


Figura 29 - Ponto 2 (Posto Setta), Data: 07/05.



Figura 30 - Ponto 3 (Res. Sra. Socorro), Data: 07/05.

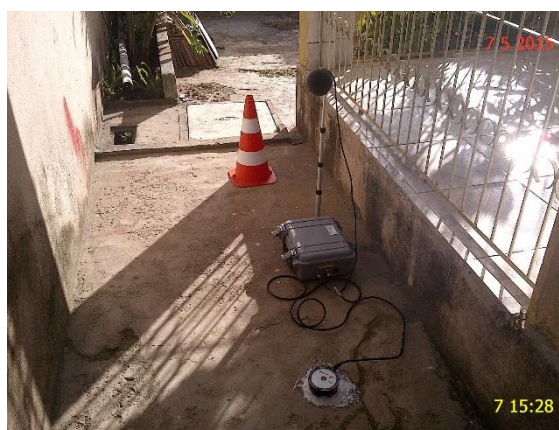


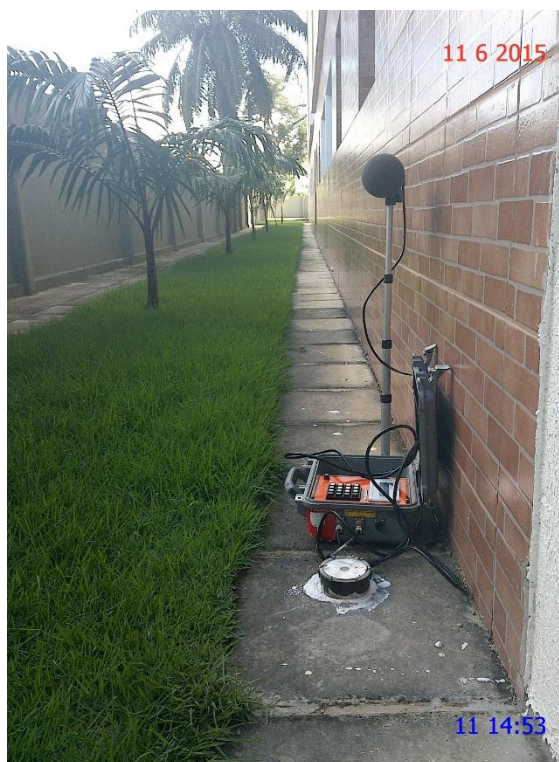
Figura 31 - Ponto 4 (Residência Sr. Jacinto), Data: 07/05.



Fonte: LACAM (2015).

Figura 32 - Ponto 1 (Condomínio), Data: 11/06.

Figura 33 - Ponto 2 (Posto Setta), Data: 11/06.



**Figura 34 - Ponto 3 (Res. Sra. Socorro),
Data: 11/06.**



**Figura 35 - Ponto 4 (Depósito Sr. José),
Data: 11/06.**



Fonte: LACAM (2015).

4 ANÁLISES, INTERPRETAÇÕES E DISCUSSÕES DE DADOS

4.1 A Tecnologia de Desmonte Adotada: Sistema de Iniciação

Para os detonadores eletrônicos, seu funcionamento se dá através de uma corrente elétrica que é transmitida por uma fonte de energia através de fiações no circuito, conectados por uma espécie de ponto de alta resistência, no qual é convertida em energia de calor. Dependendo do seu tipo, esses iniciadores podem conter uma espécie de retardo dentro do próprio sistema, no qual a energia antes de acionar a "carga de fundo", aciona o retardo que por sua vez aciona a carga (FRANÇA, 2014).

Figura 36 - Iniciador eletrônico.



Fonte: Engineering Rock Blasting Operations (1997).

Para a maioria das operações de detonação é uma vantagem ter os furos acionados em uma sequência predeterminada com intervalos de tempo específicos. As vantagens mais notáveis dos iniciadores eletrônicos são:

- Redução de vibração e ultralanchamentos;
- Redução na propagação de trincas;
- Melhora a fragmentação do material.

O retardo é inserido entre o sistema de ignição e a carga de fundo (Figura 36), este elemento consiste de uma coluna de composição de queima “lenta” contida em um tubo de metal de parede espessa. O comprimento e composição determinam a quantidade de tempo de retardo introduzido ao detonador.

Existem três séries de retardo básico:

- Tempos longos ou aqueles que têm intervalos de meio segundo;

- Tempos curtos ou aqueles que têm intervalos de milissegundos;
- E iniciadores para usos específicos em minas de carvão.

Os iniciadores lentos são usados principalmente em construção de túneis, poços (*shaft*) e em minas subterrâneas de metal, os tempos de intervalos padrões são de 0,5 a 1,0 segundos entre as detonações. Os rápidos são os mais comumente usados, nas detonações, seus intervalos de 17 a 50 ms. Os de mina de carvão são especialmente projetados e fabricados para uso exclusivo, os mesmos apresentam tecnologia para que não haja energia suficiente para acionar o gás metano ou o carvão presente nas minas, esses sistemas de iniciação elétrica só são permitidos intervalos de 50 à 100 ms (BHANDARI, 1997).

Esses acessórios necessariamente contem pequenas quantidades de explosivos muito sensíveis, o uso e manuseio inadequado podem apresentar riscos totalmente inaceitáveis e é necessário saber a extensão do risco e seus métodos para eliminá-lo. Todos eles, elétricos ou não, são sensíveis ao calor, atrito e choque, e, portanto, é preciso evitar leva-los para lugares onde podem ser submetidos a tais efeitos. Devem ser tomadas precauções para garantir seu transporte do armazenamento para o local de uso.

Há um risco de iniciação acidental dos detonadores onde a eletricidade é encontrada, e precauções especiais devem ser tomadas, os riscos são de relâmpagos, eletricidade "perdidas" de máquinas ou cabos; correntes elétricas de linhas de alta tensão, eletricidade estática do vestuário não condutora, pneumaticamente carregada de nitrato de amônio, rádio ou outros sinais magnéticos.

Para presente estudo faz-se uso dos detonadores da marca DINACON, da série Dinatron Iriun e as espoletas Dina 8, como mostra a

Figura 37 - Detonador eletrônico Dinatron Iriun.



Fonte: <http://site.dinacon.ind.br/produtos/dinatron-iriun/> (2017).

4.2 Parâmetros e/ou Variáveis de Controle

A velocidade de partícula é representada por um vetor com três componentes:

- A direção vertical composta pelo eixo Z;
- A direção longitudinal composta pelo eixo X (este que seria como uma linha imaginária, no qual une o centro de massa da detonação com o ponto no qual está locado o sismógrafo);
- A direção transversal composta pelo eixo Y (formando um ângulo de 90° com a longitudinal – Y – em um mesmo plano horizontal).

A Tabela 8 mostra os valores dos vetores velocidade para cada ponto de medição obtidos em campo e suas correspondentes somas vetoriais para a obtenção do valor de velocidade de pico real. É importante frisar que este valor de velocidade de pico é obtido por a soma vetorial das três componentes máximas do vetor velocidade não se corresponde com a expressão (22) matemática apropriada para este cálculo:

$$V_p = \sqrt{|V_{Xmax}|^2 + |V_{Ymax}|^2 + |V_{Zmax}|^2} \quad (22)$$

Tabela 8 - Velocidade de cada componente e suas respectivas resultantes.

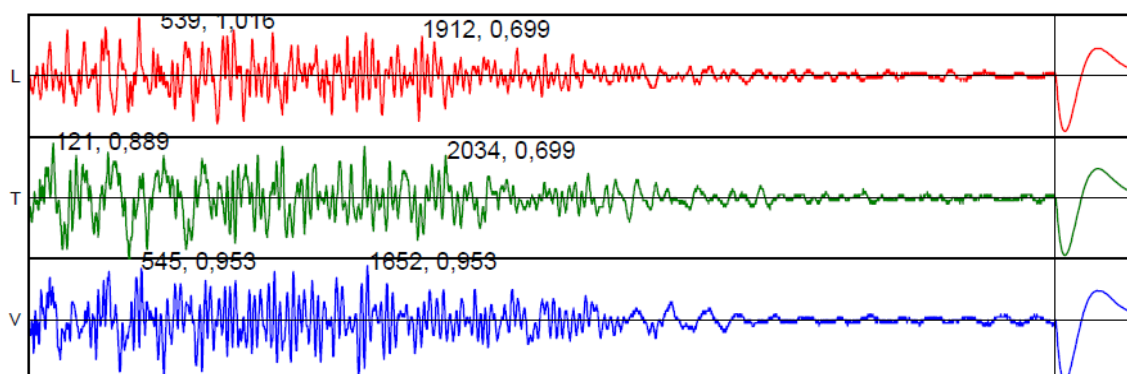
Pontos	Data	Velocidade de Pico em X (mm/s) - longitudinal	Velocidade de Pico em Y (mm/s) – transversal	Velocidade de Pico em Z (mm/s) - vertical	Velocidade de pico resultante (mm/s)
--------	------	---	--	---	--------------------------------------

Ponto 1 (Condomínio)	07/05/2015	3,43	3,37	2,73	3,62
Ponto 2 (Posto Setta)	07/05/2015	3,11	2,03	1,46	3,11
Ponto 3 (Res. Sra. Socorro)	07/05/2015	3,62	3,05	1,71	3,87
Ponto 4 (Residência Sr. Jacinto)	07/05/2015	2,35	2,79	1,27	2,86
Ponto 1 (Condomínio)	11/06/2015	1,21	1,27	1,27	1,52
Ponto 2 (Posto Setta)	11/06/2015	1,52	1,59	0,95	1,65
Ponto 3 (Res. Sra. Socorro)	11/06/2015	2,41	1,71	2,22	2,54
Ponto 4 (Depósito Sr. José)	11/06/2015	1,02	1,14	1,27	1,46

Fonte: Autor (2017).

A explicação para esta situação se deduz na Figura 38 no qual pode-se observar em um sismograma que apresenta as três componentes de registro de maneira isolada, destacando-se que a velocidade de pico não se produz simultaneamente nas três direções, desta forma, como é nesse caso, a componente vertical pode apresentar seu pico em intervalos de tempos diferentes (milésimos de segundos), inclusive após a velocidade de pico longitudinal. Ocorre que se deseja medir, de acordo com as normas técnicas, a velocidade resultante a cada intervalo de tempo de modo a obter a velocidade máxima. Há um *software* do próprio fabricante do sismógrafo utilizado em campo (SSU 3000 EZ) que já permite, de forma automática, o cálculo dessa velocidade.

Figura 38 - Sismograma correspondente ao Ponto 01 (Condomínio).



Fonte: LACAM (2015).

De acordo com Chapot (1981), caso o sismógrafo não seja munido de tal ferramenta, permite-se a soma vetorial dos picos máximos, identificados, em cada

componente, mesmo em tempos diferentes, esta metodologia de cálculo de velocidade de pico trabalha a favor da “segurança”, já que em na pior das hipóteses a velocidade resultante estimada será igual a velocidade resultante real.

Na Tabela 9 apresenta os valores de frequência das três componentes, obtidas em campo.

Tabela 9 - Frequência de cada componente e seus pontos.

Ponto	Data	Frequência X (Hz)	Frequência Y (Hz)	Frequência Z (Hz)
Ponto 1 (Condomínio)	07/05/2015	5,3	8,5	7,1
Ponto 2 (Posto Setta)	07/05/2015	9,8	17,9	4,7
Ponto 3 (Res. Sra. Socorro)	07/05/2015	6,1	5,4	17,2
Ponto 4 (Residência Sr. Jacinto)	07/05/2015	5	4,8	6,8
Ponto 1 (Condomínio)	11/06/2015	13,5	12,2	27,8
Ponto 2 (Posto Setta)	11/06/2015	15,6	11,9	9,8
Ponto 3 (Res. Sra. Socorro)	11/06/2015	21,7	10,2	50
Ponto 4 (Depósito Sr. José)	11/06/2015	25	10	15,2

Fonte: Autor (2017)

Citados em capítulos anteriores, para a elaboração da lei de atenuação, que se baseia na construção de um gráfico, a partir dos valores de velocidade de vibração em função da distância escalonada. A partir disso, busca-se obter a expressão 23:

$$v = a \cdot (DR)^b \quad (23)$$

Utilizando bases literárias e considerando os artifícios matemáticos semelhantes aos encontrados no mesmo, foram dispostos os pares ordenados de velocidade de vibração de partícula de pico (v) e a distância escalonada (DR) em um gráfico di-log, a fim de se obter a linearização dos pontos. A obtenção dos parâmetros da reta segue a expressão 24:

$$\log v = \log a + b \log DR \quad (24)$$

Para alcançar a distância escalonada, baseando-se na NBR 9653, foi montado uma Tabela 10, utilizando a fórmula contida na norma, que é a raiz quadrada da carga máxima por espera (CME), e assim feitas todas as distâncias escalonada, utilizando as informações contidas nos planos de fogo, no qual atribui um valor único de CME (55 kg).

Tabela 10 - Cálculo da distância escalonada.

Ponto	Distância (m)	Carga Máxima por Espera (kg)	Distância Escalonada
Ponto 1 (Condomínio)	381	55	51,4
Ponto 2 (Posto Setta)	417	55	56,2
Ponto 3 (Res. Sra. Socorro)	366	55	49,4
Ponto 4 (Residência Sr. Jacinto)	440	55	59,3
Ponto 1 (Condomínio)	459	55	61,9
Ponto 2 (Posto Setta)	480	55	64,7
Ponto 3 (Res. Sra. Socorro)	416	55	56,1
Ponto 4 (Depósito Sr. José)	490	55	66,1

Fonte: Autor (2017)

Foram utilizadas as 8 leituras. Mesmo sendo uma pequena quantidade, este número pode ser considerado suficiente para a formulação da Lei de Atenuação, de acordo com Jimeno, caso a curva resultado da mesma apresente um número considerável que este seja aplicado.

Na Tabela 11, apresenta todos dados utilizados para a lei de atenuação, estas são: velocidade de vibração da partícula e as distâncias escalonadas, calculadas na Tabela 10. Logo após segue o gráfico para obtenção da reta que auxiliará a criação da lei de atenuação.

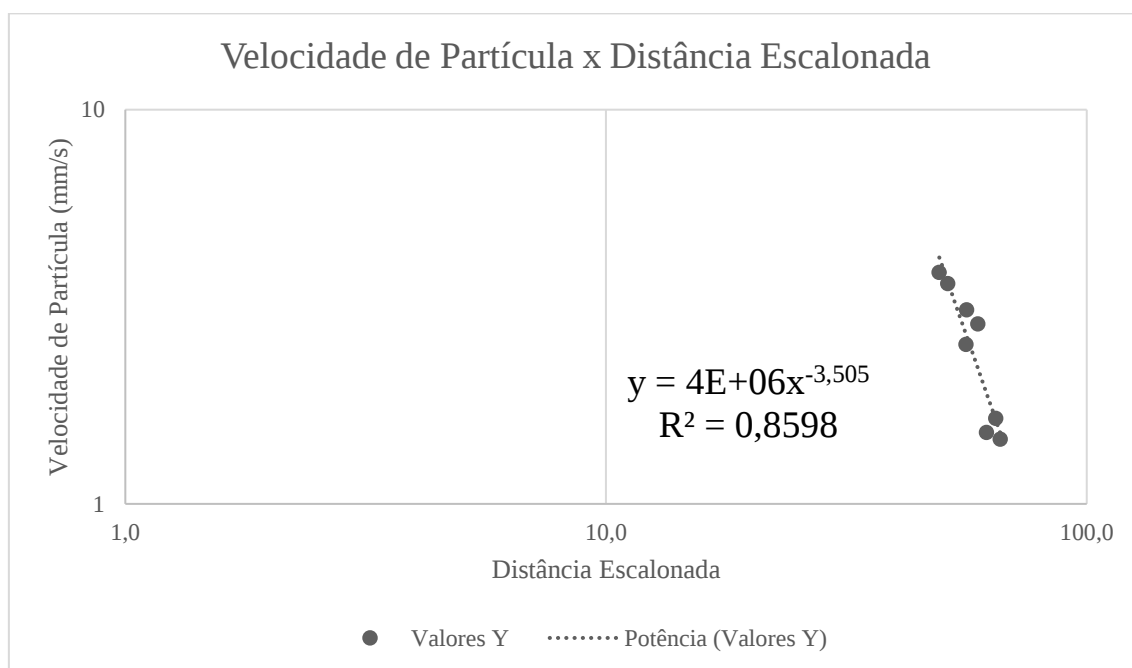
Tabela 11 - Dados utilizados para a construção do modelo da lei de atenuação.

Ponto	Data	Velocidade de Pico Resultante (mm/s)	Distância Escalonada
Ponto 1 (Condomínio)	07/05/2015	3,62	51,4
Ponto 2 (Posto Setta)	07/05/2015	3,11	56,2
Ponto 3 (Res. Sra. Socorro)	07/05/2015	3,87	49,4
Ponto 4 (Residência Sr. Jacinto)	07/05/2015	2,86	59,3
Ponto 1 (Condomínio)	11/06/2015	1,52	61,9

Ponto 2 (Posto Setta)	11/06/2015	1,65	64,7
Ponto 3 (Res. Sra. Socorro)	11/06/2015	2,54	56,1
Ponto 4 (Depósito Sr. José)	11/06/2015	1,46	66,1

Fonte: Autor (2017).

Figura 39 - Gráfico de velocidade de vibração de partícula de pico em função da distância



Fonte: Autor (2017).

No gráfico acima (Figura 39 - Gráfico de velocidade de vibração de partícula de pico em função da distância), observa-se uma tendência a linearidade representada pela reta de cor preta. Através dessa “tendência, é que se pode chegar em uma equação da forma da expressão citada no começo deste capítulo. Portanto, $\ln y$ corresponderá à velocidade de vibração de partícula de pico e $\ln x$ à distância escalonada. A expressão 24 fica:

$$y = 4 \cdot 10^6 \cdot x^{-3,505} \quad (24)$$

Para tal, obtém-se os seguintes valores para os parâmetros da equação:

$$b = -3,5 \quad (25)$$

$$a = 4 \cdot 10^6 \quad (26)$$

$$\ln a = 15,2 \quad (27)$$

Substituindo os valores da expressão 24, obtemos as seguintes expressões 28 e 29:

$$\ln y = 15,2 - 3,5x \quad (28)$$

$$\ln y = 15,2 - 3,5 \ln DR \quad (29)$$

Após a determinação desses fatores, retorna-se para a expressão 23, para a forma de potência e assim feita a substituição, chegamos as expressões 30 e 31:

$$v_p = 4 \cdot 10^6 \cdot (DR)^{-3,5} \quad (30)$$

$$v_0 = 4 \cdot 10^6 \left(\frac{D}{Q^2} \right)^{-3,5} \quad (31)$$

Com a ajuda do Excel, foi feita uma análise de variância, no qual foi calculado o coeficiente de correlação. A análise segue na Tabela 12:

Tabela 12 - Análise de variância.

Fonte da variação	Soma Quadrática	Grau de Liberdade	Média Quadrática	F	F crítico
Entre grupos	91,5190204 8	7	13,0741457 8	0,00835911 1	3,50046385 5
Dentro dos grupos	12512,4750 3	8	1564,059379		
Total	12603,9940 5	15			

Fonte: Autor (2017)

Analisando a tabela acima, nota-se que o “F crítico” é maior que o “F”, no qual implica que os dados estão aceitáveis, caso o último fosse menor que o primeiro, os dados teriam algum desvio, não sendo aceitáveis.

Este fato também pode ser constatado a partir do coeficiente de determinação (R^2), na expressão 32, explicito na Figura 39, no qual apresenta o valor de:

$$R^2 = 0,8598 \quad (32)$$

Quando o coeficiente de correlação se aproxima do 1, implica que as leituras obtidas em campo e as variáveis em estudo podem ser correlacionadas com segurança pelo modelo utilizado.

Com isso, as informações do presente estudo, para o caso da lei de atenuação podem ser utilizados como uma boa referência para as atividades junto a empresa.

4.3 Procedimentos de Controle Ambiental

Para um melhor entendimento as causas de excessivas vibrações produzidas por desmonte de rocha, deve-se ter em conta as variáveis controláveis e as não controláveis que interferem por completo o processo que representa as operações minerárias.

As variáveis não controláveis, implicam, principalmente, a geologia local, tendo em visto que deve-se ter um grande conhecimento técnico da natureza do maciço rochoso. Este se dá ao fato de que o conhecimento do movimento vibratório da onda em seu meio, implica nos ajustes das outras variáveis.

Como citado acima, as outras seriam variáveis ajustáveis nas operações minerárias e cálculos de possíveis “erros” que os equipamentos, acessórios etc, podem conter.

As principais variáveis controláveis, implícitas em um plano de fogo, são:

- Afastamento;
- Espaçamento;
- Profundidade e diâmetro dos furos de perfuração;
- Arranjo dos furos de detonação (Malha de perfuração);
- Sub-perfuração;
- Tampão;
- Tipo do explosivo;
- Escolha dos tipos de acessórios de detonação;
- Tempo de retardo entre os furos.

Para referente estudo, algumas variáveis não serão alteradas, devido ao fato de o mesmo ser mais destinado as questões de segurança e controle ambiental, devido aos episódios de vibrações estarem atingindo a comunidade e trazendo efeitos nocivos.

Variáveis referentes à perfuração (afastamento, espaçamento etc.), não serão alterados devido as mesmas serem destinadas a questão de produção da empresa.

Os parâmetros que se devem controlar, as vibrações nas estruturas, decorrente dos desmontes de rocha por explosivos, não se deve somente pelo valor de velocidade de partícula da vibração, sendo também pela frequência que a mesma produz.

As piores circunstâncias, como citados em capítulos anteriores, quando a frequência da onda que está a excitar uma determinada estrutura for igual a sua frequência natural, ou a frequências de ressonância. Neste caso se ocasiona a maior absorção de energia, por parte da estrutura e uma maior probabilidade.

No entanto, por às frequências estarem compreendidas entre os intervalos de 4 a 12 Hz, que de acordo com Giraldo (2010) este intervalo proporciona episódios de ressonância na maioria das estruturas. Portanto, pela empresa adotar o sistema de iniciação elétrico, os tempos de retardo, de acordo com as literaturas citadas em capítulos anteriores, presente na dissertação, poderão ser ajustados.

Utilizando o conceito de Winzer (1979), apresentando que os sistemas de detonadores eletrônicos apresentam uma dispersão de 5% a 10%. No qual são utilizados uma média de 100 furos por detonação e com tempos maiores, de acordo com o plano de fogo, isso pode acarretar em furos serem detonados ao mesmo tempo.

Para o de Birch (1983), podemos calcular o desvio padrão do erro de acordo com o número de retardos, mostrados na expressão 11, no qual segue para as expressões 34 e 35 :

$$\sigma_t = 3 + 2 \cdot n \quad (33)$$

$$\sigma_t = 3 + 2 \cdot 99 \quad (34)$$

$$\sigma_t = 201ms \quad (35)$$

A Tabela 13 segue com as fórmulas e cálculos de tempo de retardo, de acordo com os autores referenciados no item 2.5:

Tabela 13 - Tabela com a formulação para os tempos de retardo.

Autor	Fórmula	Tempo (Resultado)
Duvall, et al. (1963)		8 ms à 9ms
Wiss e Linehan (1978)		17 ms
Nobel's Explosives Co. da Grã Bretanha		25 ms
Langefors e Kihlström (1963)	$\tau = K \cdot A$	8 ms à 12 ms
Hustrulid (1999)	$4 \cdot \sqrt{\frac{\rho_r}{Q}} \leq t \leq 6 \cdot \sqrt{\frac{\rho_r}{Q}}$	7 ms à 20 ms

Fonte: Autor (2017)

Com isso é sabido que os tempos de retardo, de acordo com as citações, podem variar de 7 ms à 20 ms, indicando que os utilizados nas detonações apresentam valores bastantes elevados.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

5.1 Considerações Finais

Presente trabalho busca apresentar uma metodologia de análise de vibrações provocadas por operações minerárias de desmonte de rocha. É sabido, que mesmo com um grande avanço tecnológico, o setor de mineração ainda se encontra um pouco limitado para alguns fins.

O conhecimento das vibrações produzidas e o as propriedades geomecânicas do maciço rochoso em qual se está trabalhando, permite estimar a probabilidade de ocasionar danos as populações circunvizinhas. O modelamento e monitoramento adequado das vibrações induzidas pelo desmonte de rocha é bastante vantajoso, já que permite acompanhar de forma mais detalhada tal processo, no qual constitui uma ferramenta bastante útil para poder assim fazer um diagnóstico; já que mediante uma adequada interpretação dos registros de sismograma permitirá determinar a interação entre as variáveis das mesmas.

Sendo possível, desta forma, avaliar cargas explosivas detonadas em uma sequência. Tendo um maior conhecimento sobre seus tempos de retardo, a detonação inadequada dos explosivos comerciais utilizados, detonações instantâneas; como o caso de detonações por simpatia, adequar níveis de velocidade, frequência e processo de fragmentação da rocha.

Baseado nos dados de instrumentação obtidos em campo, foi construído um modelo teórico empírico, para os possíveis níveis de vibração produzidos nas operações de desmonte de rocha. No qual chega-se à expressão 31:

$$v_0 = 4 \cdot 10^6 \left(\frac{D}{Q^{\frac{1}{2}}} \right)^{-3,5} \quad (31)$$

Então, em resumo, tendo uma visão justa de desempenho desta ferramenta, pode-se afirmar que os resultados teriam uma melhoria na concepção teórica deste modelo, nos quais convergem, de uma forma positiva, com os objetivos gerais e que a dissertação propôs. No entanto, vale salientar que por diversos fatores e critérios, muitas vezes da empresa, a execução desta ferramenta corre o risco desse estudo não ser alvo de uma implementação prática.

Mas por outro lado, o mesmo pode contribuir de uma certa forma para conhecimento, não só de todos os envolvidos, mas de algumas outras empresas que possam e tenham interesse no presente estudo.

As baixas frequências, podem ser prejudiciais para as estruturas e que as frequências dominantes do movimento vibratório podem ser iguais as frequências naturais das estruturas, fazendo com que amplifique as magnitudes do movimento. Para tal, de acordo com algumas literaturas, foi desenvolvido uma tabela com os ajustes de tempo, para que essas frequências sejam melhoradas, como mostra abaixo:

Tabela 13 - Tabela com a formulação para os tempos de retardo.

Autor	Fórmula	Tempo (Resultado)
Duvall, et al. (1963)		8 ms à 9ms
Langefors e Kihlström (1963)	$\tau = K \cdot A$	8 ms à 12 ms
Hustrulid (1999)	$4 \cdot \sqrt{\frac{\rho_r}{Q}} \leq t \leq 6 \cdot \sqrt{\frac{\rho_r}{Q}}$	7 ms à 20 ms

Fonte: Autor (2017)

Por fim, a proposta final desse trabalho não é somente contemplar todas as condicionantes existentes nas questões de controle ambiental e do setor mineral, e sim seja um projeto que venha melhorar e se tonar um ponto de partida para melhoria dos estudos decorrentes para esta área de detonações e controle ambiental.

5.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

Finda a realização desse trabalho, seguem sugeridos os seguintes temas para futuros trabalhos:

- A incorporação da atenuação, utilizando mais eventos de sismografia, para que sua estimação seja mais fidedigna;
- O efeito impactante das vibrações sobre as populações circunvizinhas;
- Estudo de correlação da velocidade de partícula as estruturas presentes nas proximidades das operações de desmonte de rocha;
- Estudo maior sobre os tempos de retardo utilizados, tentando a extinção de episódios de ressonância para as estruturas vizinhas.

REFERÊNCIAS

- BARROS, M. L. S. C. **MODELO DE AFERIÇÃO DA VELOCIDADE DE PARTÍCULAS ATRAVÉS DE PARÂMETRO ENERGÉTICO. TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DO DOUTORADO EM ENGENHARIA CIVIL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL**, Recife, 2008.
- BAYO, et al. **ESTÚDIO DE LA INFLUENCIA DEL SECCIONADO DE CARGAS EN UN MISMO BARRENO PARA DISMINUIR EL NIVEL DE VIBRACIONES**. Madri: MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA, v. I, 1985.
- BHANDARI, S. **Engineering Rock Blasting Operations**. Rotterdam: A A Balkema Publishers, 1997.
- CHAPOT, P. **Etude des vibrations provoquées par les explosifs dans les massifs rocheux. Laboratoire central des ponts et chaussées.**, Paris, 1981.
- CHIOSSI, N. J. **Geologia de Engenharia**. [S.l.]: Oficina de Textos, 2013.
- CORMIO, C. **PROCEDURE E STRUMENTI INNOVATIVI PER LO SFRUTTAMENTO SOSTENIBILE DELLE RISORSE MINERARIE. DOTTORATO DI RICERCA IN GEOINGEGNERIA, GEORISORSE ED INGEGNERIA GEOTECNICA - Università di Bologna**, 2012.
- DARLING, P. **Sme Mining Engineering Handbook**. 3ª. ed. [S.l.]: SME, 2011.
- DE BLÁS, J. A. P. **Problemática de las vibraciones en las voladuras. Medición, Control y Regulación legal**. Madrid: Unión Española de Explosivos, 2000.
- DIAS, T. M. C. **Soldadura Al-Cu por explosivo em configuração plana. Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica na Especialidade de Energia e Ambiente da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra**, Coimbra, 2012.
- DOWDING, C. H. **Rock Breakage: Explosives – Monitoring and Control of Blast Effects**. [S.l.]: SME Mining Engineering Handbook, 1992.
- DOWDING, C. H. **Construction Vibrations**. 2ª. ed. Upper Saddle River: Pearson Education (US), 2000.
- DUVALL, W. I. et al. **Vibrations from blasting at Iowa limestone quarries. U.S. Dept. of the Interior. Bureau of Mines**, District of Columbia, 1963.

- FISH, B. G. **Fundamental considerations of seismic vibrations from blasting:** Mine and Quarry Eng. [S.l.]: [s.n.], v. 17, 1951. 111 p.
- FRANÇA, S. D. D. A EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE INICIAÇÃO EM DETONAÇÃO – ESTADO DA ARTE. **Projeto de graduação do Curso de Graduação em Engenharia de Minas, da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE**, Recife, 2014.
- FURRIER, M. CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA E DO MEIO FÍSICO DA FOLHA JOÃO PESSOA - 1:100.000. **UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA - TESE DE DOUTORAMENTO - Programa de Pós-Graduação em Geografia Física**, São Paulo, 2007.
- GARCÍA, J. D. Atenuación sísmica. Aplicación a terremotos intraplaca en México Central. **Trabajo de investigación para obtener el grado de doctorado, Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Complutense de Madrid**, Madrid, 2001.
- GOMES, J. P. M. A. METODOLOGIA PARA ANÁLISE DE VIBRAÇÕES PROVOCADAS POR DESMONTES COM RECURSO A EXPLOSIVOS. **Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de MESTRE EM ENGENHARIA DE MINAS E GEO-AMBIENTE - FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO**, Porto, 2016.
- HAGAN, T. N. Rock breakage by explosives. **Acta Astronautica**, Melbourne, 20 Dezembro 1977.
- IRIARTE, G.; ALBERTO,. CONTROL DE VIBRACIONES PARA CASAS DE TIERRA EN PERU. **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA - FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA**, 2010.
- IRIARTE, G.; ALBERTO, F. CONTROL DE VIBRACIONES PARA CASAS DE TIERRA EN PERU. **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA - FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA**, Lima, 2010.
- JIMENO, C. L.; JIMENO, L.; BERMÚDEZ, P. G. **Manual de Perforación y Voladura de Rocas**. [S.l.]: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Minas, 2003.
- LANGFORS, U.; KIHLSSTRÖM, B. **The modern technique of rock blasting / by U.** New York: Wiley, 1963.
- LINEHAN, P. W.; WISS, J. F. Vibration and Air Blast Noise from Surface Coal Mine Blasting. **Proc. At SME/AIME Fall Mtg. & Exhib., Minneapolis**, 1982.

NEVES, A. P. B. Modelagem Computacional de uma Carga Oca. **Tese de Doutorado em Engenharia de Defesa, Instituto Militar de Engenharia**, 2014.

NICHOLSON, R. F. Determination of Blast Vibrations Using Peak Particle Velocity at Bengal Quarry, in St Ann, Jamaica. **Luleå University of Technology MSc Programmes in Engineering - Department of Civil and Environmental Engineering**, 2005.

SALAS, J. A. J. **Geotécnia y cimientos. 3, Cimentaciones, excavaciones y aplicaciones de la geotécnia**. Madrid: RUEDA, 1980.

SÁNCHEZ, L. E.; REPETTO, F. L.; KAREZ, C. S. **Control de Vibraciones. Aspectos Geológicos de Protección Ambiental**. Montevideo: Unesco, 2002.

SANCHIDRIÁN, J. A.; MUÑIZ, E. **Curso de Tecnología de Explosivos**. Madrid: Servicio de Publicaciones de la Fundación Gómez-Pardo, 2000.

SANTOS, J. D.; FERREIRA, ; SILVA JR., M. F. D. GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS DO ESTADO DA PARAÍBA. **MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA SECRETARIA DE MINAS E METALURGIA E CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO RECIFE**.

Disponível em:
<http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/5034/Geologia_Paraiba.pdf?sequence=1>.

SILVA, T. D. C. Avaliação da carga máxima por espera através de lei de atenuação visando à minimização de danos decorrentes das operações de desmonte de rochas nas escavações da Arena Pernambuco. **Trabalho realizado no Laboratório de Controle Ambiental na Mineração do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral - PPGEMinas, UFPE**, Recife, 2012.

SITE da empresa NSK Motion & Control. **NSK Motion & Control**, 2016. Disponível em: <http://www1.br.nsk.com/etreinar/conteudo/24/Curso_Vibracoes.pdf>.

SOUFFLE, S. S. Diseño y control de voladuras en la unidad Real de Angeles, Cia.Minera PROMET del grupo Frisco, S.A.de C.V. **Tese de Doutorado**, 1994.

SOUZA, E. F. M. D. PROBLEMAS SOCIOAMBIENTAIS GERADOS PELA EXPLORAÇÃO DE CALCÁRIO E PRODUÇÃO DE CIMENTO EM JOÃO PESSOA-PB. **XVIII Encontro Nacional de Geógrafos**, 2016.

UNE 22-381. **Control de vibraciones producidas por voladuras. Norma Española**. [S.l.]: [s.n.], 1993.

VIRALTA, ; ENRIQUE,. MONITOREO, ESTUDIO Y ANALISIS DE VIBRACIONES ASOCIADAS A EL USO DE VOLADURAS CON EXPLOSIVOS EN LOS

TRABAJOS DE EJECUCIÓN DEL TUNEL CARRIZALITO DE LA LINEA DEL METRO LOS TEQUES. **Universidad Central de Venezuela para optar el Título de Ingeniero Geofísico**, Caracas, 2004.

VIZARRETA, Y. J. P. **MODELAMIENTO, MONITOREO Y CONTROL DE LAS VIBRACIONES PARA EVITAR DAÑOS INDUCIDOS POR LA VOLADURA DE ROCAS DE UNA OPERACIÓN MINERA SUPERFICIAL**. Lima: [s.n.], 2014.

WIKIPÉDIA. **Wikipédia, a enciclopédia livre.**, 2017. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Transdutor>>.

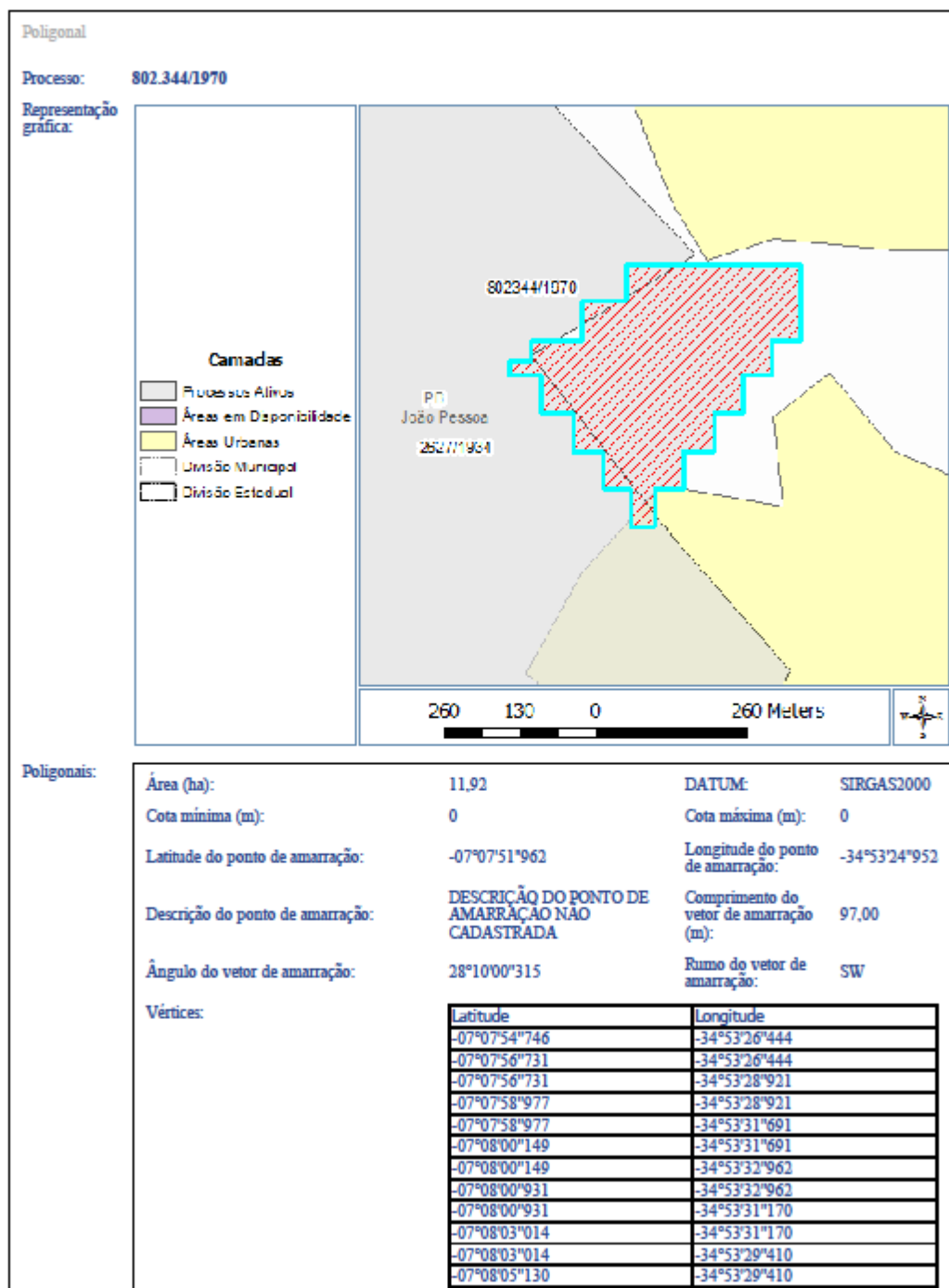
WINZER, S. R. Initiator Firing Times And Their Relationship To Blasting Performance. **20th U.S. Symposium on Rock Mechanics (USRMS)**, Austin, 1979.

WISS, J. F.; LINEHAN, P. W. Control of vibration and air noise from surface coal mines - III. **USBM Report No: OFR 103 (3)**, 1978.

ANEXO A - PROCESSO MINERAL DA EMPRESA JUNTO AO DNPM

19/11/2015

Dados do Processo


<https://sistemas.dnpm.gov.br/SCM/Extra/site/admin/dadosProcesso.aspx>

1/2

18/11/2018

Dados do Processo

Nenhuma informação sobre documentos apresentados para esse processo.

Eventos	
Descrição	Data
418 - CONC LAV/VAL ANO BASE APRESENTADO	28/03/2013
1349 - CONC LAV/RETIIFICAÇÃO DE DESPACHO PUBLICADO	22/04/2013
436 - CONC LAV/DOCUMENTO DIVERSO PROTOCOLIZADO	21/04/2013
436 - CONC LAV/DOCUMENTO DIVERSO PROTOCOLIZADO	04/07/2012
436 - CONC LAV/DOCUMENTO DIVERSO PROTOCOLIZADO	16/03/2011
436 - CONC LAV/DOCUMENTO DIVERSO PROTOCOLIZADO	08/04/2009
452 - CONC LAV/TRANSF DIREITOS - CESSÃO TOTAL EFETIVADA	13/02/2008
451 - CONC LAV/TRANSF DIREITOS - CESSÃO TOTAL APROVADA	28/12/2007
694 - PAGAMENTO VISTORIA FISCALIZAÇÃO EFETUADO	09/01/2007
418 - CONC LAV/VAL ANO BASE APRESENTADO	27/03/2007
436 - CONC LAV/DOCUMENTO DIVERSO PROTOCOLIZADO	08/02/2007
436 - CONC LAV/DOCUMENTO DIVERSO PROTOCOLIZADO	12/06/2006
474 - CONC LAV/RETRBA PROTOCOLIZADA	14/11/2005
436 - CONC LAV/DOCUMENTO DIVERSO PROTOCOLIZADO	31/10/2003
549 - TORNAR SEBETO NOTIFICAÇÃO CREM (NPLDP)	17/10/2003
436 - CONC LAV/DOCUMENTO DIVERSO PROTOCOLIZADO	11/11/2003
436 - CONC LAV/DOCUMENTO DIVERSO PROTOCOLIZADO	06/01/2003
418 - CONC LAV/VAL ANO BASE APRESENTADO	15/03/2000
418 - CONC LAV/VAL ANO BASE APRESENTADO	11/03/1999
418 - CONC LAV/VAL ANO BASE APRESENTADO	12/03/1998
436 - CONC LAV/DOCUMENTO DIVERSO PROTOCOLIZADO	28/10/1997
418 - CONC LAV/VAL ANO BASE APRESENTADO	13/03/1997
452 - CONC LAV/TRANSF DIREITOS - CESSÃO TOTAL EFETIVADA	16/01/1997
451 - CONC LAV/TRANSF DIREITOS - CESSÃO TOTAL APROVADA	18/10/1996
436 - CONC LAV/DOCUMENTO DIVERSO PROTOCOLIZADO	18/06/1996
463 - CONC LAV/TRANSF DIREITOS - CESSÃO TOTAL PROTOCOL	20/03/1996
418 - CONC LAV/VAL ANO BASE APRESENTADO	14/03/1996
418 - CONC LAV/VAL ANO BASE APRESENTADO	15/03/1993
418 - CONC LAV/VAL ANO BASE APRESENTADO	13/03/1993
436 - CONC LAV/DOCUMENTO DIVERSO PROTOCOLIZADO	05/07/1991
418 - CONC LAV/VAL ANO BASE APRESENTADO	04/03/1990
517 - CONC LAV/RELATÓRIO ART 43 CONSTITUI PROT	30/11/1989
436 - CONC LAV/DOCUMENTO DIVERSO PROTOCOLIZADO	28/04/1989
436 - CONC LAV/DOCUMENTO DIVERSO PROTOCOLIZADO	25/11/1988
436 - CONC LAV/DOCUMENTO DIVERSO PROTOCOLIZADO	28/04/1988
418 - CONC LAV/VAL ANO BASE APRESENTADO	16/03/1988
418 - CONC LAV/VAL ANO BASE APRESENTADO	17/03/1986
418 - CONC LAV/VAL ANO BASE APRESENTADO	15/03/1983
418 - CONC LAV/VAL ANO BASE APRESENTADO	13/03/1984
418 - CONC LAV/VAL ANO BASE APRESENTADO	14/03/1983
441 - CONC LAV/SUSPENSÃO LAVRA AUTORIZADA 1 ANO FUEL	26/11/1981
411 - CONC LAV/SUSPENSÃO TRABALHOS LAVRA PROTOCOLIZADO	13/03/1981
418 - CONC LAV/VAL ANO BASE APRESENTADO	13/03/1981
418 - CONC LAV/VAL ANO BASE APRESENTADO	14/03/1980
418 - CONC LAV/VAL ANO BASE APRESENTADO	13/03/1979
406 - CONC LAV/EDITAL IMENSÃO POSSE PUBLICADA	16/11/1978
483 - CONC LAV/MISSÃO DE POSSE REQUERIDA	09/03/1978
400 - CONC LAV/PORTARIA CONCESSÃO DE LAVRA PUBLICADA	21/02/1978
350 - REQ LAV/REQUERIMENTO LAVRA PROTOCOLIZADO	14/01/1975
295 - AUT PESQ/REL PESQ APROV ART 31A CM FUEL	15/01/1974
290 - AUT PESQ/RELATORIO PESQ FINAL APRESENTADO	27/03/1973
201 - AUT PESQ/ALVARÁ DE PESQUISA PUBLICADO	26/07/1971
100 - REQ PESQ/REQUERIMENTO PESQUISA PROTOCOLIZADO	27/02/1970

IMPORTANTE: este serviço possui caráter meramente informativo e, portanto, não dispensa o uso dos instrumentos oficiais pertinentes para produção de efeitos legais. As informações são disponibilizadas no momento e na forma em que são inseridas na base de dados pelos servidores e colaboradores do DNPM.

ANEXO B - PLANO DE FOGO DO DIA 07 DE MAIO DE 2015

PARÂMETROS DE SEGURANÇA															
Distância de Segurança Teórica (m) = $590 + 1,8 \times RC$ (g/t)															
Dist. requerida (m):	917	Equipamentos:	900	Estradas:	400	Pessoal:	900								
Razão de carga máxima (g/t):		Tempo estopim (s):	40	Raio de isolamento da área de serviço (m):	20										
Vibração máxima (mm/s):	15	Ruído (db):	134	Carga máxima por espera (kg):	55										
Tipo de iniciador ideal:	E.E	Tempo máximo acumulado dos retardos (ms):	4000												
Nº CR do cliente:		Validade:		Nº Autorização Dinacon:											
Guia de tráfego para retorno:	() Sim (x) Não	Sobras:	() Sim (x) Não	Alerta Sonoro:	(x) Cliente () Dinacon										
Medição de desvio de furos:	() Sim (x) Não	Qual(is) furos?													
Nome do cliente:	André Nunes			Assinatura:											
PARÂMETROS DO NEGÓCIO															
Tamanho máximo aresta blocos(m):		Permite finos:	(x) Sim () Não	Altura desejada da pilha (m):	5										
Razão de carga ideal (g/t):	200	(x) Venda (x) Serviço		Contrato:	(x) Sim () Não										
Responsável pela medição:		Topografia:	(x) Sim () Não												
Custo máximo planejado (R\$/t ou R\$/m³):		Recebe sub-furação:	() Sim (x) Não												
Responsável pelo contrato e informações:															
PLANO DE FOGO															
Banco/Área:	Previsto	Realizado	Rocha:	Previsto	Realizado	Início do Carreg. (hs):									
Nº de furos:	100		Espaçamento (m):	4,50		Término do Carreg. (hs):									
Nº de Linhas:	3		Total Furado (m):	1275		Densidade Rocha (g/cm³):	2,25								
Diâmetro (Pol):	3,00		Volume desmont. (m³):	13500		Horário detonação (hs):									
Altura Banco (m):	12,00		Razão de carga (g/m³):	408		Horário conferência (hs):									
Inclinação (º):	0		Toneladas desmont.:	30375		Altura de água (m):									
Sub Furação (m):	0,75		Razão linear (Kg/m):	5,24		Razão Linear 2 (Kg/m):									
Prof. Média (m):	12,75	12,00	Tampão (m):	1,75		Dens Explosivo 1 (g/cm³):									
Afastamento (m):	2,50		Razão de Carga (g/ton):	182		Dens Explosivo 2 (g/cm³):									
CARREGAMENTO DOS FUROS															
Furo	Prof.	Carga (Kg)	Tampão	Furo	Prof.	Carga (Kg)	Tampão	Furo	Prof.	Carga (Kg)	Tampão	Furo	Prof.	Carga (Kg)	Tampão
Nº	m	Previs.	Real.	Nº	m	Previs.	Real.	Nº	m	Previs.	Real.	Nº	m	Previs.	Real.
1	12,00	55,00		41	12,00	55,00		81	12,00	55,00		121			
2	12,00	55,00		42	12,00	55,00		82	12,00	55,00		122			
3	12,00	55,00		43	12,00	55,00		83	12,00	55,00		123			
4	12,00	55,00		44	12,00	55,00		84	12,00	55,00		124			
5	12,00	55,00		45	12,00	55,00		85	12,00	55,00		125			
6	12,00	55,00		46	12,00	55,00		86	12,00	55,00		126			
7	12,00	55,00		47	12,00	55,00		87	12,00	55,00		127			
8	12,00	55,00		48	12,00	55,00		88	12,00	55,00		128			
9	12,00	55,00		49	12,00	55,00		89	12,00	55,00		129			
10	12,00	55,00		50	12,00	55,00		90	12,00	55,00		130			
11	12,00	55,00		51	12,00	55,00		91	12,00	55,00		131			
12	12,00	55,00		52	12,00	55,00		92	12,00	55,00		132			
13	12,00	55,00		53	12,00	55,00		93	12,00	55,00		133			
14	12,00	55,00		54	12,00	55,00		94	12,00	55,00		134			
15	12,00	55,00		55	12,00	55,00		95	12,00	55,00		135			
16	12,00	55,00		56	12,00	55,00		96	12,00	55,00		136			
17	12,00	55,00		57	12,00	55,00		97	12,00	55,00		137			
18	12,00	55,00		58	12,00	55,00		98	12,00	55,00		138			
19	12,00	55,00		59	12,00	55,00		99	12,00	55,00		139			
20	12,00	55,00		60	12,00	55,00		100	12,00	55,00		140			
21	12,00	55,00		61	12,00	55,00		101				141			
22	12,00	55,00		62	12,00	55,00		102				142			
23	12,00	55,00		63	12,00	55,00		103				143			
24	12,00	55,00		64	12,00	55,00		104				144			
25	12,00	55,00		65	12,00	55,00		105				145			
26	12,00	55,00		66	12,00	55,00		106				146			
27	12,00	55,00		67	12,00	55,00		107				147			
28	12,00	55,00		68	12,00	55,00		108				148			
29	12,00	55,00		69	12,00	55,00		109				149			
30	12,00	55,00		70	12,00	55,00		110				150			
31	12,00	55,00		71	12,00	55,00		111				151			
32	12,00	55,00		72	12,00	55,00		112				152			
33	12,00	55,00		73	12,00	55,00		113				153			
34	12,00	55,00		74	12,00	55,00		114				154			
35	12,00	55,00		75	12,00	55,00		115				155			
36	12,00	55,00		76	12,00	55,00		116				156			
37	12,00	55,00		77	12,00	55,00		117				157			
38	12,00	55,00		78	12,00	55,00		118				158			
39	12,00	55,00		79	12,00	55,00		119				159			
40	12,00	55,00		80	12,00	55,00		120				160			

MATERIAIS		FOGO PREVISTO		FOGO REALIZADO		MATERIAIS		FOGO PREVISTO		FOGO REALIZADO	
TIPO						TIPO					
Dinapron		0	kg		kg	Det. Eletrônico	E,E	105	pç		pç
Dinapex	100 2¼ x 24	100	kg		kg	Dinatron Iriun			pç		pç
Dinapex		0	kg		kg				pç		pç
Booster	150 g	90	pç		pç	Detonador não elétrico			pç		pç
DINAX	Emulsão	5400	kg		kg				pç		pç
Estopim		0	pç		pç				pç		pç
Cordel		0	m		m				pç		pç
		0	m		m	Retardo			pç		pç
Prev. Kg	5514	Realizado Kg							pç		pç

POSICIONAMENTO DOS FUROS DE LIGAÇÃO - AMOSTRAGEM

Face Livre

LEGENDA						FURAÇÃO	
Mina carregada e detonada		ou				Dinacon	
Mina Obstruída						Cliente	

CONTROLE DE DENSIDADE DA EMULSÃO (APLICÁVEL PARA BOMBEAMENTO)

Amostra	Hora	Densidade (g/cm³)	Amostra	Hora	Densidade (g/cm³)
1ª			4ª		
2ª			5ª		
3ª			6ª		

O controle de densidade deverá ser realizado conforme indicado no procedimento
"PRO-COM-01 Procedimento para Aplicação de Explosivo Bombeado".

RESPONSÁVEIS PELA DETONAÇÃO

Resp. Segurança:	Identidade:	Ass.:
Nome do Blaster:	Identidade:	Ass.:
Nome/função:	Identidade:	Ass.:
Nome/função:	Identidade:	Ass.:
Nome/função:	Identidade:	Ass.:
Nome/função:	Identidade:	Ass.:
Nome/função:	Identidade:	Ass.:

NÍVEL DE SATISFAÇÃO DO CLIENTE

Péssimo		Ruim		Regular		Bom		Ótimo	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Nome do Cliente: _____ Assinatura: _____

INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES

Ficou material seccionado preso nos furos? () Não () Sim Houve dificuldade de acesso? () Não () Sim

Houve problema no desmonte (acessórios, explosivos)? () Não () Sim Qual?

Houve ultralancamento? () Não () Sim

Observações: _____

ANEXO C - PLANO DE FOGO DO DIA 11 DE JUNHO DE 2015

PARÂMETROS DE SEGURANÇA																			
Distância de Segurança Teórica (m) = $590 + 1,8 \times RC \text{ (g/t)}$																			
Dist. requerida (m):	917	Equipamentos:				900	Estradas:				400	Pessoal:				900			
Razão de carga máxima (g/t):				Tempo estopim (s):				Raio de isolamento da área de serviço (m):				20							
Vibração máxima (mm/s):				15				Ruído (db):				134							
Tipo de iniciador ideal:				E.E				Tempo máximo acumulado dos retardos (ms):				4000							
Nº CR do cliente:				Validade:				Nº Autorização Dinacon:											
Guia de tráfego para retorno:				() Sim (x) Não				Sobras:				() Sim (x) Não							
Medição de desvio de furos:				() Sim (x) Não				Qual(is) furos?											
Nome do cliente:				André Nunes				Assinatura:											
PARÂMETROS DO NEGÓCIO																			
Tamanho máximo aresta blocos(m):				Permite finos:				(x) Sim () Não				Altura desejada da pilha (m):				5			
Razão de carga ideal (g/t):				200				(x) Venda () Serviço				Contrato:				(x) Sim () Não			
Responsável pela medição:								Topografia:				(x) Sim () Não							
Custo máximo planejado (R\$/t ou R\$/m³):								Recebe sub-furação:				() Sim (x) Não							
Responsável pelo contrato e informações:																			
PLANO DE FOGO																			
Banco/Área:	Previsto	Realizado	Rocha:				Previsto	Realizado	Início do Carreg. (hs):										
Nº de furos:	100		Espaçamento (m):				4,50		Término do Carreg. (hs):										
Nº de Linhas:	3		Total Furado (m):				1275		Densidade Rocha (g/cm³):				2,25						
Diâmetro (Pol):	3,00		Volume desmont. (m³):				13500		Horário detonação (hs):										
Altura Banco (m):	12,00		Razão de carga (g/m³):				408		Horário conferência (hs):										
Inclinação (º):	0		Toneladas desmont.:				30375		Altura de água (m):										
Sub Furação (m):	0,75		Razão linear (Kg/m):				5,24		Razão Linear 2 (Kg/m):										
Prof. Média (m):	12,75	12,00	Tampão (m):				1,75		Dens Explosivo 1 (g/cm³):										
Afastamento (m):	2,50		Razão de Carga (g/ton):				182		Dens Explosivo 2 (g/cm³):										
CARREGAMENTO DOS FUROS																			
Furo	Prof.	Carga (Kg)		Tampão	Furo	Prof.	Carga (Kg)		Tampão	Furo	Prof.	Carga (Kg)		Tampão	Furo	Prof.	Carga (Kg)		Tampão
Nº	m	Previs.	Real.	m	Nº	m	Previs.	Real.	m	Nº	m	Previs.	Real.	m	Nº	m	Previs.	Real.	m
1	12,00	55,00		1,50	41	12,00	55,00		1,50	81	12,00	55,00		1,50	121				
2	12,00	55,00		1,50	42	12,00	55,00		1,50	82	12,00	55,00		1,50	122				
3	12,00	55,00		1,50	43	12,00	55,00		1,50	83	12,00	55,00		1,50	123				
4	12,00	55,00		1,50	44	12,00	55,00		1,50	84	12,00	55,00		1,50	124				
5	12,00	55,00		1,50	45	12,00	55,00		1,50	85	12,00	55,00		1,50	125				
6	12,00	55,00		1,50	46	12,00	55,00		1,50	86	12,00	55,00		1,50	126				
7	12,00	55,00		1,50	47	12,00	55,00		1,50	87	12,00	55,00		1,50	127				
8	12,00	55,00		1,50	48	12,00	55,00		1,50	88	12,00	55,00		1,50	128				
9	12,00	55,00		1,50	49	12,00	55,00		1,50	89	12,00	55,00		1,50	129				
10	12,00	55,00		1,50	50	12,00	55,00		1,50	90	12,00	55,00		1,50	130				
11	12,00	55,00		1,50	51	12,00	55,00		1,50	91	12,00	55,00		1,50	131				
12	12,00	55,00		1,50	52	12,00	55,00		1,50	92	12,00	55,00		1,50	132				
13	12,00	55,00		1,50	53	12,00	55,00		1,50	93	12,00	55,00		1,50	133				
14	12,00	55,00		1,50	54	12,00	55,00		1,50	94	12,00	55,00		1,50	134				
15	12,00	55,00		1,50	55	12,00	55,00		1,50	95	12,00	55,00		1,50	135				
16	12,00	55,00		1,50	56	12,00	55,00		1,50	96	12,00	55,00		1,50	136				
17	12,00	55,00		1,50	57	12,00	55,00		1,50	97	12,00	55,00		1,50	137				
18	12,00	55,00		1,50	58	12,00	55,00		1,50	98	12,00	55,00		1,50	138				
19	12,00	55,00		1,50	59	12,00	55,00		1,50	99	12,00	55,00		1,50	139				
20	12,00	55,00		1,50	60	12,00	55,00		1,50	100	12,00	55,00		1,50	140				
21	12,00	55,00		1,50	61	12,00	55,00		1,50	101					141				
22	12,00	55,00		1,50	62	12,00	55,00		1,50	102					142				
23	12,00	55,00		1,50	63	12,00	55,00		1,50	103					143				
24	12,00	55,00		1,50	64	12,00	55,00		1,50	104					144				
25	12,00	55,00		1,50	65	12,00	55,00		1,50	105					145				
26	12,00	55,00		1,50	66	12,00	55,00		1,50	106					146				
27	12,00	55,00		1,50	67	12,00	55,00		1,50	107					147				
28	12,00	55,00		1,50	68	12,00	55,00		1,50	108					148				
29	12,00	55,00		1,50	69	12,00	55,00		1,50	109					149				
30	12,00	55,00		1,50	70	12,00	55,00		1,50	110					150				
31	12,00	55,00		1,50	71	12,00	55,00		1,50	111					151				
32	12,00	55,00		1,50	72	12,00	55,00		1,50	112					152				
33	12,00	55,00		1,50	73	12,00	55,00		1,50	113					153				
34	12,00	55,00		1,50	74	12,00	55,00		1,50	114					154				
35	12,00	55,00		1,50	75	12,00	55,00		1,50	115					155				
36	12,00	55,00		1,50	76	12,00	55,00		1,50	116					156				
37	12,00	55,00		1,50	77	12,00	55,00		1,50	117					157				
38	12,00	55,00		1,50	78	12,00	55,00		1,50	118					158				
39	12,00	55,00		1,50	79	12,00	55,00		1,50	119					159				
40	12,00	55,00		1,50	80	12,00	55,00		1,50	120					160				

MATERIAIS		FOGO PREVISTO		FOGO REALIZADO		MATERIAIS		FOGO PREVISTO		FOGO REALIZADO	
TIPO						TIPO					
Dinapron		0	kg		kg	Det. Eletrônico	E,E	105	pç		pç
Dinapex	100 2¼ x 24	100	kg		kg	Dinatron Iriun			pç		pç
Dinapex		0	kg		kg				pç		pç
Booster	150 g	90	pç		pç	Detonador não elétrico			pç		pç
DINAX	Emulsão	5400	kg		kg				pç		pç
Estopim		0	pç		pç				pç		pç
Cordel		0	m		m				pç		pç
		0	m		m	Retardo			pç		pç
Prev. Kg	5514	Realizado Kg							pç		pç
POSICIONAMENTO DOS FUROS DE LIGAÇÃO - AMOSTRAGEM											
Face Livre											
LEGENDA						FURAÇÃO					
Mina carregada e detonada ou						Dinacon					
Mina Obstruída						Cliente					
CONTROLE DE DENSIDADE DA EMULSÃO (APLICÁVEL PARA BOMBEAMENTO)											
Amostra	Hora	Densidade (g/cm³)				Amostra	Hora	Densidade (g/cm³)			
1ª						4ª					
2ª						5ª					
3ª						6ª					
O controle de densidade deverá ser realizado conforme indicado no procedimento "PRO-COM-01 Procedimento para Aplicação de Explosivo Bombeado".											
RESPONSÁVEIS PELA DETONAÇÃO											
Resp. Segurança:						Identidade:			Ass.:		
Nome do Blaster:						Identidade:			Ass.:		
Nome/função:						Identidade:			Ass.:		
Nome/função:						Identidade:			Ass.:		
Nome/função:						Identidade:			Ass.:		
Nome/função:						Identidade:			Ass.:		
Nome/função:						Identidade:			Ass.:		
Nome/função:						Identidade:			Ass.:		
NÍVEL DE SATISFAÇÃO DO CLIENTE											
Péssimo		Ruim		Regular		Bom		Ótimo			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Nome do Cliente:						Assinatura:					
INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES											
Ficou material seccionado preso nos furos? () Não () Sim Houve dificuldade de acesso? () Não () Sim											
Houve problema no desmonte (acessórios, explosivos)? () Não () Sim Qual?											
Houve ultralancamento? () Não () Sim											
Observações:											

ANEXO D - SISMOGRAMA: 07/05/2017 – PONTO 1 (CONDOMÍNIO)

GeoSonics Inc. Seismic Analysis Velocity Waveform Analysis

Serial No: 8991 v5.12
 Date: 07.05.2015 16:05:26
 Event No: 5
 Record Time: 5.0 s
 Client: INTERCEMENT
 Operation: MEDICAO DE VIBRACAO
 Location: CONDOMINIO SN 8991
 Distance: 381
 Operator: ENG G HOLLANDA
 Comment:
 Seismic Trigger: 1,97 mm/s
 Sound Trigger: 100 db

Brasil ABNT-NBR 9653:2005

SN: 8991 Event: 5

	Summary Data		
	L	T	V
PPV (mm/s)	3,43	3,37	2,73
FREQ (Hz)	5,3	8,5	7,1
PD (.01mm)	7,26	6,06	4,77
PPA (g)	0,033	0,046	0,033
Peak Vector Sum :	3,62 mm/s		
Peak Air Pressure:	126 db		
	38,21568 PSI @ 19,2 Hz		

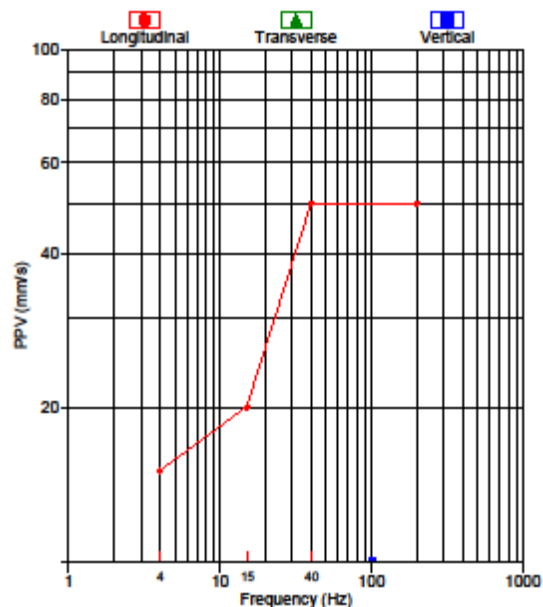
Additional Info:

Shaketable Calibrated: 07.04.2014

By: GeoSonics Inc.
 359 Northgate Drive
 Warrondale, PA 15086 U.S.A.
 TEL: 724.934.2900 FAX: 724.934.2999

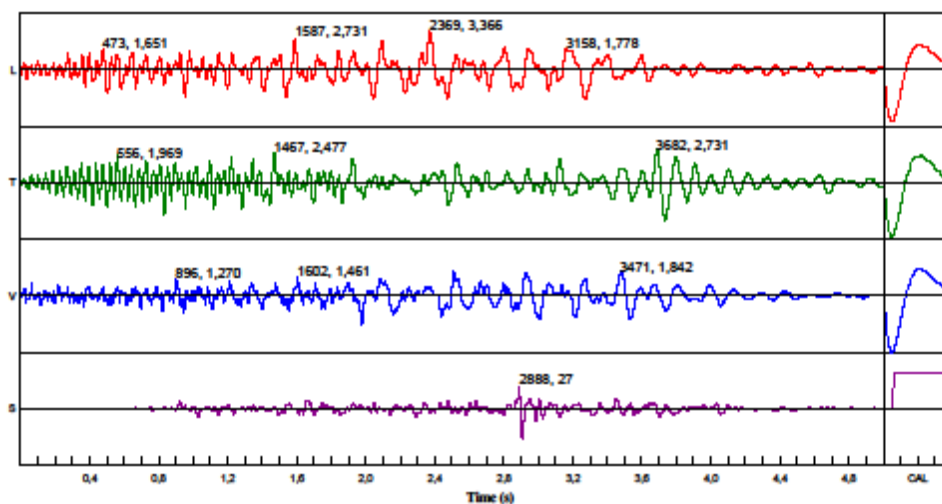
Velocity Waveform Graph Scale

Time Scale: 0,100 s
 Seismic Scale: +/- 5,12 mm/s
 Sound Scale: +/- 72,5 PSI



Velocity Waveform

SN: 8991 Event: 5



Printed: maio 11, 2015 File: #007_005.EV3 (GeoSonics Inc. AnalysisNET v8.1.54)

ANEXO E - SISMOGRAMA: 07/05/2017 – PONTO 2 (POSTO SETTA)

GeoSonics Inc. Seismic Analysis Velocity Waveform Analysis

Serial No: 8992 v5.12
 Date: 07.05.2015 16:05:33
 Event No: 3
 Record Time: 5,0 s
 Client: INTERCEMENT
 Operation: MEDICAO DE VIBRACAO
 Location: POSTO SETTA SN 8992
 Distance: 417
 Operator: ENG G HOLLANDA
 Comment:
 Seismic Trigger: 1,97 mm/s
 Sound Trigger: 100 db

Brasil ABNT-NBR 9653:2005

SN: 8992 Event: 3

	Summary Data		
	L	T	V
PPV (mm/s)	3,11	2,03	1,46
FREQ (Hz)	9,8	17,9	4,7
PD (.01mm)	6,81	3,47	3,63
PPA (g)	0,033	0,033	0,033
Peak Vector Sum :	3,11 mm/s		
Peak Air Pressure:	127 db		
	45,34272 PSI @ 22,7 Hz		

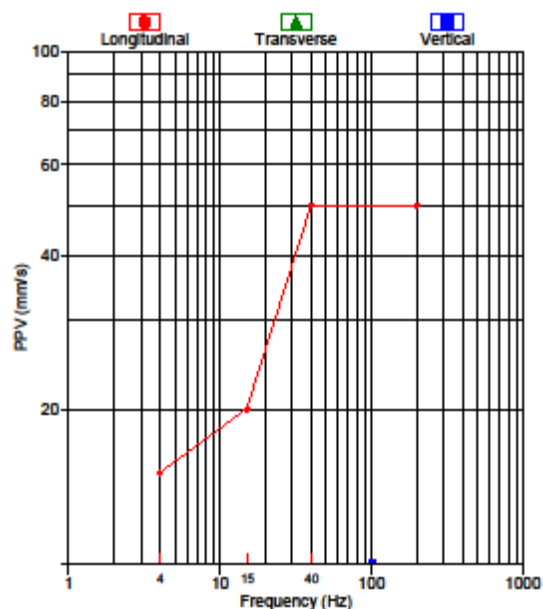
Additional Info:

Shaketable Calibrated: 07.04.2014

By: GeoSonics Inc.
 359 Northgate Drive
 Warrondale, PA 15086 U.S.A.
 TEL: 724.934.2900 FAX: 724.934.2999

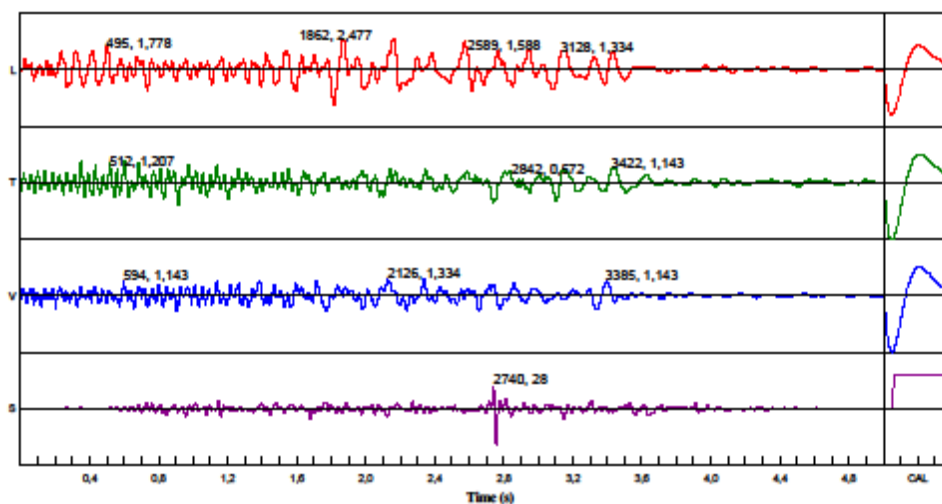
Velocity Waveform Graph Scale

Time Scale: 0,100 s
 Seismic Scale: +/- 5,12 mm/s
 Sound Scale: +/- 72,5 PSI



Velocity Waveform

SN: 8992 Event: 3



Printed: maio 11, 2015 File: #005_003.EV3 (GeoSonics Inc. AnalysisNET v8.1.54)

ANEXO F - SISMOGRAMA: 07/05/2017 – PONTO 3 (RES. SRA. SOCORRO)

GeoSonics Inc. Seismic Analysis Velocity Waveform Analysis

Serial No: 8993 v5.12
 Date: 07.05.2015 16:05:24
 Event No: 5
 Record Time: 5,0 s
 Client: INTERCEMENT
 Operation: MEDICAO VIBRACAO
 Location: RES SRA SOCORRO
 Distance: 366
 Operator: ENG G HOLLANDA
 Comment:
 Seismic Trigger: 1,97 mm/s
 Sound Trigger: 100 db

Brasil ABNT-NBR 9653:2005

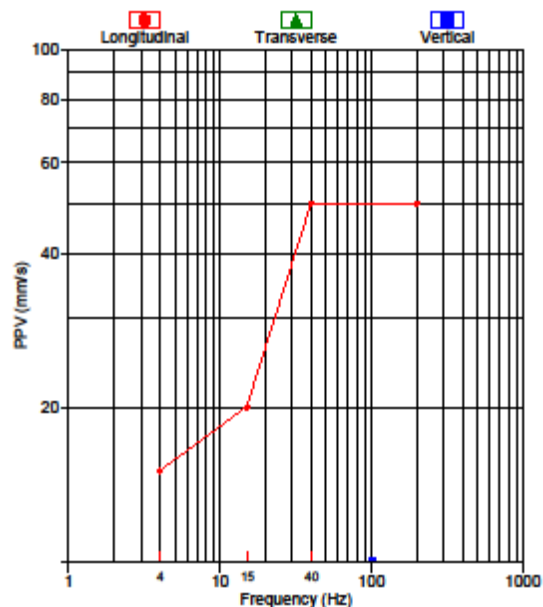
SN: 8993 Event: 5

	Summary Data		
	L	T	V
PPV (mm/s)	3,62	3,05	1,71
FREQ (Hz)	6,1	5,4	17,2
PD (.01mm)	7,89	8,98	3,39
PPA (g)	0,039	0,039	0,039
Peak Vector Sum :	3,87 mm/s		
Peak Air Pressure:	117 db		
	13,63968 PSI @ 25,0 Hz		

Additional Info:

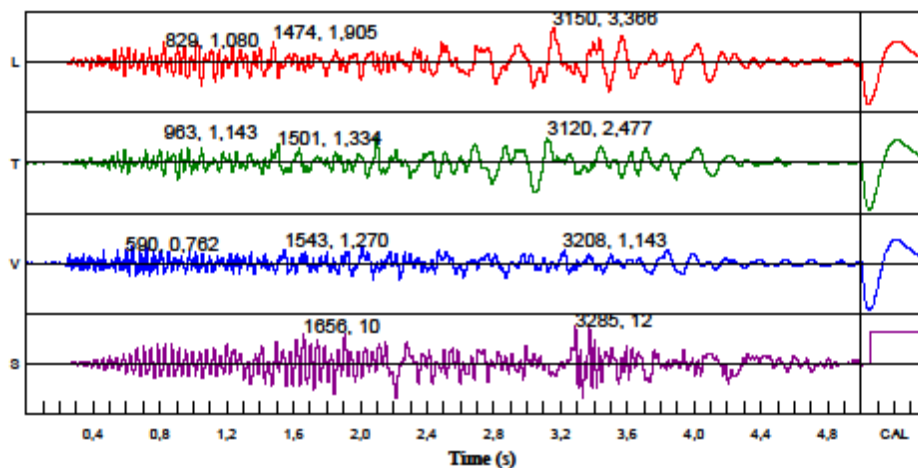
Shaketable Calibrated: 07.04.2014
 By: GeoSonics Inc.
 359 Northgate Drive
 Warrondale, PA 15086 U.S.A.
 TEL: 724.934.2900 FAX: 724.934.2999

Velocity Waveform Graph Scale
 Time Scale: 0,100 s
 Seismic Scale: +/- 5,12 mm/s
 Sound Scale: +/- 18,1 PSI



Velocity Waveform

SN: 8993 Event: 5



ANEXO G - SISMOGRAMA: 07/05/2017 – PONTO 4 (RES. SR. JACINTO)

SN: 8877 Firmware: v3.22
 Date: 07.05.2015 Time: 16:06:12
 Event: 8 Record Time: 5,0 s
 Client: INTERCEMENT
 Operation: MEDICAO DE VIBRACAO
 Location: SR JACINTO
 Distance: 440,
 Operator: ENG G HOLLANDA
 Comment:
 Trigger Level: 1,97 mm/s
 100 db

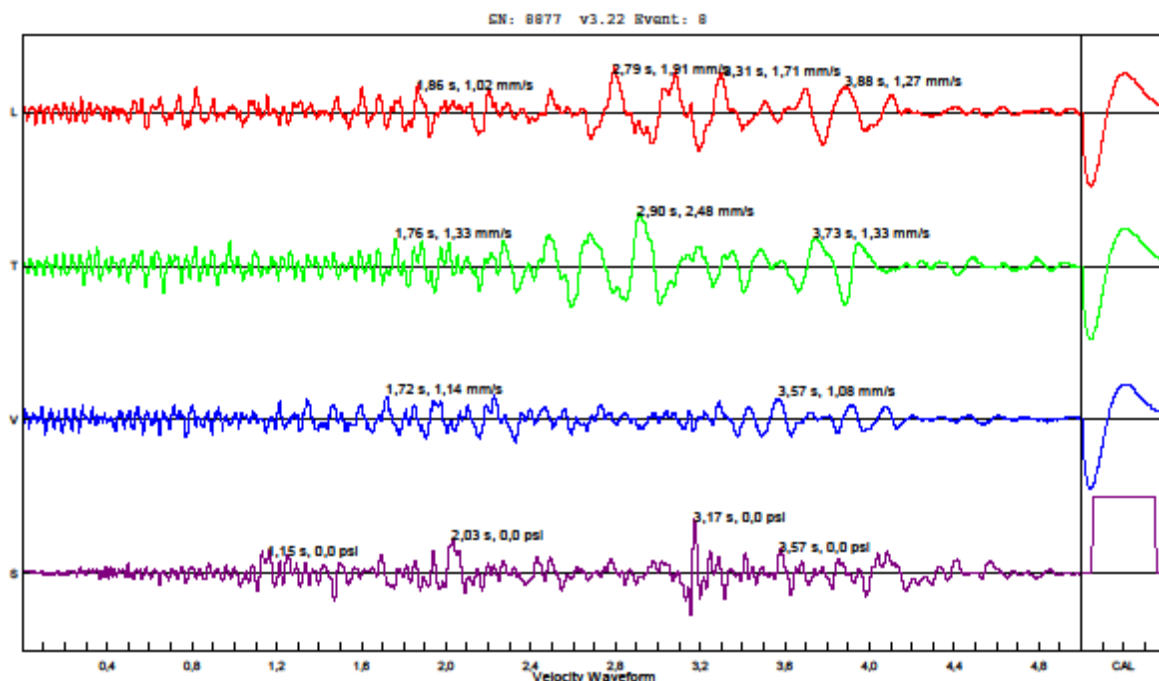
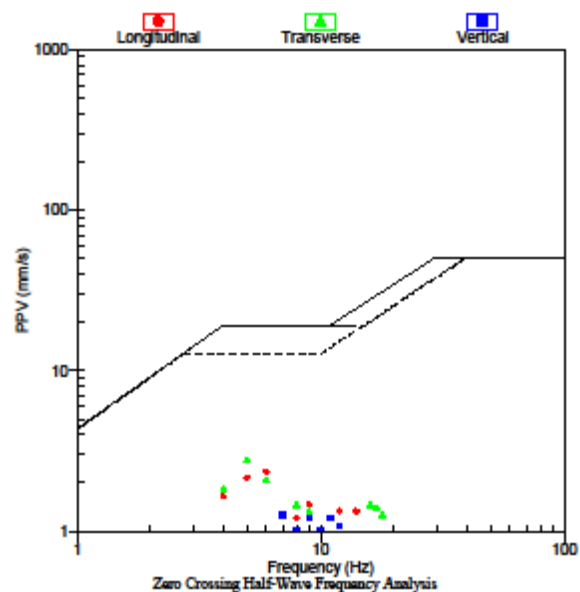
SN: 8877 v3.22 Event: 8
 OSM/USBM Safe Blasting Levels

Velocity Waveform Graph Scale:
 Time = 0,100 s
 Seismic = +/- 0,16 mm/s
 Sound = +/- 0,0023 psi

	L	T	V
DPV (mm/s)	2,35	2,79	1,27
PD (.01mm)	6,65	8,99	2,63
PPA (g)	0,020	0,026	0,026
FREQ (Hz)	5,0	4,8	6,8
Resultant DPV:	2,86 (mm/s)		
Peak Air Pressure:	114 db		
	0,0 psi		

Additional Info:

Shaketable Calibrated: 24.09.2014
 By: GeoSonics Inc.
 359 Northgate Drive
 Warrendale, PA 15086 U.S.A.
 TEL: 724.934.2900 FAX: 724.934.2999



ANEXO H - SISMOGRAMA: 11/05/2017 – PONTO 1 (CONDOMÍNIO)

GeoSonics Inc. Seismic Analysis Velocity Waveform Analysis

Serial No: 8991 v5.12
 Date: 11.06.2015 16:29:10
 Event No: 2
 Record Time: 5,0 s
 Client: INTERCEMENT JP
 Operation: MEDICAO DE VIBRACAO
 Location: PONTO 1
 Distance: 459
 Operator: MONITORA
 Comment:
 Seismic Trigger: 1,97 mm/s
 Sound Trigger: 100 db

	Summary Data		
	L	T	V
PPV (mm/s)	1,21	1,27	1,27
FREQ (Hz)	13,5	12,2	27,8
PD (.01mm)	1,48	2,32	1,64
PPA (g)	0,026	0,026	0,039
Peak Vector Sum :	1,52 mm/s		
Peak Air Pressure:	122 db		
	25,92768 PSI @ 9,6 Hz		

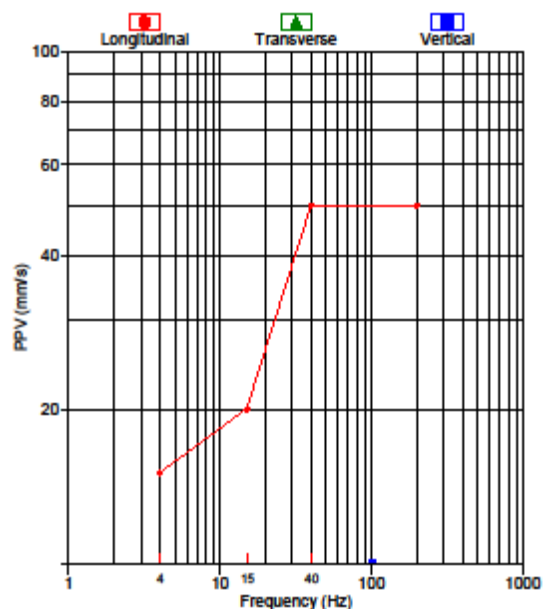
Additional Info:

Shaketable Calibrated: 07.04.2014
 By: GeoSonics Inc.
 359 Northgate Drive
 Warrondale, PA 15086 U.S.A.
 TEL: 724.934.2900 FAX: 724.934.2999

Velocity Waveform Graph Scale
 Time Scale: 0,100 s
 Seismic Scale: +/- 1,28 mm/s
 Sound Scale: +/- 36,3 PSI

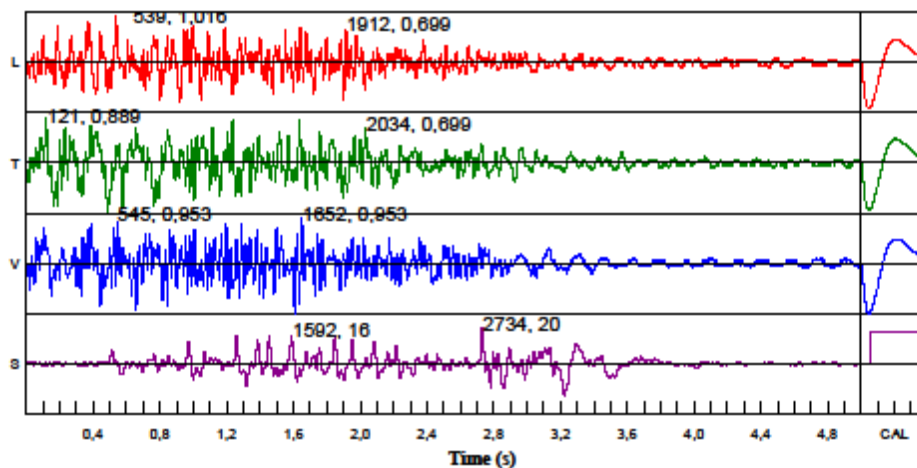
Brasil ABNT-NBR 9653:2005

SN: 8991 Event: 2



Velocity Waveform

SN: 8991 Event: 2



ANEXO I - SISMOGRAMA: 11/05/2017 – PONTO 2 (POSTO SETTA)

GeoSonics Inc. Seismic Analysis Velocity Waveform Analysis

Serial No: 8992 v5.12
 Date: 11.06.2015 16:28:36
 Event No: 3
 Record Time: 5,0 s
 Client: INTERCEMENT JP
 Operation: MEDICAO DE VIBRACAO
 Location: PONTO 2
 Distance: 480
 Operator: MONITORA
 Comment:
 Seismic Trigger: 1,02 mm/s
 Sound Trigger: 100 db

	Summary Data		
	L	T	V
PPV (mm/s)	1,52	1,59	0,95
FREQ (Hz)	15,6	11,9	9,8
PD (.01mm)	1,67	2,27	1,46
PPA (g)	0,026	0,026	0,033
Peak Vector Sum :	1,65 mm/s		
Peak Air Pressure:	123 db		
	29,24544 PSI @ 20,0 Hz		

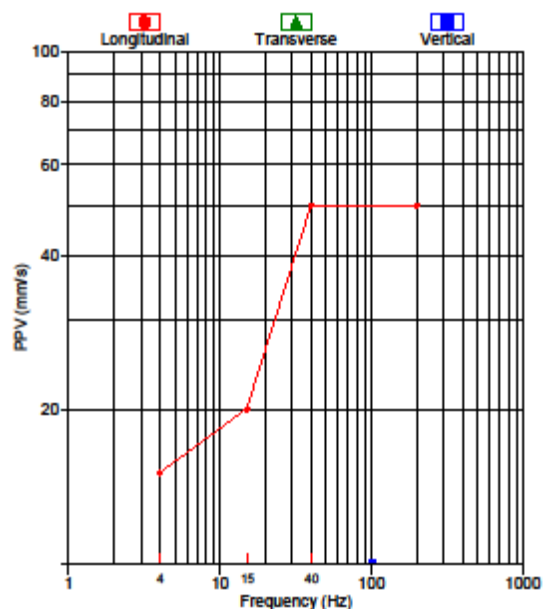
Additional Info:

Shakerable Calibrated: 07.04.2014
 By: GeoSonics Inc.
 359 Northgate Drive
 Warrondale, PA 15086 U.S.A.
 TEL: 724.934.2900 FAX: 724.934.2999

Velocity Waveform Graph Scale
 Time Scale: 0,100 s
 Seismic Scale: +/- 2,56 mm/s
 Sound Scale: +/- 36,3 PSI

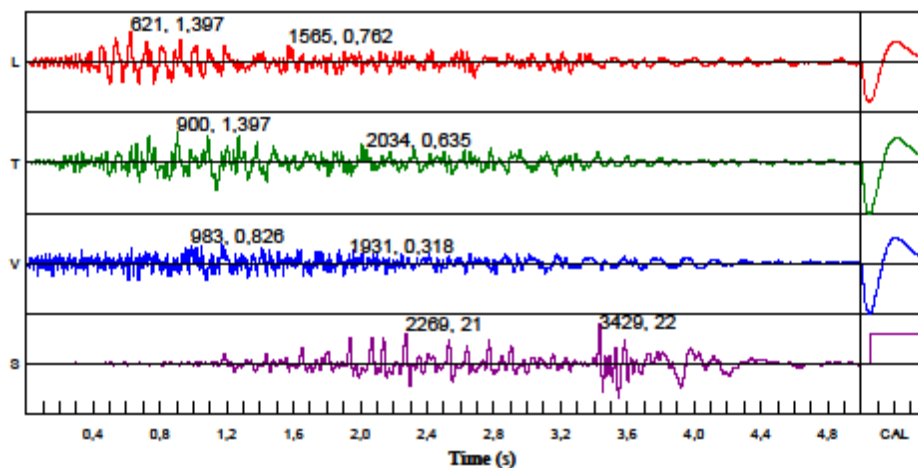
Brasil ABNT-NBR 9653:2005

SN: 8992 Event: 3



Velocity Waveform

SN: 8992 Event: 3



ANEXO J - SISMOGRAMA: 11/05/2017 – PONTO 3 (RES. SRA SOCORRO)

GeoSonics Inc. Seismic Analysis Velocity Waveform Analysis

Serial No: 8993 v5.12
 Date: 11.06.2015 16:28:49
 Event No: 1
 Record Time: 5,0 s
 Client: INTERCEMENT JP
 Operation: MEDICAO DE VIBRACAO
 Location: PONTO 3
 Distance: 416
 Operator: MONITORA
 Comment:
 Seismic Trigger: 1,27 mm/s
 Sound Trigger: 100 db

Brasil ABNT-NBR 9653:2005

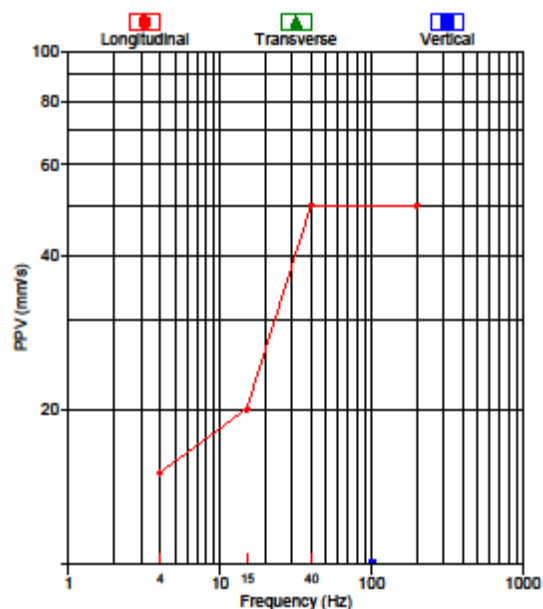
SN: 8993 Event: 1

	Summary Data		
	L	T	V
PPV (mm/s)	2,41	1,71	2,22
FREQ (Hz)	21,7	10,2	50,0
PD (.01mm)	1,97	1,98	1,96
PPA (g)	0,052	0,033	0,072
Peak Vector Sum :	2,54 mm/s		
Peak Air Pressure:	118 db		
	16,34304 PSI @ 23,8 Hz		

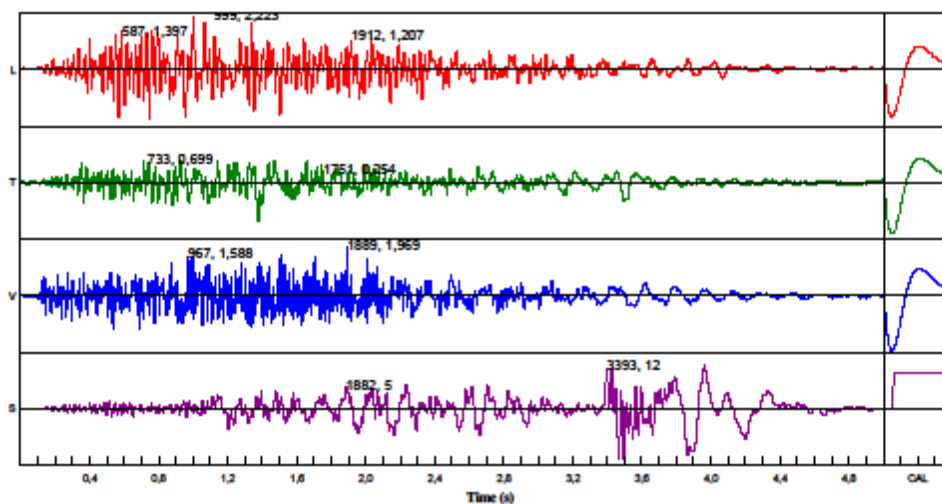
Additional Info:

Shaketable Calibrated: 07.04.2014
 By: GeoSonics Inc.
 359 Northgate Drive
 Warrondale, PA 15086 U.S.A.
 TEL: 724.934.2900 FAX: 724.934.2999

Velocity Waveform Graph Scale
 Time Scale: 0,100 s
 Seismic Scale: +/- 2,56 mm/s
 Sound Scale: +/- 18,1 PSI



Velocity Waveform
SN: 8993 Event: 1



ANEXO L - SISMOGRAMA: 11/05/2017 – PONTO 4 (DEPÓSITO DO SR. JOSÉ)

SN: 8877 Firmware: v3.22
 Date: 11.06.2015 Time: 16:29:03
 Event: 10 Record Time: 5,0 s
 Client: INTERCEMENT JP
 Operation: MEDICAO DE VIBRACAO
 Location: PONTO 4
 Distance: 490,
 Operator: MONITORA
 Comment:
 Trigger Level: 1,02 mm/s
 100 db

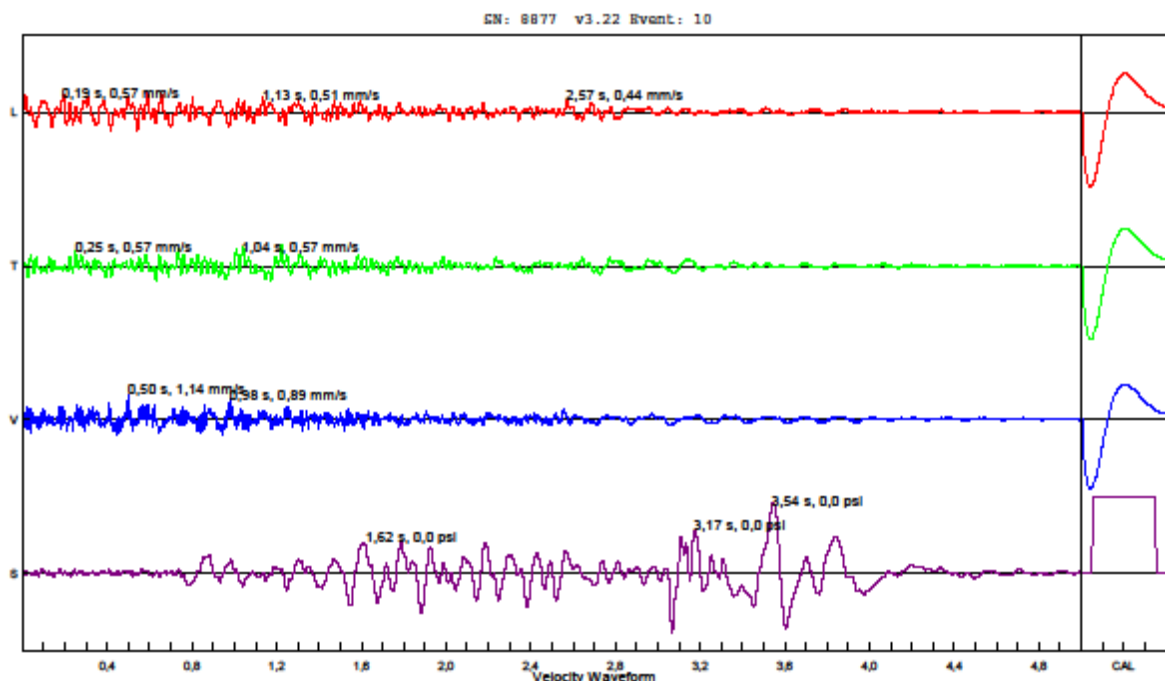
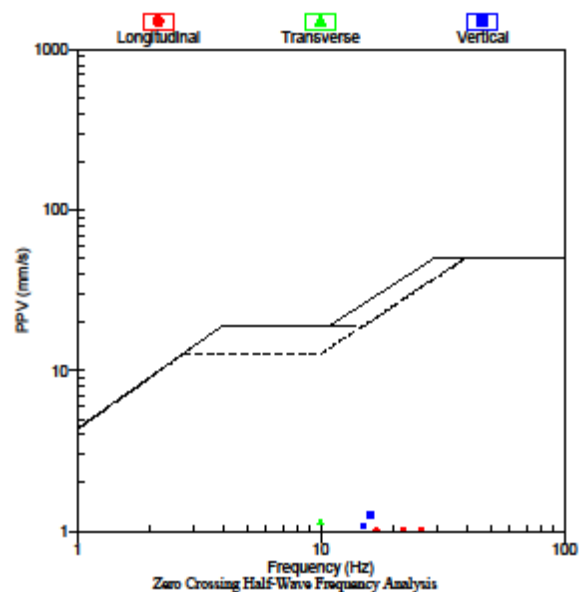
SN: 8877 v3.22 Event: 10
 OSM/USBM Safe Blasting Levels

Velocity Waveform Graph Scale:
 Time = 0,100 s
 Seismic = +/- 0,16 mm/s
 Sound = +/- 0,0023 psi

	L	T	V
PPV (mm/s)	1,02	1,14	1,27
PD (.01mm)	1,32	1,89	1,29
PPA (g)	0,026	0,026	0,039
FREQ (Hz)	25,0	10,0	15,2
Resultant PPV:	1,46 (mm/s)		
Peak Air Pressure:	117 db 0,0 psi		

Additional Info:

Shaketable Calibrated: 24.09.2014
 By: GeoSonics Inc.
 359 Northgate Drive
 Warrendale, PA 15086 U.S.A.
 TEL: 724.934.2900 FAX: 724.934.2999



ANEXO M - ABNT NBR 9653-2005



**ABNT – Associação
Brasileira de
Normas Técnicas**

Sede:
Rio de Janeiro
Av. Treze de Maio, 13 28º andar
CEP 20003-900 – Caixa Postal 1680
Rio de Janeiro – RJ
Tel.: PABX (021) 210-3122
Fax: (021) 220-1762/220-6436
Endereço eletrônico:
www.abnt.org.br

Copyright © 1999,
ABNT – Associação Brasileira
de Normas Técnicas
Printed in Brazil/
Impresso no Brasil
Todos os direitos reservados

ICS 13.220.60	SET 2005	NBR 9653
Guia para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações em áreas urbanas – Procedimento		
Origem: NBR 9653:1986 ABNT/CB-18: Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados CE 18:205.02 – Comissão de Estudo de Desmonte de Rochas com o Uso de Explosivos NBR 9653:2005 - Guide for the evaluation of effects of the use of explosives in minning and quarrying near urban areas – Proceedings Descriptors: Explosives. Vibrations. Airblast. Flyrock. É previsto para cancelar e substituir a NBR 9653:1986.		
Palavra(s)-chave: Explosivos. Vibrações. Pressão Acústica. Ultralanchamentos. Detonações		10 páginas

Sumário

Prefácio

1 Objetivo

2 Referências normativas

3 Definições

4 Critérios de Avaliação

5 Procedimentos de avaliação

6 Recomendações gerais

Anexo A (Informativo) – Modelos de cadastro de detonação

Anexo B (Informativo) – Bibliografia

Prefácio

A ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – é o Fórum Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB) e dos Organismos de Normalização Setorial (ONS), são elaboradas por Comissões de Estudo (ABNT/CE), formadas por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte: produtores, consumidores e neutros (universidades, laboratórios e outros).

Os Projetos de Norma Brasileira, elaborados no âmbito dos ABNT/CB e ONS circulam para Consulta Pública entre os associados da ABNT e demais interessados.

1 Objetivo

1.1 Esta Norma fixa a metodologia para reduzir os riscos inerentes ao desmonte de rocha com uso de explosivos em minerações, estabelecendo parâmetros a um grau compatível com a tecnologia disponível para a segurança das populações vizinhas, referindo-se a danos estruturais e procedimentos recomendados quanto ao conforto ambiental.

1.2 Esta Norma se aplica somente às emissões de ruídos impulsivos, vibrações pelo terreno e ultralanchamentos decorrentes do desmonte de rocha por explosivos.

1.3 É facultativa a aplicação desta Norma nas minerações localizadas em áreas não urbanas. Para situações que envolvam riscos semelhantes a Norma deve ser aplicada.

2 Referências normativas

As normas relacionadas a seguir contêm disposições que, ao serem citadas neste texto, constituem prescrições para esta Norma Brasileira. As edições indicadas estavam em vigor no momento desta publicação. Como toda norma está sujeita a revisão, recomenda-se àqueles que realizam acordos com base nesta que verifiquem a conveniência de se usarem as edições mais recentes das normas citadas a seguir. A ABNT possui a informação das normas brasileiras em vigor em um dado momento.

NBR 7497:1982 Vibrações mecânicas e choques – Terminologia

IEC 61672-1:2002 Electroacoustics – Sound level meters – Part 1: Specifications

IEC 61672-2:2003 Electroacoustics – Sound level meters – Part 2: Pattern evaluation tests

3 Definições

Para os efeitos desta Norma são adotados as definições de 3.1 a 3.10, complementadas pelos termos definidos na NBR 7497.

3.1 pressão acústica

É aquela provocada por uma onda de choque aérea com componentes na faixa audível (20 Hz a 20 000 Hz) e não audível, com duração menor do que um segundo.

3.2 desmonte de rocha com uso de explosivos

Operação de arrancamento, fragmentação, deslocamento e lançamento de rocha mediante aplicação de cargas explosivas.

3.3 área de operação

Área compreendida pela união da área de licenciamento ambiental mais a área de propriedade da empresa de mineração.

3.4 ultralancamento

Arremesso de fragmentos de rocha decorrente do desmonte com uso de explosivos, além da área de operação.

3.5 pico da componente de velocidade de vibração de partícula

Máximo valor de qualquer uma das três componentes ortogonais de velocidade de vibração de partícula medido durante um dado intervalo de tempo.

NOTA: Enquanto que uma perturbação ocasionada por uma fonte de vibrações se propaga a partir desta com uma dada velocidade de onda, as partículas do terreno oscilam com uma velocidade de partícula variável. A uma dada localização ao longo do percurso de propagação, o movimento pode ser definido em termos de três componentes mutuamente perpendiculares (geralmente vertical, transversal e longitudinal ou radial). Para garantir que a velocidade de vibração de partícula de pico seja medida corretamente, as três componentes devem ser medidas simultaneamente.

3.6 velocidade de vibração de partícula de pico

Máximo valor instantâneo da velocidade de uma partícula em um ponto durante um determinado intervalo de tempo, considerado como sendo o maior valor dentre os valores de pico das componentes de velocidade de vibração de partícula para o mesmo intervalo de tempo.

3.7 velocidade de vibração de partícula resultante de pico (VR)

Máximo valor obtido pela soma vetorial das três componentes ortogonais simultâneas de velocidade de vibração de partícula, considerado ao longo de um determinado intervalo de tempo.

3.8 frequência de vibração de partícula

Número de oscilações por segundo em que o terreno vibra conforme energia sísmica criada pela detonação de explosivos que passa por um ponto determinado, obtido a partir da análise do registro de velocidade de vibração de partícula, dada em hertz (1Hz é igual a uma oscilação por segundo).

3.9 deslocamento de partícula de pico

Máxima distância na qual a partícula se desloca quando colocada em movimento por uma onda sísmica criada pela detonação de explosivos, segundo as direções das três componentes ortogonais.

3.10 distância escalonada (DE) ou distância reduzida

Calculada através da seguinte equação e usada para estimar a vibração do terreno:

$$DE = D/Q^{0,5}$$

onde:

D é a distância horizontal entre o ponto de medição e o ponto mais próximo da detonação, em metros;

Q é a carga máxima de explosivos a ser detonado por espera, em quilogramas.

4 Critérios de avaliação e limites recomendáveis de segurança

Em operações de desmonte de rocha por explosivos devem ser observadas as condições estabelecidas de 4.1 a 4.3.

4.1 Ultralancamento

O ultralancamento não deve ocorrer além da área de operação do empreendimento, respeitadas as normas internas de segurança referentes à operação de desmonte.

4.2 Pressão acústica

A pressão acústica, medida além da área de operação, não deve ultrapassar o valor de 100Pa, o que corresponde a um nível de pressão acústica de 134 dBL pico.

4.3 Velocidade de vibração de partícula de pico

4.3.1 Os riscos de ocorrência de danos induzidos por vibrações do terreno devem ser avaliados levando-se em consideração a magnitude e a frequência de vibração de partícula.

4.3.2 Os limites para velocidade de vibração de partícula de pico acima dos quais podem ocorrer danos induzidos por vibrações do terreno são apresentados numericamente na Tabela 1 e graficamente na Figura 1.

Tabela 1 - Limites de velocidade de vibração de partícula de pico por faixas de frequência

Faixa de Frequência	Limite de Velocidade de vibração de partícula de pico
4 Hz a 15 Hz	Iniciando 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 de no máximo 0,6 mm (de zero a pico)	

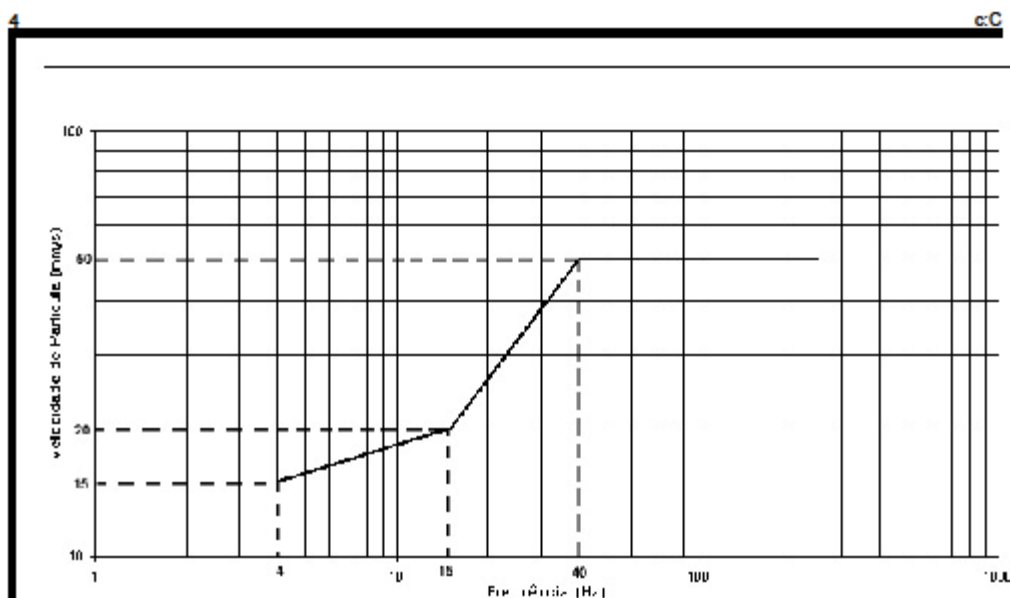


Figura 1 – Representação gráfica dos limites de velocidade de vibração de partícula de pico por faixas de frequência

5 Procedimentos de avaliação

5.1 Ultralancamento

A verificação do ultralancamento deve ser efetuada em ambiente externo à área de operação da mina, observado o disposto em 4.1.

5.2 Pressão acústica

Para verificação do critério estabelecido em 4.2, devem ser seguidos os procedimentos de 5.2.1 a 5.2.5.

5.2.1 O sensor deve ser instalado:

- junto à estrutura mais próxima do desmorte onde se presume que sejam atingidos os maiores valores de pressão acústica, e
- na parte externa da estrutura ou da edificação, preferencialmente a uma distância superior a 3,0 m e a uma altura de 1,0 m do solo ou conforme a especificação do equipamento.

Nota: Recomenda-se o uso de protetor de vento nos sensores durante as medições.

5.2.2 Instalar os sensores em pontos onde não haja obstáculo natural ou artificial entre o local de detonação e o ponto de registro. No entanto, se isso não puder ser evitado, recomenda-se que a distância horizontal entre o sensor e o obstáculo seja maior que a altura deste acima do sensor.

5.2.3 O aparelho de medida deve obedecer à norma IEC 61672 (Partes 1 e 2) ou equivalente, no que se refere ao equipamento do tipo I.

5.2.4 Os relatórios de medição devem conter, além do tipo de aparelho, os valores de frequência e intensidade registrados na medição efetuada. Devem ser descritos os métodos de medição e cálculo.

5.2.5 Os aparelhos de registro devem ser calibrados de acordo com as recomendações dos seus fabricantes, no máximo a cada 2 anos, com equipamentos rastreáveis, preferencialmente na RBC (Rede Brasileira de Calibração).

5.3 Velocidade de vibração de partícula

Para verificação do critério estabelecido em 4.3, devem ser seguidos os procedimentos de 5.3.1 a 5.3.4.

5.3.1 Posicionamento de transdutores e equipamentos

5.3.1.1 Quando a medição for executada junto ao limite da área de operação da mina, instalar os transdutores em pontos onde presumivelmente devem ser atingidos os maiores valores de velocidade de vibração de partícula de pico.

5.3.1.2 Quando a medição for executada em locais onde existam edificações, instalar os transdutores de modo preferencial no mesmo terreno no qual as estruturas ou edificações estejam construídas, junto a pilares e cantos de construção.

5.3.1.3 O transdutor de velocidade de vibração de partícula deve ser fixado rigidamente ao terreno objeto da medição. Na impossibilidade de fixação em solo pode ser fixado à estrutura. Deve ser observado o estabelecido a seguir:

- a) no caso de superfície rígida, deve-se utilizar gesso ou outro material adesivo que torne o transdutor o mais perfeitamente solidário ao meio de propagação (rocha e, eventualmente, estrutura);
- b) no caso de solo, deve-se preferencialmente enterrar o transdutor a uma profundidade nunca inferior a 10cm e nunca superior a 30cm. Alternativamente, pode-se utilizar cravos de comprimento máximo de 20cm, desde que o sistema não fique em balanço.

5.3.1.4 Os geofones contendo os transdutores devem ser nivelados e orientados conforme a direção da detonação.

5.3.2 Características dos equipamentos

5.3.2.1 Sismógrafo

O aparelho de medição, sismógrafo de engenharia, deve:

- a) possuir sistema de verificação interna da calibração por pulso eletrônico (autochecagem);
- b) dispor de capacidade de armazenamento de eventos sísmicos (memória);
- c) estar preparado para efetuar medições em temperaturas compreendidas na faixa de -12°C a $+55^{\circ}\text{C}$;
- d) de modo preferencial, registrar instantaneamente os valores máximos de velocidade de vibração de partícula em três direções mutuamente perpendiculares, sendo os valores expressos em milímetros por segundo (mm/s).

Os aparelhos de registro devem ser calibrados de acordo com as recomendações dos seus fabricantes, no máximo a cada 2 anos, com equipamentos rastreáveis, preferencialmente na RBC (Rede Brasileira de Calibração).

5.3.2.2 Transdutores de velocidade

Os transdutores de velocidade devem apresentar, como mínimo:

- a) resposta plana linear na faixa de frequências 4Hz a 125Hz;
- b) realizar medição de intensidade de velocidade de vibração de partícula no intervalo de 0,5mm/s a 100mm/s na faixa de frequência de 2Hz a 250Hz;
- c) resolução de 0,25mm/s;
- d) precisão de $\pm 5\%$ ou $\pm 0,5\text{mm/s}$, o que for maior;

A taxa de amostragem mínima deve ser de 1 000 pontos por segundo por canal, para eventos de até 5s de duração.

5.3.3 Relatórios sismográficos

Os relatórios sismográficos de cada medição devem conter:

- data e hora da medição;
- identificação do local de monitoramento;
- identificação do local de detonação;
- registros sismográficos das intensidades no tempo (onda sísmica);
- valores de pico da velocidade de vibração de partícula para cada uma das três componentes (L, T e V);
- valores de pico da aceleração de partícula para cada uma das três componentes (L, T e V);
- valores de pico do deslocamento de partícula para cada uma das três componentes (L, T e V);

- valores da frequência associada ao pico da velocidade para cada componente tri-ortogonal;
- máximo valor da velocidade de vibração de partícula resultante de pico;

Adicionalmente os relatórios podem conter, entre outras, as seguintes informações:

- distância entre o local de detonação e o local de monitoramento;
- carga explosiva máxima por espera detonada;
- intervalos da sequência detonante;
- carga explosiva total detonada;
- condições atmosféricas.

6 Recomendações Gerais

6.1 Conforto Ambiental

Com relação ao conforto das populações vizinhas às minerações são recomendáveis os seguintes procedimentos:

- a) implantação de um sistema de informação à população quanto às atividades de desmonte, envolvendo aspectos tais como: sinalização, horário de detonação, procedimentos de segurança adotados e outros;
- b) estabelecimento de um registro de reclamações em formulário adequado, contendo pelo menos: nome e endereço do reclamante, horário, tipo de incômodo verificado, quais as providências tomadas pela empresa para minimizar os aspectos relativos ao objeto de reclamação e outras providências eventuais;
- c) estabelecimento, de comum acordo com a comunidade, de horários determinados de detonação com sinal sonoro audível que não gere desconforto adicional;
- d) uso de insumos, na operação de desmonte, de modo a minimizar os impactos ambientais, especialmente os propagados pela atmosfera na forma de ruído e poeiras (ex.: cordel detonante substituído por tubo de choque ou espoleta eletrônica);
- e) implantação de um único canal de comunicação com a comunidade, através de agente tecnicamente habilitado e familiarizado com as operações de produção;
- f) implantação de uma sistemática de treinamento para os operadores vinculados às tarefas de desmonte, visando habilitá-los na minimização dos impactos ambientais;
- g) manutenção do registro de todos os planos de fogo realizados, por um período mínimo de um ano, para eventual verificação do órgão fiscalizador local;
- h) estabelecimento de um plano de monitoramento das detonações compatível com as necessidades específicas de cada unidade mineradora em operação.

6.2 Situações Excepcionais

Quando, por motivos excepcionais, houver o impedimento da realização do monitoramento sismográfico, pode ser considerada atendida esta norma com relação ao item 4.3, se for obedecida uma distância escalonada que cumpra com as seguintes exigências:

$$DE \geq 40 \text{ m/kg}^{0,5}$$

para $D \leq 300 \text{ m}$

/ANEXO A

c.c.

7

Anexo A (Informativo)
Modelos de cadastro de detonação

1.1.1.1 Cadastro de detonação tipo 1				
Local		Fogo n.º	Data	
		Horário	Folha n.º	
Perfuração		Previsto	Executado	Observações
Malha (ExA) ¹⁾ (mxm)				
Altura da bancada (m)				
Profundidade perfurada (m)				
Total de furos				
Profundidade média (m)				
Subfuração média (m)				
Diâmetro dos furos		cm		
		pol		
Inclinação dos furos				
Volume teórico deslocado (m³)				
Explosivo	1	2	3	Observações
Nome				
Tipo				
Posição no furo				
Dimensões	cm			
	pol			
Peso por cartucho (kg)				
Total utilizado (kg)				
Total geral de explosivo (kg):		Cordel detonante (m):		
Razão de carregamento (kg/m³):		Espera da carga máxima:		
Carga máxima por espera (kg):		No. de furos da carga máxima:		
Retardos utilizados	tempo			
	quantidade			
Método de iniciação				
Método de tamponamento				
Tipo de proteção				
Tipo de material detonado				
Fragmentação resultante				
Condições meteorológicas				
Observações				
¹⁾ E = espaçamento				
A = afastamento				

¹⁾ E é o espaçamento; A é o afastamento.

Cadastro de detonação tipo 2										
Local						Fogo n°. Horário			Data Folha n°.	
Linha n°.	Furo n°.	Espaçamento m	Afastamento m	Profundidade m	Cartuchos de explosivos			Total de cartuchos	Tampão	Obs.
					1	2	3			

Observações

Nome do responsável _____ **Assinatura** _____

/ANEXO B

Anexo B (Informativo)
Bibliografia

Decreto nº 55649, de 28.01.65 – D.O.U. 05.02.65

Decreto lei nº 227, de 28.02.67 – Código de Mineração – D.O.U. 28.02.67

NBR 6118:2003 Projeto de estruturas de concreto – Procedimento

NBR 6122:1996 Projeto e execução de fundações – Procedimento

NBR 7731:1983 Guia para execução de serviços de medição de ruído aéreo e avaliação dos seus efeitos sobre o homem – Procedimento

ANSI S1.4 -1983 (Rev. 2001) – Specification for sound level meters.