

WILSON SIGUEMASA IRAMINA

**CONTRIBUIÇÕES SOBRE A VIBRAÇÃO DO TERRENO E A
SOBREPRESSÃO ATMOSFÉRICA NA ELABORAÇÃO DO
EIA DE UMA MINA DE NEFELINA-SIENITO**

- Dependida em 25/4/2007
- nomeado em 25/9/2007

São Paulo

2007

OK/11

WILSON SIGUEMASA IRAMINA

**CONTRIBUIÇÕES SOBRE A VIBRAÇÃO DO TERRENO E A
SOBREPRESSÃO ATMOSFÉRICA NA ELABORAÇÃO DO
EIA DE UMA MINA DE NEFELINA-SIENITO**

**Tese apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para a
obtenção do Título de Livre Docente**

São Paulo

2007



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

CJ.P.1088/07

AMC/cpc

Autos n.º 2004.1.1487.3.0

Interessado: WILSON SIGUEMASA IRAMINA

Assunto: Contrato docente

Tema: Concurso para a obtenção do título de livre-docente — Inexistência de irregularidades procedimentais que obstem à outorga do título

PARECER

Examinados os autos n.º 2007.1.484.3.0, de “concurso de livre-docente”, e estes autos de n.º 2004.1.1487.3.0, em particular as informações de fls. 362/365 conclui-se que o procedimento de concurso não apresenta irregularidades que obstem se ratifique a homologação do relatório final da comissão julgadora e se acolha a proposta de outorga do título.

Encaminhem-se os autos ao Gabinete da Magnífica Reitora.

Consultoria Jurídica, 14 de agosto de 2007

Assinatura manuscrita em tinta preta, com uma linha decorativa horizontal que se estende para a direita.

ANA MARIA DA CRUZ
Procuradora Chefe

DEDICATÓRIA

À minha esposa Akiko e ao meu filho

Alan.

WILSON SIGUEMASA IRAMINA

**CONTRIBUIÇÕES SOBRE A VIBRAÇÃO DO TERRENO E A
SOBREPRESSÃO ATMOSFÉRICA NA ELABORAÇÃO DO
EIA DE UMA MINA DE NEFELINA-SIENITO**

**Tese apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para a
obtenção do Título de Livre Docente**

**Especialidade:
Engenharia ambiental aplicada à
mineração**

São Paulo

2007

AGRADECIMENTOS

Ao amigo Sérgio Médici de Eston, pelo incentivo dado a mais uma etapa de minha vida e pelos sempre sábios conselhos.

À minha esposa Akiko e meu filho Alan, por compreender os inevitáveis momentos de ausência, pelo incentivo e pelos momentos de alegria e descontração.

Aos amigos Engenheiros Eduardo César Sansone e Michiel Wichers Schrage pelas valiosas contribuições ao trabalho.

À PROMINER Projetos S/C Ltda. Em especial aos Engenheiros Ciro Terêncio Russomano Ricciardi e Milton Akira Ishisaki.

A Maria Cristina M. Bonesio pelo auxílio na organização da bibliografia deste trabalho.

Aos demais companheiros do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo que direta ou indiretamente colaboraram com este trabalho.

RESUMO

O desmonte de rocha por explosivos está entre as diversas atividades de uma mineração que podem resultar em impactos ambientais. Ele deve ser considerado no projeto de implantação de uma mina e também no Estudo de Impacto Ambiental (EIA), pois está associado a uma série de problemas ambientais, destacando-se entre eles a vibração do terreno e a sobrepressão atmosférica devido ao seu potencial para danos e reclamações. Este trabalho teve como objetivo contribuir, através do estudo destes parâmetros, para a elaboração de um EIA de um projeto de mineração de nefelina-sienito no estado do Rio de Janeiro, associando-os às diversas fases que compõem este estudo. Dentro destas fases estes parâmetros foram identificados e tiveram a sua magnitude prevista por meio de modelos existentes aplicados aos diversos tipos de rochas em geral e também aqueles aplicados especificamente ao granito, devido à ao seu comportamento geomecânico similar ao da nefelina-sienito. Os resultados demonstraram que os valores previstos estão dentro de uma faixa operacional abaixo da norma, o que permitiria a implantação da mina com relação a estes requisitos e desde que obedecem a critérios técnicos e estejam vinculados a um plano de monitoramento sistemático para os devidos ajustes, pois estes valores estimados podem não representar o real comportamento destes parâmetros em função dos diversos fatores que influenciam a sua propagação pelo ambiente do maciço rochoso.

Palavras-chave: Engenharia de minas. Estudo de impacto ambiental. Desmonte de rocha. Vibração do terreno e sobrepressão atmosférica. Modelos de previsão.

ABSTRACT

Rock blasting is one of the several activities in mining which may cause environmental impacts. It should be considered in mine planning as well as in its Environmental Impact Statement (EIS) due to several related environmental problems such as ground vibration and air blast and their potential for damage and annoyance. This study was carried on concerning these problems in order to help the EIS of a nepheline-syenite mining project in Rio de Janeiro state and the several phases related to this study. The ground vibration and the air blast not only were identified in these phases but also had their magnitude predicted by using some models applied to several types of rocks as well as to granite, due to its geomechanical behavior similar to the nepheline-syenite rock. The resulting estimating values have showed that the blasting could be feasible according to the design parameters, since the technical criteria and the monitoring plan were implemented. Although the values could be considered as a safe operational range, below the Brazilian standard, caution must be taken because the particular rock mass behavior and the environment could affect both ground vibration and the air blast making the actual behavior different from the estimated values.

Keywords: Mining engineering. Environmental Impact Statement. Rock blasting. Ground vibration and air blast. Predicting models.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| Figura 1. Operações de desmonte de rocha e carregamento a céu aberto | 30 |
| Figura 2. Elementos geométricos contidos num plano de fogo..... | 31 |
| Figura 3. Fluxograma com a classificação dos métodos de lavra subterrânea de acordo com as características do depósito e da rocha encaixante..... | 38 |
| Figura 4. Desenho esquemático de uma lavra por pilar e salão..... | 39 |
| Figura 5. Lavra com pilares não-sistemáticos..... | 41 |
| Figura 6. Frente plena com pilares contínuos..... | 41 |
| Figura 7. Lavra com pilares sistemáticos..... | 42 |
| Figura 8. Frente plena com bancadas..... | 43 |
| Figura 9. Lavra por subníveis com perfurações longas na Mina Baltar, da Votorantim..... | 44 |
| Figura 10. Desenho esquemático de Armazenamento temporário..... | 46 |
| Figura 11. Método de corte e aterro | 49 |
| Figura 12. Tipos de suporte de madeira..... | 51 |
| Figura 13. Método por realce esteiado | 52 |
| Figura 14. Lavra por longwallna Mina Leão I..... | 53 |
| Figura 15. Desenho clássico de um desabamento em subníveis..... | 54 |
| Figura 16. Desenho didático de um desabamento em subníveis..... | 56 |
| Figura 17. Desabamento em blocos | 58 |
| Figura 18. Energia de choque (esquerda) e energia de expansão dos gases (direita) atuando na fragmentação da rocha | 60 |
| Figura 19. Mecanismo de geração de um Impacto Ambiental | 64 |
| Figura 20. Esquema da distribuição dos problemas associados à detonação | 83 |
| Figura 21. Diagrama esquemático de distribuição da energia de detonação..... | 84 |
| Figura 22. Distribuição da energia transmitida à rocha pela sua detonação | 85 |
| Figura 23. Representação de uma onda P e uma onda S..... | 93 |
| Figura 24. Representação de uma onda de Rayleigh e uma onda de Love..... | 94 |
| Figura 25. Resposta humana subjetiva às vibrações decorrentes do desmonte por explosivos em gráfico log-log | 99 |
| Figura 26. Efeito das condições atmosféricas sobre a sobrepressão atmosférica..... | 101 |

| | |
|---|-----|
| Figura 27. Alguns níveis de ruído a que as pessoas são submetidas segundo o USBM..... | 103 |
| Figura 28. Mapa de acesso rodoviário ao empreendimento | 106 |
| Figura 29. Mapa de localização do empreendimento..... | 107 |
| Figura 30. Área inicialmente prevista para a lavra a céu aberto na Fazenda do Surdo, vista do Bairro do Barro Branco..... | 108 |
| Figura 31. Área onde será a embocadura da mina subterrânea que se desenvolverá na encosta que aparece na foto e que dá para a Fazenda do Surdo..... | 108 |
| Figura 32. Vista em planta do corpo mineralizado de nefelina..... | 117 |
| Figura 33. Vista frontal (de sul para norte) do corpo mineralizado de nefelina | 118 |
| Figura 34. Configuração final da cava em meia encosta projetada..... | 123 |
| Figura 35. Plano de implantação do empreendimento para opção a céu aberto..... | 123 |
| Figura 36. Plano de implantação do empreendimento para opção Mina subterrânea Oeste..... | 124 |
| Figura 37. Opção de lavra imediatamente posterior à lavra a céu aberto e descartada depois | 125 |
| Figura 38. Planta geral mostrando o desenvolvimento das minas subterrâneas dos setores leste e oeste..... | 134 |
| Figura 39. Seção transversal com orientação Norte-Sul visando leste, na mina do setor leste..... | 137 |
| Figura 40. Seqüência de lavra no nível de produção da cota 87 metros..... | 138 |
| Figura 41. Seqüência de lavra no nível de produção da cota 55 metros..... | 139 |
| Figura 42. Seqüência de lavra no nível de produção da cota 23 metros..... | 139 |
| Figura 43. Seqüência de lavra no nível de produção da cota – 9 metros. Mina Leste | 140 |
| Figura 44. Seção transversal com orientação Leste Oeste na coordenada N 7.497.010 visando Norte na mina do setor oeste..... | 142 |
| Figura 45. Seção transversal com orientação Leste Oeste na coordenada N 7.496.990 visando Norte na mina do setor oeste..... | 142 |
| Figura 46. Seqüência de lavra no nível – 14 metros na mina do setor oeste | 144 |
| Figura 47. Seqüência de lavra no nível 18 metros na mina do setor oeste..... | 144 |
| Figura 48. Seqüência de lavra no nível 50 metros na mina do setor oeste..... | 145 |
| Figura 49. Seqüência de lavra no nível 82 metros na mina do setor oeste..... | 145 |

| | |
|---|-----|
| Figura 50. Vista em planta do nível 18 metros, mostrando o sentido geral da vazão de ar e a localização do ventilador principal no ano 10 de lavra da mina do setor oeste..... | 146 |
| Figura 51. Vista em planta do nível 50 metros, mostrando o sentido geral da vazão de ar e a localização do ventilador principal no ano 10 de lavra da mina do setor oeste | 146 |
| Figura 52. Diagrama esquemático mostrando o método de lavra planejado, pilar e salão descendente | 147 |
| Figura 53. Metodologia de planejamento e preparação de um estudo de impacto ambiental..... | 155 |
| Figura 54. Geologia regional do empreendimento | 159 |
| Figura 55. Geologia local do empreendimento | 162 |
| Figura 56. Seções geológicas..... | 165 |
| Figura 57. Unidade Serra dos Órgãos (ao fundo), embasada por gnaisses granitóides e migmatitos, nos limites de ocorrência do Complexo Alcalino de Canaã, compreendida no extremo noroeste dessa Unidade | 167 |
| Figura 58. Feições da Unidade geomorfológica Colinas e Maciços Costeiros, nas adjacências da área de estudo (ao sul) | 168 |
| Figura 59. Mapa de localização dos Pontos de Medição de Ruído e aplicados aos estudos de vibração do terreno e sobrepressão atmosféricas | 172 |
| Figura 60. Ponto de ruído monitorado no Parque Eqüitativa, na Rua Francisco Acha | 172 |
| Figura 61. Avenida Automóvel Clube, via que liga a BR-040 à localidade denominada Inhomirim, no município de Magé. Esta avenida passa em frente à área onde se pretende implantar o empreendimento..... | 178 |
| Figura 62. Uma das ruas não pavimentadas, no loteamento Barro Branco. Este loteamento é constituído por residências típicas de auto-construção, porém, nem todos os lotes estão ocupados | 178 |
| Figura 63. Avenida Pedro Álvares Cabral, principal via pavimentada do loteamento Barro Branco, por onde circulam os ônibus que servem ao bairro | 179 |
| Figura 64. Loteamento Residencial Bosque dos Ipês, onde se percebem as primeiras residências que estão sendo construídas. Este loteamento situa-se ao lado do loteamento Barro Branco | 180 |
| Figura 65 – Representação gráfica dos limites de velocidade de vibração de partícula de pico por faixas de frequência | 188 |
| Figura 66. Algoritmo da OCMA para a determinação da atenuação k_1 em função da distância e da absorção do ar..... | 197 |
| Figura 67. Algoritmo da OCMA para a determinação da atenuação da superfície k_2 no caso de proteção mínima (ausência de barreiras) | 198 |

| | |
|--|-----|
| Figura 68. Algoritmo da OCMA para a determinação da atenuação da superfície k_2 no caso de proteção significativa (presença de barreiras) | 198 |
| Figura 69. Localização dos pontos receptores sensíveis mais próximos para a Mina Oeste | 220 |
| Figura 70. Mapa com a localização dos pontos receptores sensíveis mais próximos com relação à implantação da Mina Subterrânea Leste | 222 |
| Figura 71. Localização dos pontos sugeridos para o programa de monitoramento sismográfico | 233 |
| Figura 73. Valores estimados para a vibração do terreno em um desmonte a céu aberto com 3 cargas máximas por espera. | 235 |
| Figura 73. Valores estimados para a vibração do terreno na abertura da rampa de acesso na Mina Subterrânea Oeste com 3 cargas máximas por espera. | 236 |
| Figura 74. Valores estimados para a vibração do terreno na abertura de galerias na Mina Subterrânea Oeste com 3 cargas máximas por espera. | 236 |
| Figura 75. Valores estimados para a vibração do terreno na detonação de bancadas na Mina Subterrânea Oeste com 3 cargas máximas por espera. | 237 |
| Figura 76. Valores estimados para a vibração do terreno na abertura da rampa de acesso na Mina Subterrânea Leste com 3 cargas máximas por espera. | 237 |
| Figura 77. Valores estimados para a vibração do terreno na abertura de galerias na Mina Subterrânea Leste com 3 cargas máximas por espera. | 238 |
| Figura 78. Valores estimados para a vibração do terreno na detonação de bancadas na Mina Subterrânea Leste com 3 cargas máximas por espera. | 238 |
| Figura 79. Valores estimados para a sobrepressão atmosférica de um desmonte a céu aberto com 3 cargas máximas por espera. | 239 |
| Figura 80. Valores estimados para a sobrepressão atmosférica de um desmonte na Mina Subterrânea Oeste com 3 cargas máximas por espera. | 239 |
| Figura 81. Valores estimados para a sobrepressão atmosférica de um desmonte na Mina Subterrânea Leste com 3 cargas máximas por espera. | 240 |
| Figura 82. Valores de parâmetros mecânicos encontrados em ensaios para granito | 246 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| Tabela 1. Classificação dos depósitos em função da espessura | 36 |
| Tabela 2. Instrumentos Legais de Administração dos Recursos Naturais..... | 67 |
| Tabela 3. Níveis de vibração e efeitos associados e velocidades seguras de vibração de partícula (Vr) em função do tipo de estrutura..... | 97 |
| Tabela 4. Critérios de danos segundo alguns autores. | 97 |
| Tabela 5. Reservas cubadas no início | 115 |
| Tabela 6. Reservas medidas de nefelina-sienito | 121 |
| Tabela 7. Propriedades das rochas | 127 |
| Tabela 8. Características do maciço rochoso | 128 |
| Tabela 9. Categoria de massa rochosa (rock mass rating – RMR) | 128 |
| Tabela 10. Fator de segurança nos pilares para cada tipo de rocha..... | 130 |
| Tabela 11. Tensões de tração e cisalhamento nos pilares entre níveis e no pilar de coroamento | 132 |
| Tabela 12. Fator de segurança para os pilares entre os níveis para diversos tipos de rocha | 132 |
| Tabela 13. Fator de segurança para os pilares de coroamento para diversos tipos de rocha..... | 133 |
| Tabela 14. Coluna Geológica Regional - Complexo Alcalino de Canaã..... | 160 |
| Tabela 15. Níveis de ruído limite para ambientes externos - dB(A) | 171 |
| Tabela 16. Uso e Ocupação do dolo em Duque de Caxias em 1998..... | 177 |
| Tabela 17. Valores estabelecidos pela NBR-9653/2005. | 187 |
| Tabela 18. Equações carga-distância utilizadas para a previsão da magnitude. | 203 |
| Tabela 19. Valores estimados de velocidade de vibração de partículas segundo algumas equações empíricas levantadas | 204 |
| Tabela 20. Equações carga-distância utilizadas para a previsão da magnitude na Mina Oeste..... | 206 |
| Tabela 21. Valores estimados para a velocidade de vibração de partícula na Mina Oeste, de acordo com algumas equações | 209 |
| Tabela 22. Valores estimados para a velocidade de vibração de partícula na Mina Leste, de acordo com algumas equações | 210 |
| Tabela 23. Valores estimados de vibração de terreno para as três situações projetadas, após a padronização para a velocidade resultante..... | 213 |
| Tabela 24. Equações empíricas para estimativa da sobrepressão atmosférica em detonações de bancada. | 214 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 25. Valores estimados de sobrepressão atmosférica (SPL) obtidos com 2 equações empíricas para a distância mínima de 270 m. | 214 |
| Tabela 26. Relação de equações utilizadas no cálculo das estimativas de previsão (IRAMINA et al., 2003b). | 216 |
| Tabela 27. Aproximação para uniformização da fonte de sobrepressão atmosférica a partir de detonações subterrâneas na Mina Oeste | 217 |
| Tabela 28. Sobrepressão atmosférica estimada para os pontos receptores sensíveis mais próximos da Mina Oeste..... | 218 |
| Tabela 29. Exemplo de cálculo de ruído utilizado para a metodologia adotada. | 219 |
| Tabela 30. Aproximação para uniformização da fonte de sobrepressão atmosférica a partir de detonações subterrâneas na Mina Leste..... | 220 |
| Tabela 31. Sobrepressão atmosférica estimada para os pontos receptores sensíveis mais próximos da Mina Leste | 221 |
| Tabela 32. Localização dos pontos de monitoramento sismográficos propostos. | 232 |
| Tabela 33. Velocidades de propagação da onda longitudinal de algumas rochas ou minerais e algumas de suas propriedades dinâmicas..... | 242 |
| Tabela 34. Velocidades de ondas longitudinais nas fases da rocha. | 245 |
| Tabela 35. Comparação entre parâmetros geomecânicos do granito e do maciço do Projeto Nefelina. | 246 |
| Tabela 36. Equações para cálculo de k_1 e k_2 , por frequência | 252 |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|-----------|--|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| AIA | Avaliação de Impacto Ambiental |
| ANFO | Explosivo feito de nitrato de amônio misturado a óleo diesel |
| APA | Área de Proteção Ambiental |
| BS | British Standard |
| CETESB | Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental |
| CME | Carga Máxima por Espera |
| CMRI | Central Mining Research Institute (India) |
| CONAMA | Conselho Nacional do Meio Ambiente |
| CONAMA | Conselho Nacional do Meio Ambiente |
| CONCAWE | Oil Companies's International Study Group for Conservation of Clean Air and Water |
| DNPM | Departamento Nacional da Produção Mineral |
| EIA | Estudo de Impacto Ambiental |
| EPUSP | Escola Politécnica da Universidade de São Paulo |
| FEEMA | Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente |
| IBAMA | Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis |
| ISO | International Standardization Organization |
| ITE | Instrução Técnica Específica |
| LACASEMIN | Laboratório de Controle Ambiental, Higiene e Segurança na Mineração Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo |
| LI | Licença de Instalação |
| LO | Licença de Operação |
| LP | Licença Prévia |
| MCE | Memorial de Caracterização do Empreendimento |
| NBR | Norma Brasileira Regulamentadora |
| OCMA | Oil Companies Material Association, da Grã-Bretanha |
| OSM | Office of Surface Mines (EUA) |
| OSMRE | Office of Surface Mines Regulation (EUA) |
| PAE | Plano de Aproveitamento Econômico |
| PCA | Plano de Controle Ambiental |
| PND | Programa Nacional de Desenvolvimento |

Continuação da LISTA DE SIGLAS

| | |
|------|--|
| PPV | Peak Particle Velocity |
| PPV | Peak Particle Velocity |
| PRAD | Plano de Recuperação de Áreas Degradadas |
| RAP | Relatório Ambiental Preliminar |
| RCA | Relatório de Controle Ambiental |
| RIMA | Relatório de Impacto Ambiental |
| RMR | Rock Mass Rating |
| RMRJ | Região Metropolitana do Rio de Janeiro |
| ROM | Run of Mine |
| RQD | Rock Quality Designation |
| SEMA | Secretaria do Meio Ambiente |
| SGA | Sistema de Gestão Ambiental |
| SPL | Sound Pressure Level ou Nível de Pressão Sonora |
| TR | Termo de Referência |
| USBM | United States Bureau of Mines (EUA) |
| UTM | Sistema de coordenadas (Universal Transversa Mercator) |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO, OBJETIVO E JUSTIFICATIVA DO TRABALHO ... | 21 |
| 1.1. INTRODUÇÃO | 21 |
| 1.2. OBJETIVO DO TRABALHO | 23 |
| 1.3. JUSTIFICATIVA..... | 24 |
| CAPÍTULO 2 - METODOLOGIA | 26 |
| CAPÍTULO 3 - DESMONTE DE ROCHA, LAVRA A CÉU ABERTO E SUBTERRÂNEA | 30 |
| 3.1. DESMONTE DE ROCHA EM MINAS A CÉU ABERTO | 30 |
| 3.1.1. Elementos de um plano de fogo | 31 |
| 3.1.1.1. Altura da bancada (H) | 31 |
| 3.1.1.2. Diâmetro do furo..... | 32 |
| 3.1.1.3. Inclinação do furo | 32 |
| 3.1.1.4. Subfuração..... | 32 |
| 3.1.1.5. Malha de furos..... | 33 |
| 3.1.2.5.1. Tipo de malha..... | 33 |
| 3.1.2.5.2. Afastamento e espaçamento | 33 |
| 3.1.1.6. Tamponamento | 34 |
| 3.1.1.7. Razão de carregamento (“powder factor”)..... | 34 |
| 3.1.1.8. Tamanho e forma do desmonte..... | 34 |
| 3.1.1.9. Seqüência de iniciação e distribuição dos retardos | 34 |
| 3.2. DESMONTE DE ROCHA EM LAVRA SUBTERRÂNEA | 35 |
| 3.2.1. Fatores governantes na escolha de um método de lavra subterrânea..... | 35 |
| 3.2.1.1. Forma e tamanho do depósito..... | 35 |
| 3.2.1.2. Espessura do depósito | 35 |
| 3.2.1.3. Mergulho do depósito..... | 36 |
| 3.2.1.4. Características físicas e mecânicas do minério e da rocha encaixante..... | 36 |
| 3.2.1.5. Outros fatores..... | 36 |
| 3.2.2. Fatores desejáveis na seleção de método de lavra subterrânea | 37 |
| 3.3. MÉTODOS DE LAVRA SUBTERRÂNEA | 37 |
| 3.3.1. Pilar e salão (room and pillar, stope and pillar) | 39 |
| 3.3.2. Subníveis (sublevels) | 44 |
| 3.3.2.1. Subníveis com perfurações longas..... | 44 |
| 3.3.3. Métodos com armazenamento temporário de minério | 45 |
| 3.3.3.1. Armazenamento temporário (shrinkage)..... | 46 |
| 3.3.4. Métodos com aterro sistemático depois de extraído o minério | 47 |
| 3.3.4.1. Corte e Aterro..... | 47 |
| 3.3.5. Métodos com reforço sistemático | 50 |
| 3.3.5.1. Madeiramento em quadros..... | 50 |
| 3.3.5.2. Realces esteiados | 51 |

| | |
|---|-----------|
| 3.3.6. Métodos com desabamento | 52 |
| 3.3.6.1. Frentes longas (longwall) | 52 |
| 3.3.6.2. Desabamento em subníveis | 54 |
| 3.3.6.3. Desabamento em blocos | 57 |
| 3.4. O PROCESSO DE FRAGMENTAÇÃO PELO EXPLOSIVO | 58 |
| CAPÍTULO 4 – ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL EM EMPREENDIMENTOS MINEIROS | 62 |
| 4.1. CONCEITOS E DEFINIÇÕES BÁSICAS | 62 |
| 4.1.1. Meio ambiente | 62 |
| 4.1.2. Impacto ambiental | 63 |
| 4.1.3. Poluição | 64 |
| 4.2. EVOLUÇÃO DA LEGISLAÇÃO AMBIENTAL BRASILEIRA | 66 |
| 4.3. LICENCIAMENTO AMBIENTAL | 70 |
| 4.4. ESTUDOS AMBIENTAIS | 73 |
| 4.4.1. EIA/Rima | 73 |
| 4.4.2. PRAD | 76 |
| 4.4.3. RAP / TR | 77 |
| 4.4.4. RCA / PCA | 78 |
| 4.4.5. MCE | 78 |
| 4.5. AIA DO PROJETO NEFELINA | 79 |
| CAPÍTULO 5 – VIBRAÇÃO DO TERRENO E SOBREPRESSÃO ATMOSFÉRICA | 82 |
| 5.1. EFEITOS AMBIENTAIS DECORRENTES DE UMA DETONAÇÃO | 82 |
| 5.2. VIBRAÇÃO DO TERRENO | 85 |
| 5.2.1. Vibração | 85 |
| 5.2.2. Vibração do Terreno | 86 |
| 5.2.2.1. Parâmetros que influenciam a vibração | 87 |
| 5.2.2.1.1. Carga máxima por espera | 89 |
| 5.2.2.1.2. Distância ao local da detonação | 89 |
| 5.2.2.1.3. Razão de carregamento | 89 |
| 5.2.2.1.4. Tipos de explosivos | 90 |
| 5.2.2.1.5. Tempo de retardo | 90 |
| 5.2.2.1.6. Parâmetros geométricos do plano de fogo | 90 |
| 5.2.2.1.7. Atenuação geométrica | 91 |
| 5.2.2.1.8. Absorção não-elástica | 92 |
| 5.2.2.1.9. Interação de ondas elásticas | 92 |
| 5.2.3. Características da vibração do terreno | 93 |
| 5.2.3.1. Tipos de ondas sísmicas | 93 |
| 5.2.3.1.1. Ondas P e S | 93 |
| 5.2.3.1.2. Ondas de Rayleigh e de Love | 94 |

| | |
|---|------------|
| 5.2.4. Vibrações associadas às detonações em áreas urbanas | 94 |
| 5.2.4.1. O problema do desmonte de rocha em áreas urbanas | 94 |
| 5.2.4.2. Danos provocados por vibrações excessivas | 96 |
| 5.2.4.3. Resposta humana às vibrações decorrentes de detonações | 98 |
| 5.3. SOBREPRESSÃO ATMOSFÉRICA | 99 |
| 5.3.1. Causas da sobrepressão atmosférica | 100 |
| 5.3.2. Fatores que influenciam a sobrepressão atmosférica | 100 |
| 5.3.3. Danos decorrentes da sobrepressão atmosférica | 102 |
| CAPÍTULO 6 – O PROJETO NEFELINA | 104 |
| 6.1. EMPRESA RESPONSÁVEL PELA ELABORAÇÃO DO EIA/RIMA | 104 |
| 6.2. LOCALIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO | 105 |
| 6.3. LEGISLAÇÃO INCIDENTE | 109 |
| 6.4. UNIDADES DE CONSERVAÇÃO | 110 |
| 6.5. HISTÓRICO DO EMPREENDIMENTO | 112 |
| 6.6. RESERVAS E VIDA ÚTIL | 115 |
| 6.6.1. Reservas iniciais | 115 |
| 6.6.2. Nova modelagem da jazida e reavaliação das reservas | 117 |
| 6.6.2.1. Depósito Oeste | 119 |
| 6.6.2.1.1. Reserva Medida - Depósito Oeste | 119 |
| 6.6.2.1.2. Reserva Indicada - Depósito Oeste | 119 |
| 6.6.2.2. Depósito Leste | 119 |
| 6.6.2.2.1. Reserva Medida - Depósito Leste | 119 |
| 6.6.2.2.2. Reserva Indicada - Depósito Leste | 120 |
| 6.7. ATIVIDADES PRODUTIVAS E PLANEJAMENTO DE LAVRA | 121 |
| 6.7.1. Primeira opção: lavra a céu aberto | 121 |
| 6.7.1.1. Preparação da frente de lavra | 121 |
| 6.7.2. Opção pela Lavra Subterrânea | 124 |
| 6.7.2.1. Estudo comparativo | 125 |
| 6.8.2.2. Geomecânica do maciço rochoso | 126 |
| 6.8.2.3. Dimensões das Escavações | 129 |
| 6.8.2.3.1. Pilares | 129 |
| 6.8.2.3.2. Pilares de proteção das redes de alta tensão | 130 |
| 6.8.2.3.3. Largura dos salões | 131 |
| 6.8.2.4. Definição do método de lavra | 133 |
| 6.8.2.4.1. Mina do Setor Leste | 136 |
| 6.8.2.4.1. Mina do Setor Oeste | 141 |
| 6.8.2.5. Planejamento de lavra | 147 |
| 6.8.2.5.1. Perfuração e desmonte | 149 |
| 6.8.2.5.2. Plano de Fogo | 150 |
| 6.8.2.5.3. Detonação para Produção | 151 |
| CAPÍTULO 7 – DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DO PROJETO NEFELINA | 153 |
| 7.1. MEIO FÍSICO | 156 |

| | |
|---|------------|
| 7.1.1. Geologia..... | 156 |
| 7.1.1.1. Geologia regional | 156 |
| 7.1.1.2. Geologia local..... | 160 |
| 7.1.1.2.1. Descrição dos principais tipos litológicos..... | 163 |
| 7.1.1.2.2. Características das seções geológicas..... | 164 |
| 7.1.2. Geomorfologia..... | 166 |
| 7.1.3. Clima, hidrografia e hidrogeologia | 168 |
| 7.1.4. Níveis de Ruído..... | 170 |
| 7.1.5. Vibração do terreno e sobrepressão atmosférica | 173 |
| 7.2. MEIO BIÓTICO | 174 |
| 7.2.1. Flora Regional..... | 174 |
| 7.2.2. Flora do empreendimento..... | 174 |
| 7.3. MEIO ANTRÓPICO..... | 175 |
| 7.3.1. Perfil sócio-econômico regional..... | 175 |
| 7.3.2. O município de Duque de Caxias | 176 |
| 7.3.3. Estudos sócio-econômicos | 176 |
| 7.3.4. Uso do solo | 176 |
| 7.3.5. A comunidade e o Projeto Nefelina | 180 |
| CAPÍTULO 8 – ESTUDO DA VIBRAÇÃO DO TERRENO E SOBREPRESSÃO ATMOSFÉRICA NO EIA DO PROJETO NEFELINA | 181 |
| 8.1. CARACTERIZAÇÃO DOS POLUENTES GERADOS NO DESMONTE DE ROCHA..... | 181 |
| 8.1.1. Vibração do terreno e sobrepressão atmosférica | 182 |
| 8.2. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL | 183 |
| 8.2.1. Área de influência..... | 183 |
| 8.2.2. Diagnóstico ambiental da área de influência – meio físico..... | 183 |
| 8.2.2.1. Ruído | 184 |
| 8.2.1.2 Vibração do terreno e sobrepressão atmosférica | 185 |
| 8.3. ANÁLISE DOS EFEITOS E IMPACTOS AMBIENTAIS..... | 189 |
| 8.3.1 Identificação dos efeitos e impactos ambientais..... | 189 |
| 8.3.1.1. Vibração do terreno..... | 189 |
| 8.3.1.1.1. Níveis de danos associados à vibração do terreno..... | 190 |
| 8.3.1.1.2. Resposta humana às vibrações decorrentes de detonações..... | 190 |
| 8.3.1.2. Sobrepressão atmosférica..... | 190 |
| 8.3.1.2.1. Níveis de danos associados à sobrepressão atmosférica | 191 |
| 8.3.1.2.1. Incômodos associados à sobrepressão atmosférica | 191 |
| 8.3.1.2.3. Efeitos da sobrepressão atmosférica..... | 191 |
| 8.4. PREVISÃO E AVALIAÇÃO DOS EFEITOS E IMPACTOS AMBIENTAIS.. | 193 |
| 8.4.1. Ruído..... | 193 |

| | |
|--|------------|
| 8.4.1.1. Parâmetros que influenciam o ruído | 193 |
| 8.4.1.2. Previsão da magnitude do ruído | 195 |
| 8.4.2. Vibração do terreno | 200 |
| 8.4.2.1. Parâmetros que influenciam a vibração do terreno..... | 200 |
| 8.4.2.2. Previsão da magnitude | 201 |
| 8.4.2.2.1. Estimativa para lavra a céu aberto com desmonte por bancadas. | 203 |
| 8.4.2.2.2. Estimativa para lavra subterrânea na Mina Oeste. | 204 |
| 8.4.2.2.3. Estimativa para lavra subterrânea na Mina Leste. | 206 |
| 8.4.2.2.4. Uniformização dos valores obtidos de velocidade de vibração de partícula | 210 |
| 8.4.3. Sobrepressão atmosférica..... | 211 |
| 8.4.3.1. Parâmetros que influenciam a sobrepressão atmosférica | 211 |
| 8.4.3.2. Previsão da magnitude..... | 211 |
| 8.4.3.2.1. Estimativa para lavra a céu aberto com desmonte por bancadas. | 212 |
| 8.4.3.2.2. Estimativa para lavra subterrânea na Mina Oeste | 213 |
| 8.4.3.2.3. Estimativa para lavra subterrânea na Mina Leste | 217 |
| CAPÍTULO 9 – VIBRAÇÃO DO TERRENO E SOBREPRESSÃO | |
| ATMOSFÉRICA NO PLANO DE GESTÃO AMBIENTAL | 221 |
| 9.1. MEDIDAS MITIGADORAS | 223 |
| 9.1.1. Fase de Implantação | 223 |
| 9.1.2. Fase de Operação..... | 223 |
| 9.1.2.1. Vibração do terreno | 223 |
| 9.1.2.2. Sobrepressão atmosférica..... | 225 |
| 9.1.3 Fase de Desativação..... | 226 |
| 9.2 PLANO DE MONITORAMENTO | 226 |
| 9.2.1. Fase de Implantação | 226 |
| 9.2.1.1. Monitoramento sismográfico de furos isolados..... | 227 |
| 9.2.1.2. Vistoria prévia..... | 227 |
| 9.2.2 Fase de Operação..... | 228 |
| 9.2.3. Fase de Desativação | 232 |
| CAPÍTULO 10 – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS | 233 |
| 10.1. RESUMO DAS ESTIMATIVAS OBTIDAS COM OS MODELOS | |
| APLICADOS. | 233 |
| 10.1.1. Vibração do terreno | 233 |
| 10.1.1.1. Primeira alternativa: cava em meia encosta | 233 |
| 10.1.1.2. Segunda alternativa: mina subterrânea no setor oeste..... | 233 |
| 10.1.1.3. Terceira alternativa: duas minas subterrâneas e com o início pela Mina Leste | 235 |
| 10.1.2. Sobrepressão atmosférica | 236 |
| 10.1.2.1. Primeira alternativa: cava em meia encosta | 236 |
| 10.1.2.2. Segunda alternativa: mina subterrânea no setor oeste..... | 237 |
| 10.1.2.3. Terceira alternativa: duas minas subterrâneas e com o início pela Mina Leste | 237 |

| | |
|--|------------|
| 10.2. CONSIDERAÇÕES | 238 |
| 10.2.1. Validade dos modelos adotados..... | 239 |
| 10.2.1.1. Velocidade de propagação na rocha..... | 239 |
| 10.2.1.1.1. Tipo de rocha..... | 240 |
| 10.2.1.1.2. Textura..... | 240 |
| 10.2.1.1.3. Textura..... | 241 |
| 10.2.1.1.4. Porosidade..... | 241 |
| 10.2.1.1.5. Anisotropia..... | 242 |
| 10.2.1.1.6. Tensões..... | 242 |
| 10.2.1.1.7. Presença de água..... | 243 |
| 10.2.1.1.8. Temperatura..... | 243 |
| 10.2.1.2. Comparação entre granito e nefelina-sienito..... | 244 |
| 10.2.2. Incorporação de novos elementos ao estudo..... | 245 |
| 10.2.2.1. Novos modelos de previsão da vibração do terreno..... | 245 |
| 10.2.2.1.1. Adaptações de modelos existentes..... | 245 |
| 10.2.2.1.2. Modelos de previsão do CMRI..... | 247 |
| 10.2.2.2. Novas contribuições para a sobrepressão atmosférica..... | 249 |
| 10.2.3. O Mapa de Iso-velocidades..... | 251 |
| 10.2.4. Considerações finais..... | 253 |
| CAPÍTULO 11 – CONCLUSÕES | 256 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 260 |
| ANEXO 1 | 265 |

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO, OBJETIVO E JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

1.1. INTRODUÇÃO

A mineração vem apresentando, ao longo de sua história, grande importância para a humanidade, fornecendo um grande número de bens minerais, matérias-primas e insumos, que são imprescindíveis ao progresso e desenvolvimento das civilizações. Por outro lado, as atividades de mineração podem gerar diversos poluentes que podem resultar em impactos ambientais tanto no meio interno à mina como no meio externo. Ruído, vibração do terreno, sobrepressão atmosférica, material particulado em suspensão, alterações na fauna, na flora e no meio antrópico, etc., são alguns dos principais aspectos a se considerar na implantação de um empreendimento mineiro.

Um empreendimento mineral pode ser dividido basicamente em dois setores: a lavra, a partir de uma mina, na qual será extraído o minério ou mineral e a usina de beneficiamento, onde é feito todo o tratamento para a separação e concentração do minério/mineral. O projeto da mina de nefelina-sienito da interessada, localizada no município de Duque de Caxias - RJ pode ser a primeira deste minério em território nacional com aproveitamento industrial. A nefelina-sienito é uma rocha ígnea onde predomina o mineral nefelina, que é um silicato de alumínio de sódio e potássio usado nas indústrias de vidros, de cerâmica e também empregado como insumo na fabricação de tintas. A rocha de Duque de Caxias contém ainda feldspatos, que também são silicatos de alumínio, de sódio e de potássio e da mesma forma têm usos industriais semelhantes àqueles da nefelina. Esta mina representará a auto-suficiência do Estado do Rio de Janeiro na produção de insumos para as indústrias vidreira, cerâmica e de tintas. Além disso, o empreendimento deverá comercializar seus produtos para indústrias consumidoras localizadas em outros estados brasileiros, além de exportar para outros países do hemisfério sul.

Para a implantação de uma mineração, assim como ocorre em outras atividades industriais, deve-se considerar quais impactos ambientais serão causados, através de um exame sistemático dos impactos ambientais de uma ação proposta (no caso

um projeto) e de suas alternativas, e cujos resultados sejam apresentados de forma adequada ao público e aos responsáveis pela tomada da decisão e por eles considerados. Uma equipe multidisciplinar deve executar uma série de tarefas técnicas e científicas destinadas a analisar sistematicamente, as conseqüências da implantação de um projeto no meio ambiente, de acordo com uma metodologia de trabalho e técnicas de previsão dos impactos ambientais. Por fim, deve ser gerado um documento que apresenta os resultados dos estudos técnicos e científicos de avaliação de impacto ambiental com todos os elementos da proposta em estudo, de modo que possam ser divulgados e apreciados pelos grupos sociais interessados e por todas as instituições envolvidas na tomada de decisão.

Dentre os diversos aspectos a se considerar no projeto de uma mineração, e conseqüentemente num Estudo de Impacto Ambiental (EIA), está o desmonte de rochas, onde são empregados técnicas e equipamentos para a remoção de rochas (perfuração, carregamento de explosivos e detonação)

A necessidade de se ocupar novos espaços resultou na convivência mútua e diária entre o homem da cidade e a mineração. A existência de uma comunidade ao redor das minerações implica o controle de efeitos ambientais indesejáveis, criando assim novos obstáculos para a mineração.

As futuras operações de lavra subterrânea da interessada necessitarão de explosivos para o desmonte da rocha, serviços estes que deverão atender às restrições legais existentes quanto a este tipo de operação. Isto leva à necessidade de pessoal bem treinado e com experiência para o desenho e implementação de planos de fogo adequados a estas restrições.

As soluções envolvendo as detonações estão cada vez mais fundamentadas nos aspectos técnicos e ambientais e se precauções apropriadas e procedimentos de segurança forem implementados, os desmontes por explosivos podem ser seguros. Estes devem ser planejados e executados para se evitar o risco de danos a estruturas próximas e lesões às pessoas e também para diminuir a probabilidade de incômodo à população dos arredores da mina.

Os principais problemas ambientais decorrentes de uma detonação de explosivos são a emissão de gases tóxicos e poeiras; a propagação vibração do terreno e sobrepressão atmosférica; o ultra-lançamento e o escorregamento de taludes. Neste

estudo foram abordados os dois principais parâmetros ambientais relacionados a uma detonação de maciços rochosos com a utilização de explosivos: **a vibração do terreno e a sobrepressão atmosférica.**

Todas as fontes de vibração do terreno e sobrepressão atmosférica estão associadas à construção e operação da mina projetada (céu aberto ou subterrânea) e como a área do empreendimento encontra-se dentro de uma reserva biológica administrada pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA houve a necessidade de um estudo de impacto ambiental.

O estudo de impacto ambiental é um documento elaborado para auxiliar no processo de licenciamento ambiental do projeto e o órgão encarregado de analisar o pedido de licenciamento ambiental, a Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente - FEEMA exigiu que o empreendedor apresentasse um estudo de impacto ambiental, nos termos da lei, contemplando as esferas federal, estadual e municipal.

Assim, o estudo teve o seu início com o pedido de Licença Ambiental Prévia na FEEMA quando a empresa apresentou um estudo preliminar que descrevia as principais características do empreendimento e identificava os principais impactos ambientais de uma mina prevista inicialmente para ser lavrada a céu aberto e passando a se optar pela lavra subterrânea.

O projeto da mina previa a sua instalação no Distrito de Imbariê, município de Duque de Caxias, nos imóveis denominados Fazenda do Surdo e Sítio Alto Panorama, ambos situados na área rural do município. Como a área do empreendimento faz divisas com diversas comunidades, havia a necessidade de se conhecer de que forma a vibração do terreno e a sobrepressão atmosférica poderiam afetar estes meios e de que formas as soluções técnicas previstas poderiam convergir para uma convivência mútua entre o empreendimento mineiro e a população do entorno.

1.2. OBJETIVO DO TRABALHO

O objetivo deste trabalho foi fornecer subsídios para a elaboração de um EIA, especificamente relacionados aos parâmetros ambientais: vibração do terreno e sobrepressão atmosférica gerados pela abertura e operação da lavra previstos no projeto de implantação de uma mineração de nefelina-sienito no estado do Rio de Janeiro.

O estudo procurou abordar a vibração do terreno e a sobrepressão atmosférica associando-os às fases de caracterização, análise dos efeitos e impactos

ambientais, diagnóstico ambiental e o plano de gestão ambiental do EIA. Dentro destas fases estes parâmetros foram identificados, tiveram a sua magnitude prevista e então foram propostas medidas mitigadoras e de controle associadas a um plano de monitoramento.

1.3. JUSTIFICATIVA

No passado, as minerações em geral se localizavam longe das concentrações urbanas, mas a necessidade de se ocupar novos espaços resultou na convivência mútua e diária entre o homem da cidade e a mineração. Os centros urbanos tendem a crescer ao redor das atividades industriais, o que movimenta uma complexa cadeia de atividades com o objetivo de se gerar renda, o que não é diferente no caso das minerações. Assim, problemas como impactos ambientais associados à detonação de explosivos para o desmonte de rocha (propagação indesejada de vibrações do terreno, da sobrepressão atmosférica, de ultra-lançamentos, da contaminação de águas superficiais e subterrâneas e também a dispersão de material particulado) são obstáculos para a aprovação de um projeto de uma mina e a sua implantação.

Como as operações de mineração ainda necessitam de explosivos, em função do seu menor custo em relação às outras tecnologias, para preparação da rocha e em função da necessidade de se suprir as demandas por minerais industriais, o resultado é uma necessidade maior de pessoal bem treinado e com experiência para o desenho e implementação de planos de fogo adequados a esta nova realidade. As soluções envolvendo as detonações estão cada vez mais fundamentadas nos aspectos técnicos e ambientais, mas as soluções de âmbito sócio-econômico e político, são bastante significativas.

O estudo de impacto ambiental é um documento técnico elaborado para subsidiar o processo de licenciamento ambiental prévio do empreendimento, referente à lavra e beneficiamento de minério de nefelina-sienito proposto pela empresa interessada. Uma vez que o empreendimento tem o potencial de causar impactos ambientais significativos, o órgão encarregado de analisar o pedido de licenciamento ambiental, a Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente - FEEMA, exigiu que o empreendedor apresentasse um estudo de impacto ambiental, nos termos da Constituição Federal, da Lei Estadual e dos demais diplomas legais pertinentes, nas esferas federal, estadual e municipal.

Dando a seqüência de atividades foi feito um estudo preliminar indicando as principais características do empreendimento e identificando os principais impactos ambientais de uma mina prevista inicialmente para ser lavrada a céu aberto. Porém,

no desenvolvimento dos estudos de viabilidade técnica e ambiental, uma outra alternativa tecnológica, a lavra subterrânea, apresentou-se como mais viável. Por meio de uma instrução técnica, específica ao empreendimento de extração e beneficiamento de minério de nefelina-sienito da empresa interessada, exigiu-se um estudo mais elaborado.

Portanto, como o desmonte de rochas por meio de explosivos é uma atividade-chave para a viabilidade técnica do empreendimento, um estudo que contemplasse os parâmetros vibração do terreno e sobrepressão atmosférica passou a ter grande importância para o esclarecimento de dúvidas durante o processo de aprovação do projeto, haja vista a sua complexidade e a necessidade de aprovação em diversos níveis da sociedade, particularmente a população circunvizinha ao empreendimento, que poderia ser afetada diretamente.

CAPÍTULO 2 - METODOLOGIA

Este trabalho foi baseado numa série de trabalhos efetuados pelo LACASEMIN – Laboratório de Controle Ambiental, Higiene e Segurança na Mineração do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da USP, entre 2003 e 2004. Inicialmente, foi solicitada ao LACASEMIN a elaboração de um relatório contemplando os seguintes parâmetros ambientais: material particulado, ruído, vibração do terreno e sobrepressão atmosférica para o projeto de uma mina a céu aberto de nefelina-sienito. Posteriormente estas informações seriam incorporadas ao EIA e respectivo Relatório de Impacto Ambiental – RIMA, cuja elaboração esteve à cargo da PROMINER Projetos S/C Ltda., para atender aos processos de licenciamento junto à Prefeitura Municipal de Duque de Caxias, FEEMA e IBAMA, com os quais se pretendia obter o licenciamento do empreendimento de extração e beneficiamento de minério de nefelina-sienito da empresa interessada.

O EIA visava subsidiar o processo de licenciamento ambiental prévio da lavra e beneficiamento de minério de nefelina-sienito proposto pela empresa interessada. Devido ao seu potencial em causar impactos ambientais significativos, a FEEMA exigiu que o empreendedor apresentasse um estudo de impacto ambiental baseado nos diplomas legais pertinentes, nas esferas federal, estadual e municipal. Com o seu início de atividades em meados de 2002 através do pedido de Licença Ambiental Prévia na FEEMA (Processo 202.965/02), a empresa apresentou um estudo preliminar que descrevia as principais características do empreendimento e identificava os principais impactos ambientais de uma mina prevista inicialmente para ser lavrada a céu aberto. Durante o desenvolvimento dos estudos de viabilidade técnica e ambiental uma outra alternativa tecnológica, a lavra subterrânea, apresentou-se como mais viável o que exigiu um novo estudo referente ao empreendimento de extração e beneficiamento de minério de nefelina-sienito, de interesse da empresa.

Em paralelo, a empresa realizou estudos geológicos e tecnológicos com a finalidade de selecionar as melhores alternativas de projeto para implantação da mina, usina de beneficiamento e demais instalações. Estas alternativas foram analisadas levando em consideração sua viabilidade técnica, os custos econômicos e financeiros e os impactos ambientais.

Durante este período foi empregado um processo de aproximações sucessivas nas quais se identificou e se caracterizou de forma progressiva os impactos do empreendimento. Tratavam-se, portanto, de diferentes etapas voltadas para avaliar

detalhadamente a viabilidade ambiental do projeto proposto e encontrar soluções para evitar, reduzir ou compensar os impactos negativos, assim como medidas para potencializar os impactos positivos. Concedida a licença prévia – LP ao empreendimento, após aprovação deste EIA, a empresa deverá ainda solicitar a licença de instalação – LI, documento imprescindível para que sua implantação possa ser iniciada.

Neste mesmo período, o LACASEMIN trabalhou com duas opções de mina: uma a céu aberto e outra subterrânea. Na primeira fase do estudo, onde se trabalhou com a hipótese de implantação de mina a céu aberto, foram contemplados os quatro parâmetros: material particulado, ruído, vibração do terreno e sobrepressão atmosférica. Destes quatro parâmetros, o material particulado foi excluído dos estudos subseqüentes, pois apesar de relevante, o fato de se optar por trabalhar com uma mina subterrânea e o uso de medidas de controle levou a uma decisão conjunta entre a Prominer e o LACASEMIN de que seria dada prioridade aos demais parâmetros. Neste trabalho, também não foi contemplado o ruído de forma direta, pois ele já foi estudado e os resultados utilizados em uma dissertação de mestrado.

A vibração do terreno e a sobrepressão atmosférica foram estudadas em diversos empreendimentos mineiros, com equações de atenuação e a influência de outros parâmetros (geológicos, geográficos, meteorológicos, etc.). Ainda assim suscitam dúvidas e temores por parte de pessoas leigas no assunto em função da carga psicológica provocada pelos explosivos. Diversos estudos foram baseados em operações de desmonte de rocha já existentes e os dados de monitoramentos sismográficos foram obtidos a partir de detonações monitoradas. Porém, para o estágio inicial na qual se encontrava o projeto não havia a possibilidade de se detonar explosivos para se gerar equações de atenuação. Partiu-se, deste modo, para a construção de modelos para a simulação do comportamento tanto da vibração do terreno como da sobrepressão atmosférica. Como o projeto de implantação da mina sofreu diversas modificações ao longo do período compreendido entre 2003 e 2004, este trabalho também procurou acompanhar as modificações nos modelos de comportamento, passando de uma mina a céu aberto para uma mina subterrânea, posteriormente transplantada e com mudanças na entrada de acesso à mina. Assim, a previsão da magnitude da velocidade de vibração de partícula e da sobrepressão atmosférica foram sendo sucessivamente alterados. Para a vibração do terreno procurou-se trabalhar com analogias e equações empíricas como ponto de partida. Já para a sobrepressão atmosférica, o ponto de partida também foram equações empíricas conhecidas, mas a sua atenuação foi baseada no modelo adotado para a atenuação do ruído ambiental

desenvolvido para o EIA deste empreendimento, cuja aplicação e facilidade de visualização mostraram-se tão eficientes que resultaram inclusive numa dissertação de mestrado, tendo inclusive potencial para uma boa tese de doutorado.

Um estudo de impacto ambiental identifica os principais aspectos ambientais relativos ao empreendimento proposto, identifica os principais impactos ambientais e indica as medidas de controle para cada um deles. Por aspecto ambiental, entende-se “elementos das atividades, produtos ou serviços de uma organização que podem interagir com o meio ambiente”, que é a definição adotada pela norma NBR ISO 14001:1996. Visando integrar esta etapa de planejamento ambiental com as futuras atividades de gestão ambiental do empreendimento, seguiu-se a metodologia proposta por Sánchez e Hacking (2002) apud PROMINER (2003b), segundo a qual durante a preparação do EIA já devem ser identificados tanto os aspectos quanto os impactos ambientais do empreendimento, relacionando-os às atividades, produtos e serviços pertinentes ao projeto. Em seguida programas de gestão ambiental foram desenvolvidos para os aspectos e impactos mais significativos.

A fase inicial do trabalho teve como objetivo o levantamento bibliográfico dos assuntos pertinentes ao tema. Assim, o trabalho iniciou-se com a pesquisa bibliográfica de palavras-chave como desmonte de rocha, vibração do terreno, sobrepressão atmosférica, controle ambiental na mineração, equação carga-distância e mapa de iso-velocidades e mapa de iso-ruído, e finalmente nefelinasienito. Estes assuntos foram levantados e organizados obedecendo à estrutura do texto deste trabalho.

O Capítulo 3 trata dos conceitos básicos envolvidos no desmonte de rocha para a lavra a céu aberto e subterrânea. São apresentados os elementos do plano de fogo, o processo de quebra de rocha e os mecanismos envolvidos e os métodos empregados na lavra do minério. Traz também referências aos elementos importantes na compreensão da geração e do controle de vibrações de terreno e sobrepressão atmosférica e a base para este capítulo foi fornecida pelos livros e apostilas utilizados nos cursos de engenharia de minas.

O capítulo 4 apresenta alguns elementos do estudo de impacto ambiental direcionado a empreendimentos mineiros. Conceitos diversos como impacto ambiental, poluição, o entendimento da legislação e a sua evolução ao longo dos anos associado às diversas etapas de licenciamento, assim como o encadeamento

lógico a ser dado aos diversos tipos de estudos ambientais são importantes para o entendimento de como funciona um processo de aprovação de um empreendimento.

A vibração do terreno e a sobrepressão atmosférica, por compreender um assunto bastante extenso, mereceram um capítulo à parte (Capítulo 5). Neste capítulo são apresentados os conceitos envolvidos no seu estudo, entre eles os parâmetros que causam a vibração e a sobrepressão atmosférica e os problemas causados por eles. É um assunto que vem sendo discutido há décadas, e por isso existem inúmeras publicações. Porém, como em toda pesquisa, procurou-se utilizar, sempre que possível, trabalhos mais recentes sobre um mesmo assunto.

Já o Capítulo 6 contém dados do Projeto Nefelina, onde são apresentadas as informações mais relevantes a respeito do projeto de implantação da mina utilizadas no estudo da vibração do terreno e da sobrepressão. A estas informações foram somadas as informações contidas no Capítulo 7, que traz as informações mais relevantes do estudo de impacto ambiental do projeto, particularmente os dados referentes ao Diagnóstico Ambiental (na realidade, o estudo de impacto ambiental acabou incorporando diversos estudos, entre eles o RAP, o Relatório de Pesquisa). Questões técnicas relativas à implantação e operação da mina (como mapas, plantas e números em escala local) se referem ao Capítulo 6 enquanto que as questões ambientais como a descrição do meio físico e antrópico são abordados no Capítulo 7.

O Capítulo 8 trata efetivamente do estudo da vibração do terreno e da sobrepressão atmosférica. Baseado nas informações contidas nos capítulos anteriores e nos trabalhos efetuados pelo LACASEMIN entre 2003 e 2004 foi possível fornecer ao EIA do projeto elementos que permitiram ao estudo abordar de forma segura a geração, propagação e controle da vibração e sobrepressão atmosférica resultantes do uso de explosivos em operações de desmonte de rocha.

Já o Capítulo 9 abordou a vibração do terreno e a sobrepressão atmosférica dentro da fase do EIA que lida com a gestão ambiental. Neste capítulo foram discutidas as medidas mitigadoras e o plano de monitoramento para os dois parâmetros durante as fases de implantação, operação e desativação da mina de nefelina-sienito.

No Capítulo 10 foram feitas as considerações após se discutir os resultados obtidos e a incorporação de outras informações sobre modelos de previsão e similaridade no comportamento entre o granito e a nefelina e que levaram às conclusões apresentadas no Capítulo 11.

CAPÍTULO 3. DESMONTE DE ROCHA, LAVRA A CÉU ABERTO E SUBTERRÂNEA

Neste capítulo são apresentados os desmontes de rocha por explosivos na lavra a céu aberto e na subterrânea.

3.1. DESMONTE DE ROCHA EM MINAS A CÉU ABERTO

Como foi explicado no Capítulo 2, inicialmente estava prevista a abertura de uma mina a céu aberto. Existem diversos tipos de minas a céu aberto e não foi objetivo deste trabalho apresentar todos os tipos. Como existem diversos elementos comuns a eles, foi feita uma breve descrição de um desmonte primário de produção ou de bancadas.

O desmonte em bancadas é o tipo mais comum de desmonte por explosivos. O objetivo é fragmentar e liberar a rocha preparando-a para a sua escavação através de pás-carregadoras, escavadoras, "draglines" ou tratores (Figura 1). O montante de preparação ou condicionamento da rocha, a ser feito pelo desmonte por explosivos, depende tanto das características do maciço rochoso como do tipo, tamanho e modo de operação do equipamento de escavação.

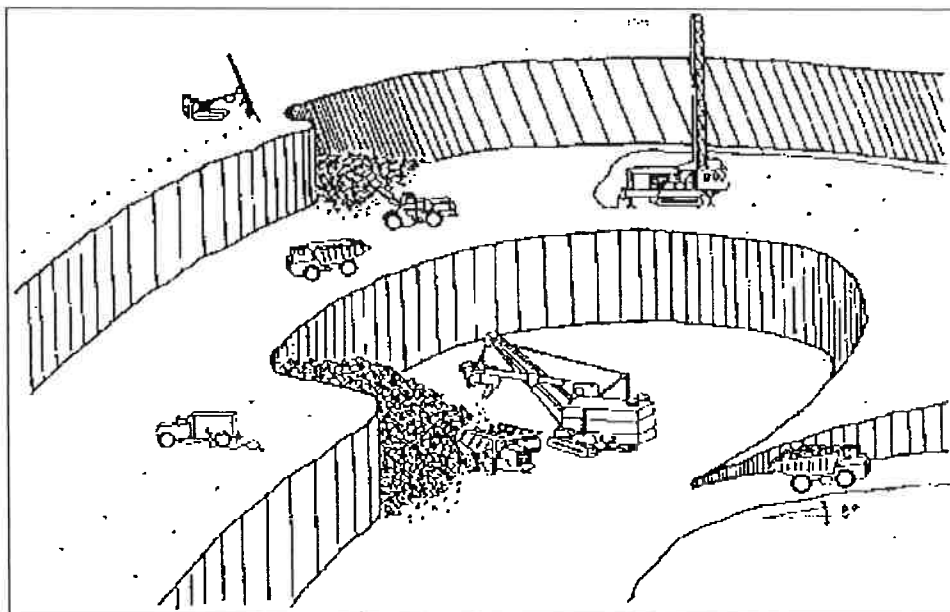


Figura 1. Operações de desmonte de rocha e carregamento a céu aberto (ATLAS COPCO, 2006)

3.1.1. Elementos de um plano de fogo

Os principais elementos de um plano de fogo, independem dos métodos (operações de pedreiras, minerações a céu aberto e obras civis em superfície) e são utilizados com o objetivo de fragmentar adequadamente uma quantidade pré-determinada de rocha e o seu planejamento deve levar em consideração a determinação da quantidade de energia necessária para se gerar discontinuidades, fragmentação da rocha em blocos e o deslocamento dos blocos e a determinação da distribuição do explosivo na rocha, para se aproveitar da melhor maneira a energia disponível, ou seja, fragmentar a rocha no volume especificado e proteger o maciço circundante (ESTON, 1998).

A Figura 2 apresenta os elementos geométricos básicos contidos num plano de fogo.

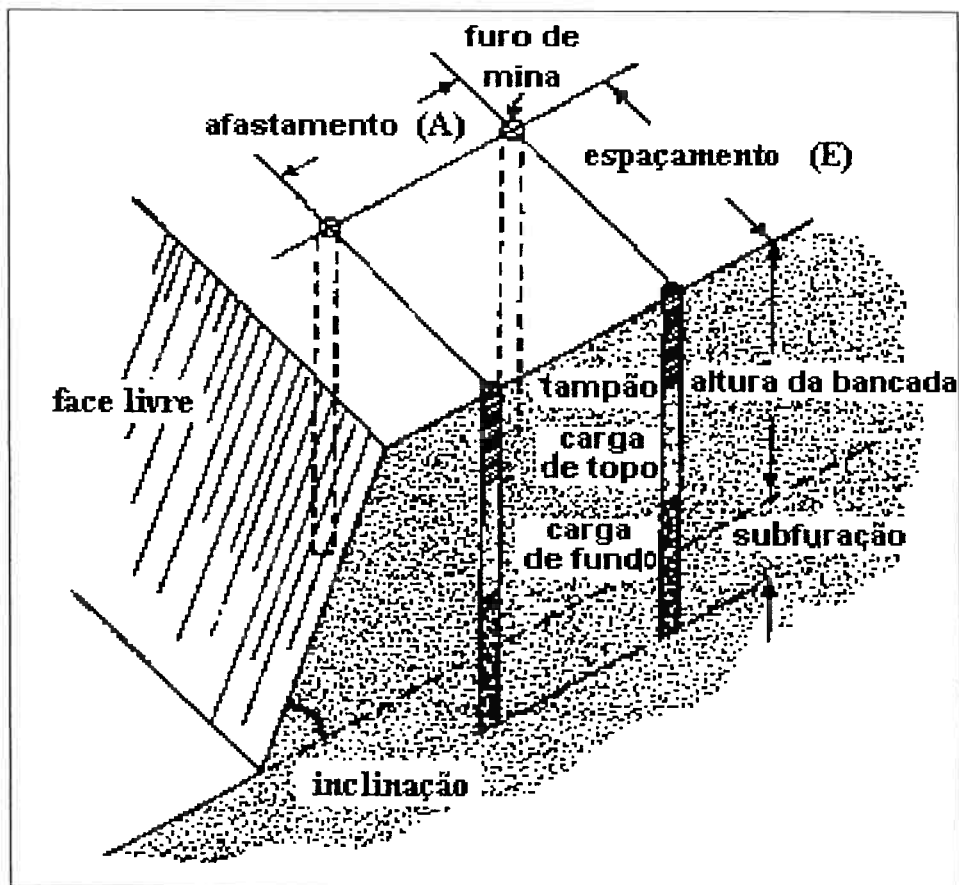


Figura 2. Elementos geométricos contidos num plano de fogo (GOLDER ASSOCIATES, s.d.).

3.1.1.1. Altura da bancada (H)

A seleção da altura da bancada é influenciada por regulamentações previstas por lei ou questões de segurança, propriedades do maciço rochoso, tipo e tamanho dos equipamentos de escavação, necessidade do controle de inclinação e necessidade de maximizar a eficiência no custo total de perfuração e desmonte.

3.1.1.2. Diâmetro do furo

O diâmetro ótimo é maior para bancadas maiores e para equipamentos de escavação, transporte e britagem maiores. Furos de grande diâmetro são menos adequados para rochas resistentes e esparsamente fissuradas, e onde é muito importante o controle de vibrações geradas pelo desmonte.

Furos com diâmetro menor também resultam em melhor quebra no topo, desde que as cargas possam estar mais altas no furo e esta melhor distribuição da carga é uma apreciável vantagem nas rochas maciças.

3.1.1.3. Inclinação do furo

Em desmontes de produção em minas metálicas a céu aberto, os furos são usualmente verticais, pois furos inclinados são mais difíceis de serem perfurados e exatidão na perfuração é maior em furos verticais. Contudo, os furos inclinados proporcionam melhor distribuição do explosivo no maciço rochoso e são muito eficientes na superação de problemas no pé da bancada e reduzem a ultra-quebra ("overbreak") superficial. Os furos inclinados também geram melhor deslocamento e liberação das pilhas. Com furos inclinados, a fragmentação é normalmente melhor em razão de sua maior eficiência no uso da energia do explosivo e por causa do menor volume de rocha na frente da coluna de tamponamento.

3.1.1.4. Subfuração

Operações de escavação eficientes requerem que a fragmentação e os deslocamentos no nível do piso da bancada excedam certos valores críticos. As condições do pé são muito influenciadas pela quantidade de subfuração efetiva.

Subfuração efetiva é o comprimento daquela parte da carga explosiva que se encontra abaixo do nível do piso da bancada. Subfuração é um parâmetro importante no desmonte e é definida como o comprimento do furo que está abaixo do nível do piso. Por causa do inevitável acúmulo do resíduo de perfuração e de

pequenos fragmentos de rocha no fundo do furo, a subfuração efetiva é sempre menor que a subfuração. É a subfuração efetiva, e não a subfuração, quem determina as condições do pé.

3.1.1.5. Malha de furos

A malha dos furos (ou de furação) varia enormemente e depende do diâmetro do furo, das propriedades da rocha, das propriedades dos explosivos, do grau de fragmentação e deslocamento requeridos, e da altura da bancada.

3.1.2.5.1. Tipo de malha

De acordo alguns autores (GOLDER ASSOCIATES, s.d.), a fragmentação e a produtividade são geralmente maiores nas malhas escalonadas do que nas outras geometrias do tipo quadradas ou retangulares. A diferença entre estes dois tipos de malha aumenta com o espaçamento médio das fissuras e com a resistência da rocha. Em rochas maciças resistentes, as melhores malhas escalonadas são aquelas que são baseadas em redes de triângulos equiláteros. As malhas em triângulos equiláteros proporcionam a distribuição ótima da energia de explosão na rocha a ser quebrada. Em geral, resultam em melhores performances, seguidas pelas malhas retangulares e então pelas quadradas mas dependem da iniciação.

3.1.2.5.2. Afastamento e espaçamento

A carga explosiva é mais eficiente onde o afastamento é aproximadamente igual a 25 a 35 vezes o diâmetro do furo, dependendo do explosivo usado e das propriedades da rocha (GOLDER ASSOCIATES, s.d.). Onde a fragmentação ótima é requerida em rocha que tende a quebrar grosseiramente, valores consideravelmente pequenos de afastamento (A) e espaçamento (E) devem ser escolhidos. Onde uma boa fragmentação é menos importante, ou em desmonte de rochas friáveis que tendem a quebrar facilmente, resultados satisfatórios podem ser obtidos com perfuração de furos de diâmetro maior em uma malha mais aberta.

Mudanças no afastamento geralmente afetam a fragmentação, a formação das pilhas de fragmentos e a formação de repé mais acentuadamente do que mudanças no espaçamento. Normalmente, o afastamento e o espaçamento são relacionados com profundidade e, mais particularmente, com o comprimento da carga.

3.1.1.6. Tamponamento

O uso de tamponamento para preencher o furo entre coluna de explosivo e a superfície é um procedimento útil, pois direciona o esforço do explosivo para o maciço rochoso. Tampões muito pequenos permitem que os gases da explosão escapem e gerem problemas de ultra-lançamento e de sobrepressão atmosférica ao mesmo tempo em que reduzem a eficiência da detonação. Já os tampões muito grandes resultam em uma fraca fragmentação da rocha acima do topo da carga explosiva.

3.1.1.7. Razão de carregamento ("powder factor")

A razão de carregamento RC (ou powder factor - PF) é o peso do explosivo (em kg) usado para quebrar cada metro cúbico de rocha sólida. Uma grande importância tem sido dada à razão de carregamento como um critério do plano de fogo. Como as razões de carregamento são definidas pelo peso em vez da força do explosivo, uma comparação entre dois produtos diferentes muitas vezes não é possível.

3.1.1.8. Tamanho e forma do desmonte

Desmontes maiores produzem geralmente fragmentação mais controlada e resultam em menor tempo gasto na retirada de trabalhadores e equipamentos da área do desmonte, na espera do desmonte ser executado, e na volta da liberação da área. O tamanho do desmonte deve ser tal que as cargas de explosivos não "repousem" nos furos por um período de tempo excessivo. O tamanho de um bloco de desmonte também não deve ser aumentado pela união de sub-blocos simultâneos para formar um corpo excessivamente complexo. Desmontes com formas complexas provocam erros, especialmente no momento da colocação de retardos.

3.1.1.9. Seqüência de iniciação e distribuição dos retardos

O resultado de qualquer desmonte de produção com diversos furos depende muito das interações entre os furos. A seqüência na qual os furos são iniciados e os intervalos de tempo entre as detonações sucessivas têm uma maior influência na performance total do desmonte. A distribuição ótima de retardos para um desmonte

depende de muitos fatores como as propriedades do maciço rochoso, a geometria do desmonte, etc.

A performance de um desmonte convencional pode ser bastante influenciada pela alteração no tempo de retardo para se alterar o grau de interação entre os furos adjacentes. Embora os valores absolutos dos retardos entre-linhas e entre-furos sejam importantes, a relação entre estes tempos tem também um grande impacto sobre o resultado final.

3.2. DESMONTE DE ROCHA EM LAVRA SUBTERRÂNEA

Numa situação em que se pretende construir uma mina subterrânea, a seleção do método de lavra é fundamental, tendo impacto direto sobre a segurança, produtividade, custo e recuperação do minério. Existem diversos parâmetros que governam a seleção de um método de lavra subterrânea e estes estão associados à estabilidade e a natureza tanto do minério como da rocha encaixante.

Basicamente os métodos de lavra podem ser classificados em três grandes grupos: deixando vazios os espaços abertos temporários ou não ("open stope ou self supported stope"), suporte sistemático dos espaços abertos e desabamento.

3.2.1. Fatores governantes na escolha de um método de lavra subterrânea

Os principais fatores são apresentados pelos itens 3.2.1.1. a 3.2.1.5.

3.2.1.1. Forma e tamanho do depósito

Baseado na forma, os corpos de minério podem ser divididos em:

Isométricos – cujas dimensões são quase iguais nas três direções e que podem ser ainda subdivididos, como os depósitos maciços e colunares;

"Sheet" ou estratos – estendidos em duas dimensões e com espessura quase constante como as camadas, veios e lentes

3.2.1.2. Espessura do depósito

A espessura de um corpo de minério é determinada pela distância entre a sua capa e a lapa. Conceitos como espessura verdadeira (medida na direção normal),

vertical e horizontal são normalmente aplicados na lavra subterrânea. A Tabela 1 apresenta uma classificação dos depósitos em função das espessuras:

Tabela 1. Classificação dos depósitos em função da espessura (TATIYA, 2005)

| Classificação | Espessura (t) |
|------------------------------|----------------------|
| Depósitos muito finos | < 0,7 m |
| Depósitos finos | 0,7 < t < 2 m |
| Depósitos de espessura média | 2 < t < 5 m |
| Depósitos espessos | 5 < t < 20 m |
| Depósitos muito espessos | t > 20 m |

3.2.1.3. Mergulho do depósito

O mergulho de um depósito é um dos parâmetros mais importantes na escolha de um método de lavra subterrânea. Normalmente os depósitos podem ser classificados como:

- pouco inclinados: mergulho entre 0° e 20° ;
- inclinados: mergulho entre 20° e 50° ;
- bastante inclinados: mergulho acima de 50° ;

3.2.1.4. Características físicas e mecânicas do minério e da rocha encaixante

Resistência da rocha: associada ao conjunto de propriedades mecânicas e físicas como dureza, abrasividade, juntas, laminações, presença de inclusões e intercalações.

3.2.1.5. Outros fatores

- Presença de distúrbios geológicos e influência da direção de grampos e divisões;
- Grau de mecanização e produção requeridos;
- Teor do minério, sua distribuição e valor de mercado;
- Profundidade do depósito

- Presença de água
- Presença de gases
- Oxidação e aglutinamento de minério e encaixante

3.2.2. Fatores desejáveis na seleção de método de lavra subterrânea

- Facilidade de fragmentação da rocha
- Produção
- Taxa de progresso
- Máxima recuperação
- Seletividade (“clean mining”)
- Facilidade de acesso à frente de lavra
- Consumo de material e energia
- Manuseio do minério
- Empacotamento e preenchimento adequados
- Prevenção de desabamento e de queda de blocos do teto e da pilha

3.3. MÉTODOS DE LAVRA SUBTERRÂNEA

A Figura 3 apresenta um fluxograma sintetizando a classificação dos métodos de lavra subterrânea de acordo com as características do depósito e da rocha encaixante. Os principais métodos são apresentados na seqüência.

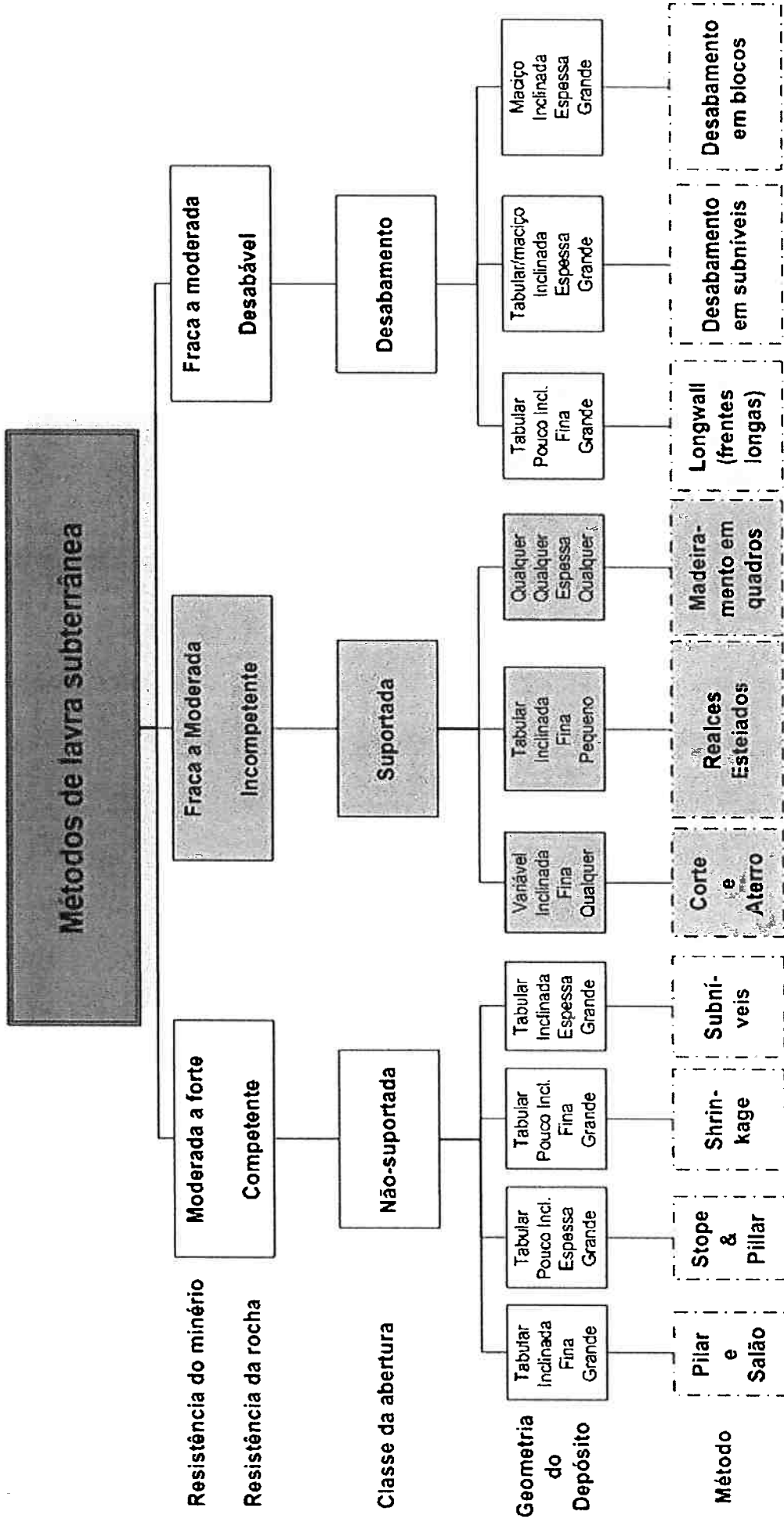


Figura 3. Fluxograma com a classificação dos métodos de lavra subterrânea de acordo com as características do depósito e da rocha encaixante. Fonte: modificado de Tatiya (2005).

3.3.1. Pilar e salão (room and pillar, stope and pillar)

A lavra pelo método de pilar e salão (também conhecido como pilar e câmara) consiste na remoção de camadas ou corpos tabulares de minério em aberturas para as quais o teto é estável, sustentado por pilares e eventualmente podem ser realizados trabalhos de melhoria do teto, como parafusamento. É um dos métodos mais frequentemente utilizados e para produções médias a grandes tem se tomado um dos mais eficientes. A produção pode ser obtida de duas maneiras distintas: por mineradores contínuos ou em operações cíclicas, com equipamento convencional.

Alguns autores, segundo Tatiya (2005), fazem uma diferenciação entre “room and pillar” e “stope and pillar” onde a primeira expressão é associada exclusivamente à lavra de carvão e a segunda à lavra de minérios que não sejam carvão. No entanto o termo foi consagrado no Brasil como “pilar e salão” ou “pilar e câmara”, pois se entende que a configuração, apesar da existência de algumas variantes, seja comum a todos, como pode ser observada na Figura 4.

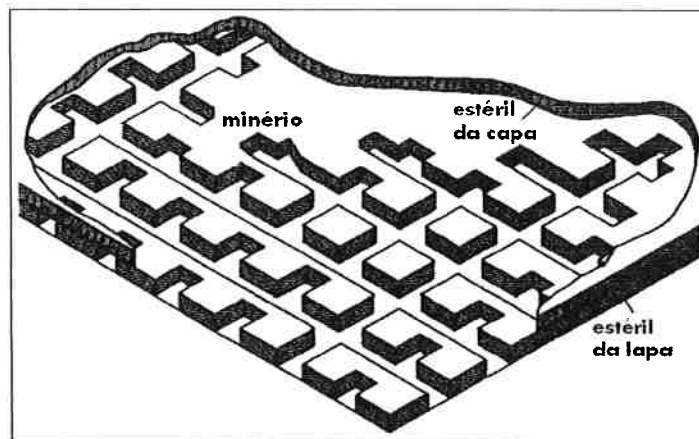


Figura 4. Desenho esquemático de uma lavra por pilar e salão (NOGUEIRA; ESTON, 2003).

Com exceção dos carvões e da sal gema e outros evaporitos, a lavra em pilar e salão é feita por meio de operações cíclicas (perfuração, desmonte, carregamento e transporte), podendo ser acrescentadas outras operações como corte inferior da frente de desmonte (rafa) e saneamento do teto, nas quais são utilizadas máquinas e equipamentos convencionais de céu aberto e sub-solo.

No passado era comum a abertura dos salões em duas operações, avançando com largura reduzida e segura e recuando à largura plena do realce. Embora seja ainda encontrada essa prática, a maneira usual no presente, notadamente em rochas competentes, é o desmonte, em avanço, de uma frente com toda largura projetada para o realce, que é denominada "frente plana" (NOGUEIRA; ESTON, 2003).

As condições de aplicação para este método são:

- Corpos tabulares ou estratiformes pouco inclinados. A inclinação máxima admissível em cada caso é a que permite o acesso dos equipamentos de carga e transporte ao local do desmonte;
- Corpos com espessura mínima que permita a utilização do equipamento previsto. Em algumas minas, principalmente de carvão, camadas com menos de um metro de espessura são lavradas com equipamentos de produção contínua, enquanto em outras condições poderia corresponder à menor altura do equipamento convencional;
- Corpos que não tenham sido muito dobrados ou falhados;
- Minério capaz de suportar a pressão das rochas sobrejacentes após serem recortados os pilares;
- Teto e piso competentes. O teto deve permitir vãos mínimos para as aberturas (salões) possibilitando o acesso do equipamento e garantindo uma recuperação economicamente aceitável o minério.
- Considerável extensão em área, condição que corresponde a condição de reserva que justifique o empreendimento.
- Camadas não muito profundas, dificilmente ultrapassando 1000 metros. Com o aumento da profundidade toma-se necessário aumentar proporcionalmente a área dos pilares, diminuindo a recuperação do minério. Mesmo em rochas com alta resistência a compressão, a solitação na periferia dos pilares tende a aumentar a valores que podem chegar a cerca de cinco vezes a tensão média teórica, devido ao acúmulo de tensões que se observa quando diminui a relação entre a área das aberturas e a área dos pilares.

Na seqüência são apresentadas as variações para o método.

a) lavra com pilares não-sistemáticos - Pode ser aplicada na lavra de corpos irregulares e de teores variáveis, especialmente para minerais de minério valiosos. Apresenta numerosas restrições, como não permitir operações sistemáticas e eficientes e resultar em distribuição de tensões variável tanto no teto como nos pilares (Figura 5).

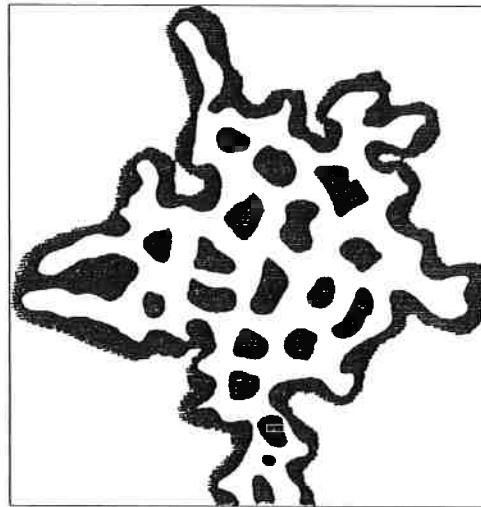


Figura 5. Lavra com pilares não-sistemáticos (NOGUEIRA; ESTON, 2003).

b) lavra com pilares contínuos (e estreitos) - é pouco utilizada. Apresenta, entretanto, vantagens específicas como o confinamento do espaço promovido pela remoção do minério, quando é prevista sua utilização posterior, ou aterro dos realces para recuperação dos pilares intermediários (Figura 6).

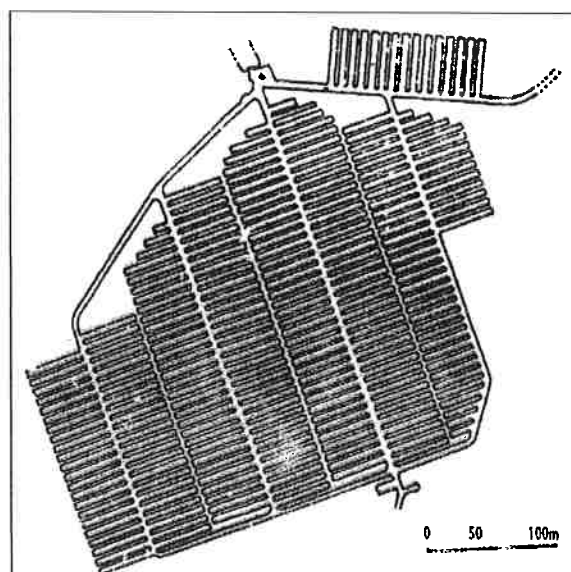


Figura 6. Frente plena com pilares contínuos (NOGUEIRA; ESTON, 2003).

c) lavra com pilares sistemáticos – grande maioria das minas por pilar e salão é lavrada deixando pilares sistemáticos, que podem ser quadrados, retangulares ou redondos. A Figura 7 representa um Pilar e Salão típico, com avanço em cunha e, no desenho, com britagem móvel e transporte principal por correias transportadoras.

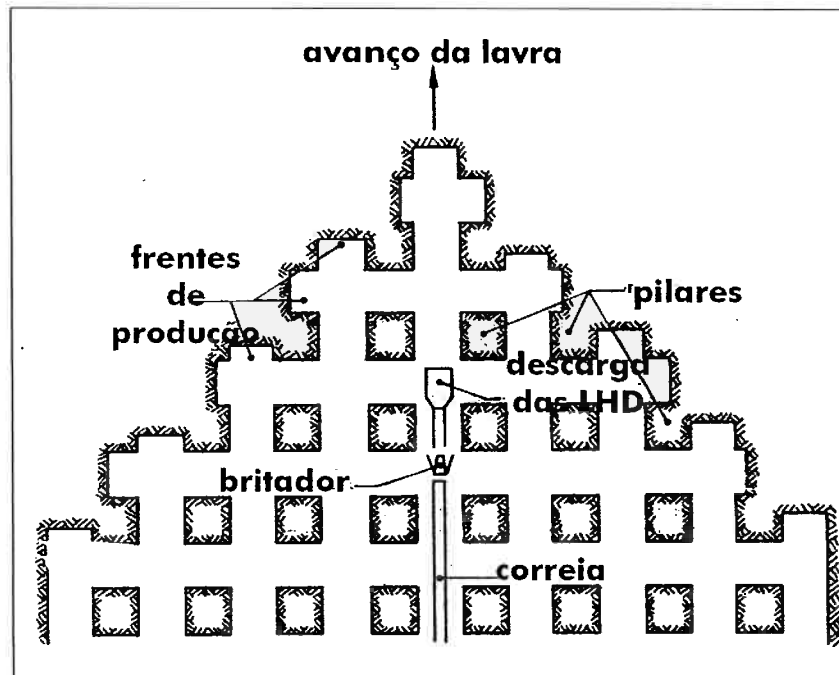


Figura 7. Lavra com pilares sistemáticos (NOGUEIRA; ESTON, 2003).

d) lavra com frente plena com bancadas - A lavra em frente plena só é viável quando a perfuratriz permite o desmonte de toda camada segundo sua espessura, em cada avanço do salão, como normalmente acontece até cerca de seis metros, para os jumbos convencionais. Quando a altura do salão toma-se maior, a lavra passa a ser feita em duas ou mais etapas, iniciando com a abertura de um realce em frente plena, cuja altura pode ser otimizada, seguido pelo desmonte do minério do piso, em uma ou mais bancadas convencionais, como mostrado na Figura 8.

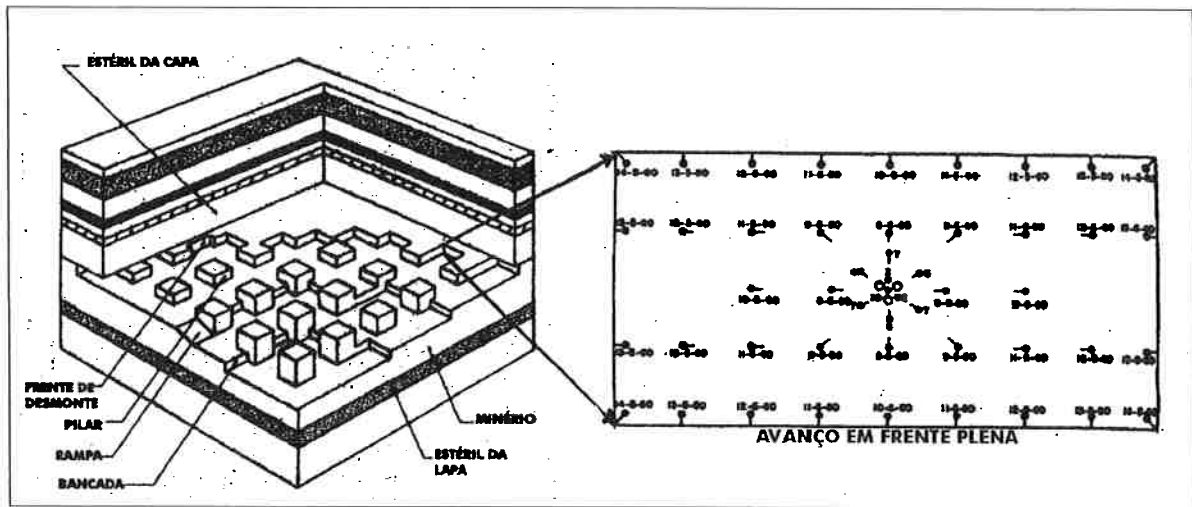


Figura 8. Frente plena com bancadas (NOGUEIRA; ESTON, 2003).

Na abertura do realce superior, é feito o saneamento do teto com parafusos e eventualmente com telas e concreto projetado. Segue-se o desmonte em bancadas do piso, com equipamento convencional permitindo alta produtividade. Minas como essas são às vezes denominadas pedreiras subterrâneas, na literatura. Os trabalhos de desenvolvimento constam de galerias, chaminés e aberturas de serviço. A abertura de galerias confunde-se com os trabalhos de produção. Elas podem ser mais largas ou altas, ter via dupla, serem protegidas por pilares contínuos de modo a evitar a instalação de contenções para a ventilação. Podem ainda ter trilhos, ser equipadas com correias, ter o teto parafusado, serem escoradas, dotadas de iluminação permanente, em alguns casos podem ser abertas na lapa ou rebaixadas nos locais de transferência de veículos ou meio de transporte.

e) Pilar e salão em camadas pouco inclinadas - consideram-se aqui camadas pouco inclinadas, aquelas em que o veículo de transporte não pode chegar até o local do desmonte, e o mergulho não seja o suficiente para que o minério se movimente por gravidade. Nessas circunstâncias, haverá necessidade de uma operação intermediária para carregar o minério até local próprio para carregamento, que pode ser feito por gravidade ou com equipamento adequado. Dependendo da inclinação, pode também tornar-se cada vez mais difícil o acesso de outros equipamentos como jumbos de perfuração. A movimentação do minério dentro do realce é muitas vezes feita com rastelo a cabo. Como a produção dessas máquinas é proporcional à distância de rastelamento, a escolha da altura dos painéis passa a

ser crítica. O minério é arrastado pelo rastelo até um chute provido de bica e porta adequada, de onde escoa diretamente para os veículos, ou a local de carregamento que pode ser feito com retrocarregadora sobre trilhos ou de pneus ou carregadoras frontais.

3.3.2. Subníveis (sublevels)

3.3.2.1. Subníveis com perfurações longas

O desmonte de minério a partir de subníveis, dividindo os painéis e blocos em unidades menores e de mais fácil acesso, foi muito utilizado em filões e camadas de forte mergulho. Porém, somente após o desenvolvimento de equipamentos de perfuração com capacidade para abertura de furos longos e bem orientados, esse método de lavra em realces abertos tomou-se eficiente e competitivo. Na Figura 9 é esquematizado um realce com três galerias de perfuração de perfuração, sendo uma no nível inferior do painel e dois subníveis propriamente ditos.

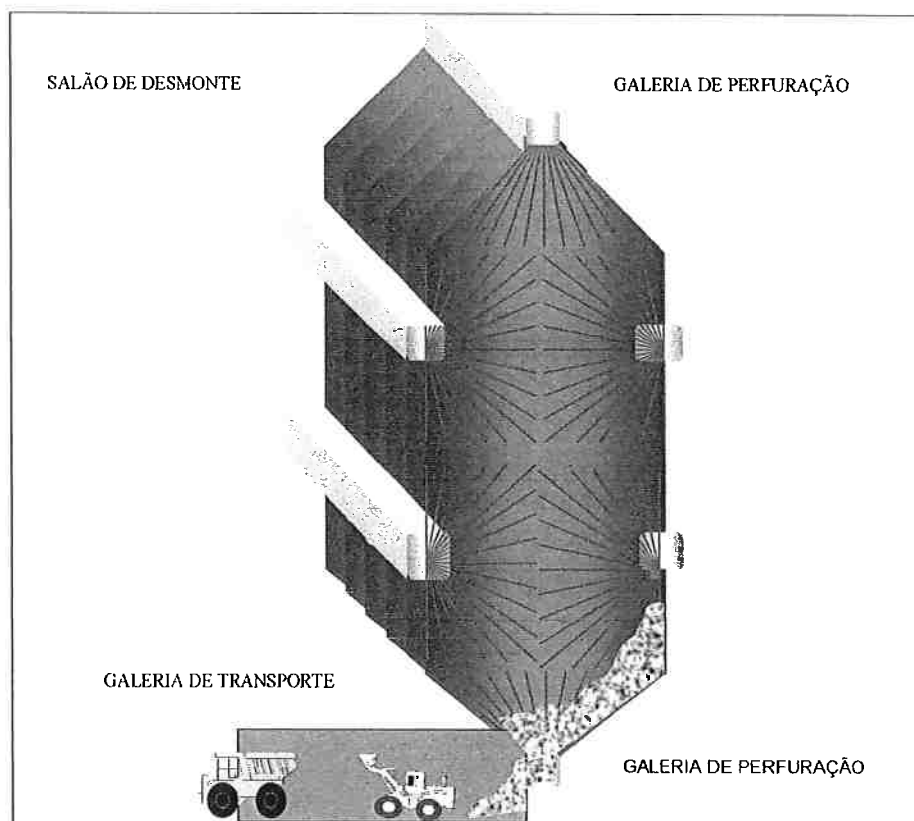


Figura 9. Lavra por subníveis com perfurações longas na Mina Baltar, da Votorantim (NOGUEIRA; e ESTON, 2003)

As condições de jazimento recomendáveis bem como as dimensões dos equipamentos necessários fazem com que a lavra por subníveis com perfurações longas seja um método para grandes produções. De modo geral este método pode ser aplicado a (HUSTRULID; BULLOCK, 2001):

- Maciços rochosos e camadas de grande potência, que podem ser tratadas como maciços;
- Camadas de potência média e forte mergulho, que permitam a movimentação do minério desmontado, dentro do realce, apenas pela ação da gravidade. Camadas com 5 a 6 metros de espessura têm sido lavradas por subníveis, devendo-se entretanto notar que a produtividade cai com a potência do corpo de minério devido a restrições no uso do equipamento de perfuração e maior incidência dos custos de desenvolvimento por tonelada desmontada;
- Minério e encaixantes competentes uma vez que, em se tratando de realce aberto, a cavidade promovida pelo desmonte deverá permanecer estável pelo menos durante toda a vida do realce.
- Corpos de contatos regulares, uma vez que as perfurações longas não permitem acompanhar contornos irregulares;
- Reservas de minério condizentes com a escala mínima de produção que justifique a escolha do método de lavra;
- Minério com teores uniformes não sendo viável a prática de lavra seletiva.

3.3.3. Métodos com armazenamento temporário de minério

Em algumas classificações sistemáticas o método de lavra por Armazenamento é designado, juntamente com Corte e Aterro e com Madeiramento em Quadros, como "Métodos de Lavra de Filões", entendendo-se como tais corpos de minério em que uma das dimensões é muito menor do que as demais. Embora seja esta a condição mais freqüente, completada pela exigência de forte mergulho (acima de 55/60°), todos os três métodos são também aplicados em outras situações como, por exemplo, a lavra de maciços rochosos em blocos transversais, separados por pilares. Dentre os três, entretanto, no Método de Armazenamento a condição de

forte inclinação não pode ser contornada, devido à necessidade de drenagem do minério somente por gravidade.

3.3.3.1. Armazenamento temporário (shrinkage)

A designação "Armazenamento" decorre da prática de conservar-se, dentro do realce, durante o período de desmonte de todo minério de um bloco, um volume de minério desmontado igual ao volume "In situ", removendo-se apenas a porção correspondente ao empolamento que usualmente é da ordem de 40%. O minério desmontado serve como piso para perfuração e desmonte com explosivos e como suporte das encaixantes até que seja drenado do realce. Na Figura 10 são representados três blocos em diferentes estágios de produção pelo método de armazenamento temporário.

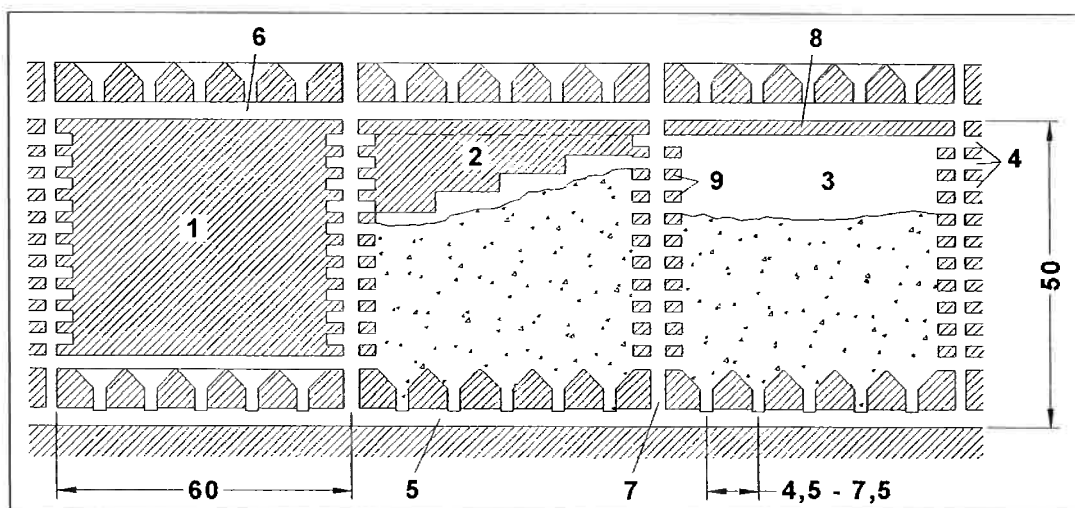


Figura 10. Desenho esquemático de Armazenamento temporário (NOGUEIRA; ESTON, 2003).

De modo geral este método pode ser aplicado a (NOGUEIRA; ESTON, 2003 e HUSTRULID; BULLOCK, 2001):

- Filões e camadas de forte mergulho, sendo ideal inclinações de 60° ou mais. Com mergulhos dessa ordem já se observa maior dificuldade de movimentação do minério armazenado que repousa junto à lapa;
- Teto estável quando exposto em toda espessura do filão, por considerável extensão;
- Espessura mínima de 1 metro e desejável acima de 2 m. O armazenamento em filões pouco potentes conduz freqüentemente à formação de

engaiolamentos por justaposição de 2 ou mais blocos, requerendo maior fraturamento e cuidados especiais quanto à segurança. Em filões com espessura menor que 1m, parte da encaixante da capa ou da lapa é desmontada de maneira que a largura do realce permita o trabalho eficiente;

- Encaixantes estáveis. A queda de fragmentos da capa durante o esvaziamento pode ser admitida, especialmente em se tratando da queda de placas. Em muitos realces a encaixante da capa é parafusada, melhorando sua estabilidade;
- O minério não deve ter tendência a acolmatação e recompactação, à oxidação depois de desmontado e à combustão espontânea (caso extremo da condição anterior). Em alguns casos estas restrições podem ser contornadas pela lavra de blocos pequenos que são rapidamente desmontados e esvaziados.
- Após o desmonte, o minério armazenado pouco suporta a pressão das encaixantes que podem apresentar tendência a aproximarem-se, comprimindo-o. Eventualmente, podem formar-se arcos estáveis que, além de perturbar o andamento rotineiro da lavra, iria constituir situação de grave perigo, pois o colapso do arco conduz à formação súbita de um cone de drenagem dentro do minério.

3.3.4. Métodos com aterro sistemático depois de extraído o minério

3.3.4.1. Corte e Aterro

O método por corte e aterro é, depois dos métodos em que se deixam os realces sem sustentação, a maneira mais intuitiva para lavra subterrânea de minérios (NOGUEIRA; ESTON, 2003 e HUSTRULID; BULLOCK, 2001). Trata-se de um procedimento simples, podendo ser adaptado à maioria das jazidas. Em sua versão mais simples, porções de minério são desmontadas do teto, na forma de bancadas invertidas, o minério é removido, o teto é saneado (retirada ou batida de chocós e se necessário aparafusamento) e, eventualmente, escorado e o espaço correspondente é preenchido por um material estéril. O minério é transferido por gravidade até um nível de transporte através de chaminés ou de chutes que são construídos dentro do aterro na medida em que o mesmo se eleva, bancada por bancada.

Devido ao procedimento cíclico de desmonte de uma bancada ou de parte de uma bancada, seguindo-se a operação de aterro, somente uma extensão restrita das encaixantes é exposta, ainda assim por curto período durante o qual deve manter-se estável. O acesso constante à frente de desmonte possibilita sua observação, mapeamento e amostragem do minério permitindo lavra seletiva, abandonando porções de minério pobre ou desmontando-o e deixando como aterro.

Uma grande variedade de corpos de minério pode ser lavrada por corte e aterro. Para jazidas filonares com espessura pequena a média (até 10 metros) a lavra é feita em blocos longitudinais, situação em que as condições abaixo poderiam ser consideradas ideais (NOGUEIRA; ESTON, 2003 e HUSTRULID; BULLOCK, 2001):

- Filões de forte mergulho, possibilitando a movimentação do minério desmontado e do aterro por gravidade;
- Encaixantes que se mantenham estáveis quando exportas em extensões limitadas, como a altura de duas bancadas de desmonte;
- Teto de minério estável ou que possa ser mantido por parafusamento ou atirantamento com cabos de aço;
- Filões descontínuos ou com intercalações estéreis ou de baixo teor, em que seja desejável a lavra seletiva.

Filões de grande espessura e outros jazimentos em qualquer posição espacial, principalmente se tiverem dimensão vertical relativamente grande, podem ser lavrados por corte e aterro, muitas vezes dividindo-os em blocos transversais e deixando pilares entre eles para que possam ser recuperados numa segunda etapa. Algumas jazidas constituídas por minério pouco competente, muitas vezes fraturado, com mineralização intercalada e interfaces pouco coesas e outras condições que comprometam a estabilidade do teto, podem ser lavradas em corte e aterro descendente. Finalmente, em qualquer de suas variantes, o método deve ser adotado sempre que seja necessário evitar deslocamento das encaixantes ou subsidência da superfície.

O método por corte e aterro também pode ser aplicado a corpos filonares de forte inclinação, necessariamente constituídos por minério de alto valor contido, cuja potência não satisfaça a condição de largura mínima do realce. Tanto o minério

como a encaixante devem manter-se estáveis durante a lavra. É desejável que o contato entre o minério e a encaixante seja bem definido, sendo uma condição ideal para que constitua um plano de franqueza. O desenvolvimento compreende a abertura de galerias de transporte dividindo os painéis e de chaminés triplas (com duas divisórias de madeira) no centro de cada bloco ou duas chaminés duplas, uma em cada extremidade do bloco. Sobre a galeria de transporte pode ou não ser deixado um pilar de proteção. Minério e estéril são desmontados separadamente, a experiência indicando qual deve ser realçado primeiro.

Na lavra por corte e aterro descendente, o desmonte é feito em bancadas horizontais, cada uma sob o aterro correspondente à bancada anterior. O procedimento só se justifica se for possível obter um teto constituído por aterro com qualidade superior ao teto de minério que seria encontrado na lavra em bancadas ascendentes. Nas últimas décadas algumas minas têm adotado o método e desenvolvido técnicas para dosagem, preparação, transporte e lançamento de aterros melhorados, quase sempre pela adição de cimento. O aterro mais utilizado é o rejeito deslamado do processamento do minério. Experimentos com aplicação de areia e agregados, ou com rejeitos não classificados; procurando minimizar a adição de cimento, têm sido feitos em diversas minas. A Figura 11 mostra um desenho do método.

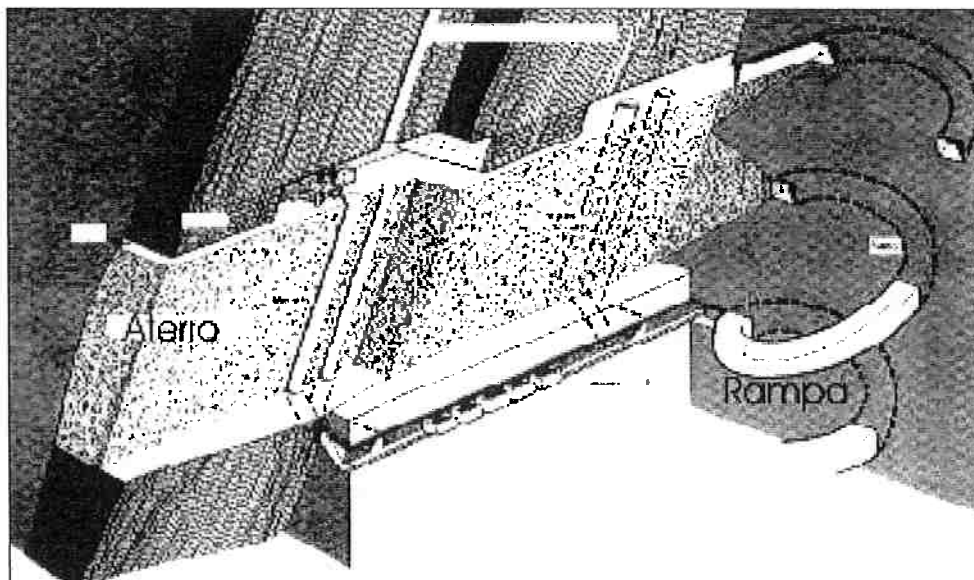


Figura 11. Método de corte e aterro (HAMRIN, 1986).

3.3.5. Métodos com reforço sistemático

3.3.5.1. Madeiramento em quadros

Existem diversas formas de suporte em minas subterrâneas (Figura 12). Entre elas o uso de elementos de madeira (poste, travessa e viga) merece destaque. A importância deste tipo de suporte está no fato de se poder ir para qualquer direção, bastando adicionar estes elementos de madeira imediatamente para se proteger a abertura. Esta característica permite uma grande flexibilidade nos métodos de abertura do realce. As condições para a sua aplicação são minérios e rocha encaixante fracos e outras que são apresentadas na seqüência (TATIYA, 2005):

- Resistência da rocha: fraca a muito fraca;
- Resistência do minério: fraca a muito fraca;
- Forma do depósito: qualquer (regular a irregular);
- Mergulho: normalmente inclinado mas podendo ser aplicado a poucos inclinados de modo similar ao longwall;
- Tamanho e espessura: de qualquer tamanho, normalmente pequeno, e espessura inferior a 3,6m;
- Teor do minério: alto com variação da uniformidade.

No passado praticamente todas as minas utilizavam o método, mas atualmente apresenta limitações de aplicação. Podem ser encontradas em minas de ouro, cobre, chumbo, zinco, prata, urânio e outros.

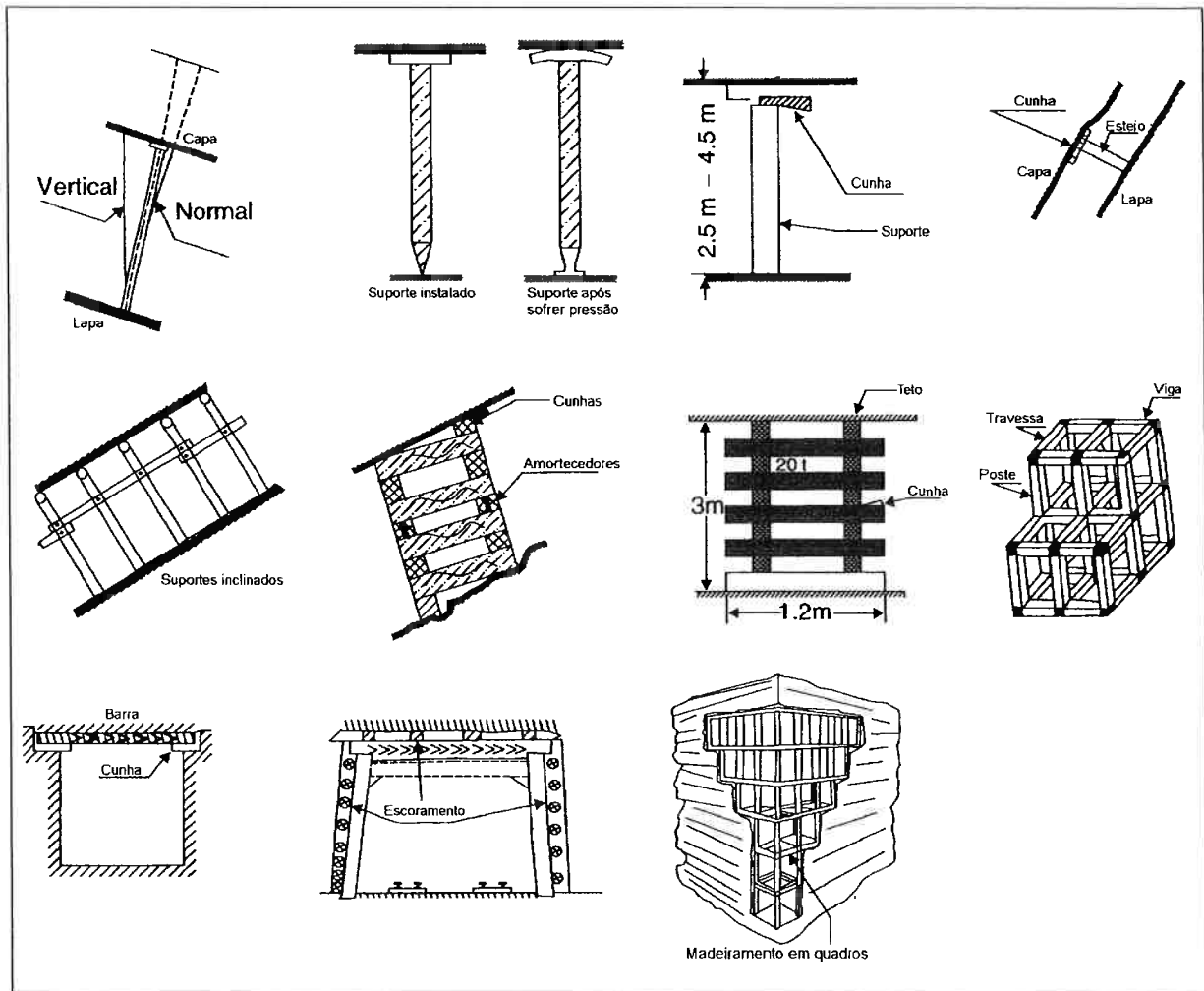


Figura 12. Tipos de suporte de madeira (TATIYA, 2005).

3.3.5.2. Realces esteiados

Aplicam-se apenas a corpos filonares de pequena potência, onde um esteio de madeira pode ser instalado entre a capa e a lapa do minério, para escoramento da primeira. Para que possa haver sustentação da capa, é preciso que ela seja razoavelmente estável, pois as pressões que podem se desenvolver em terrenos pesados podem ser excessivas. O método pode ser útil nas condições abaixo:

- Realces abertos esteiados se aplicam a filões pouco potentes e pouco inclinados, nos quais o aterro e o minério nos chutes não iria movimentar-se por gravidade segundo desenho muito semelhante a Câmaras e Pilares. Em condições adequadas o esteiamento sistemático pode constituir alternativa ao

abandono de pilares, com movimentação do minério por rastelo a cabo de dois ou três tambores ou LHD de pequeno tamanho.

- Filões inclinados podem ser esteiados, mas com dificuldades decorrentes de danos e arrancamento de esteios por blocos de minério.
- Realces esteiados aterrados podem ser feitos em jazidas filonares inclinadas. Os custos de produção serão, entretanto, acima de outras alternativas tecnicamente viáveis.

A Figura 13 apresenta um desenho esquemático de um realce esteiado.

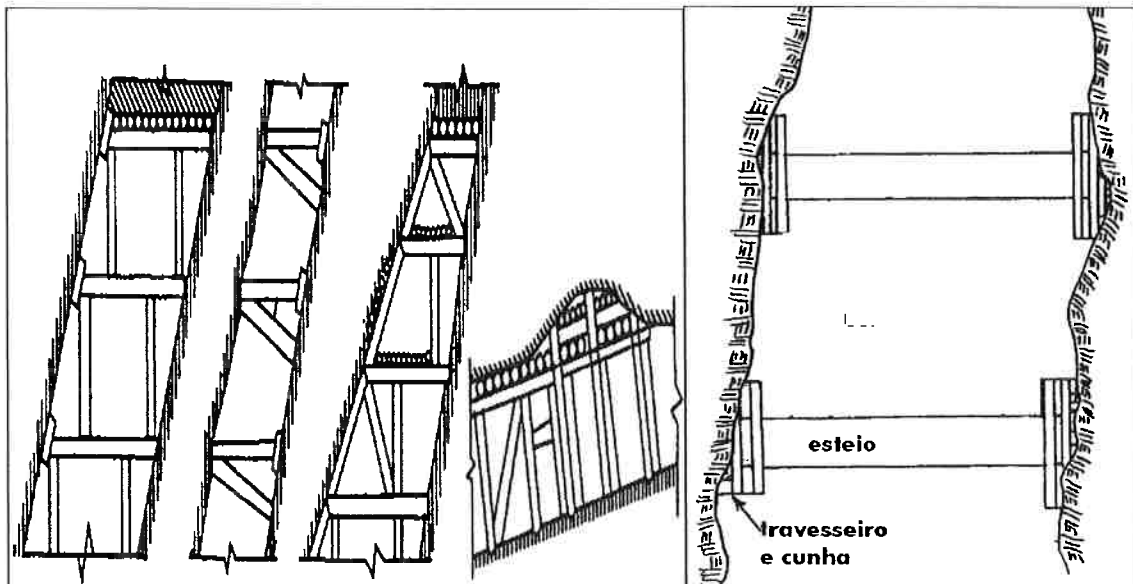


Figura 13. Método por realce esteiado (TATIYA, 2005 e NOGUEIRA; ESTON, 2003).

3.3.6. Métodos com desabamento

3.3.6.1. Frentes longas (longwall)

O método de frentes longas ou "longwall" se aplicam a depósitos formados por camadas de espessura pequena e uniforme e grande extensão horizontal. Os depósitos típicos são as camadas de carvão e potássio. Pode-se aplicar o método tanto para rochas competentes como não-competentes uma vez que as frentes de trabalho na face podem ser suportadas artificialmente onde a parede de sustentação tende a se colapsar. (HAMRIN, 1986)

Neste método, a extração do minério se dá ao longo de uma frente plana de grande extensão longitudinal. A área do realce próxima à face é mantida aberta para

permitir a presença de pessoal e maquinário enquanto e ao mesmo tempo permite-se a subsidência da parede de sustentação a alguma distância atrás da frente de trabalho.

O desenvolvimento envolve a escavação de uma rede de galerias de carregamento para acessar as zonas de produção e de transporte do minério para as chaminés. Como as zonas mineralizadas se estendem, estas galerias de carregamento devem ser acompanhadas de escavações paralelas para a ventilação das frentes de trabalho. A distância entre duas galerias de carregamento adjacentes determina o comprimento da face de frentes longas.

A Figura 14 mostra uma lavra por longwall, normalmente empregada para se lavrar carvão. Pode-se chegar a uma mecanização quase total em função da constante evolução em técnicas e equipamentos. O material mais mole não exige um processo de desmonte de rocha cíclico (uso de explosivos), podendo ser liberada por um processo de corte (rafa). Neste caso máquinas especiais cortam as paredes nas faces em fatias que são colocadas em correias transportadoras que as levam para a galeria de carregamento, de onde são transportadas para o sistema de elevação que as leva para fora da mina.

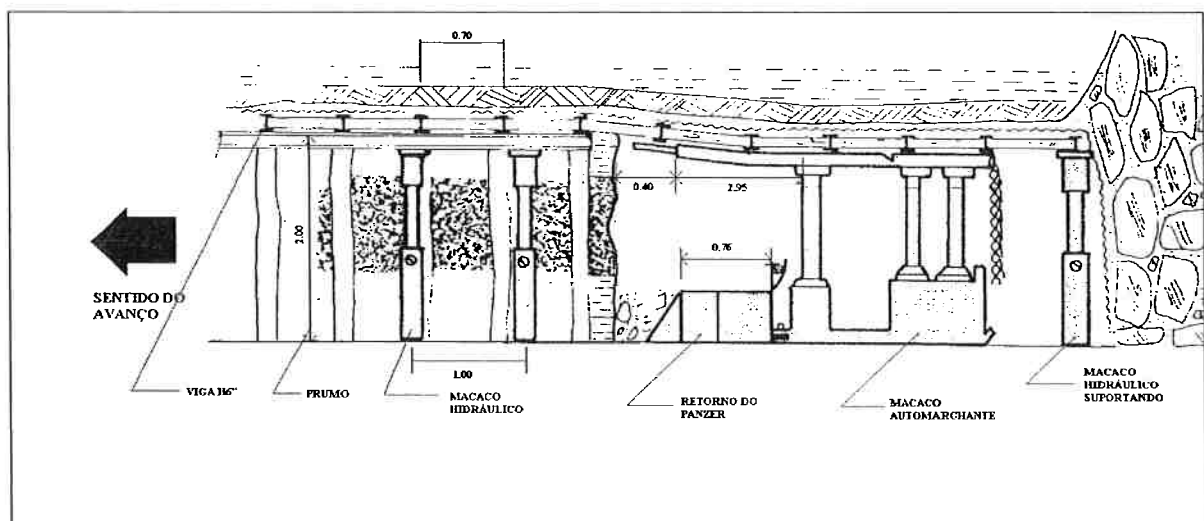


Figura 14. Lavra por longwall na Mina Leão I (GAVRONSKI, 1982 apud NOGUEIRA; ESTON, 2003).

O teto ao longo da face lavrada é escorado e toda a área de trabalho ao longo destas frentes é protegida por um conjunto de macacos hidráulicos. À medida que a

frente avança o mesmo ocorre com estes macacos que devem acompanhá-la para proteger trabalhadores e equipamentos do colapso do teto.

3.3.6.2. Desabamento em subníveis

O método de Desabamento em Subníveis vem sendo aplicado desde o início do século XX. Inicialmente aplicava-se a maciços tão pouco competentes que o minério entrava em colapso, mesmo em pequenos espaços, quando não escorado ou sempre que se retirava o escoramento.

A Figura 15 mostra o desenho clássico da lavra de um painel. No subnível imediatamente abaixo as galerias de produção eram abertas sob os pilares deixados entre as galerias imediatamente acima, possibilitando a recuperação do minério que os constituía. Quando a diluição do minério se tomava excessiva, um segundo quadro era removido e assim sucessivamente.

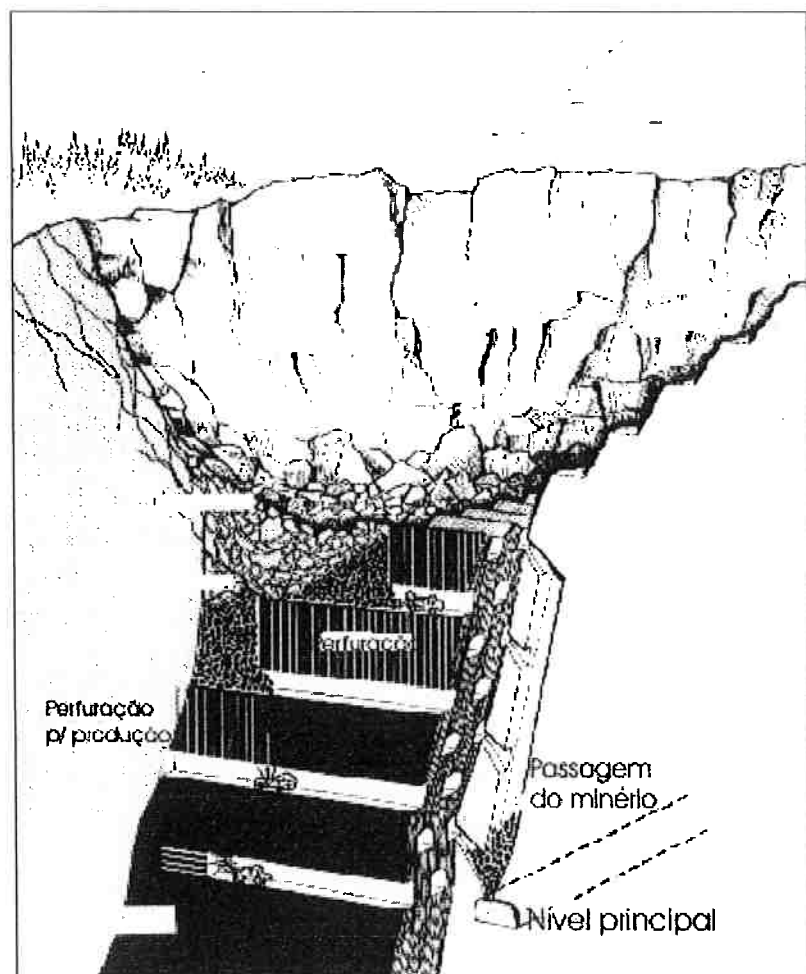


Figura 15. Desenho clássico de um desabamento em subníveis (HAMRIN, 1986).

No início da década de 1950, o método foi adaptado para aplicação em maciços competentes, o que foi possível somente com o desenvolvimento de equipamento de perfuração apropriado, capaz de abrir furos longos ascendentes, em geral com até 20 a 25 metros. Nessa condição de aplicação, o minério não desmorona livremente, sendo desmontado com explosivo e depois drenado por gravidade, deixando as encaixantes desabarem. Como em todo método de desabamento, é desejável e obrigatória a ruína das paredes encaixantes sobre o minério, sendo necessário provocá-la, em última instância.

A Figura 16 representa um Desabamento em Subníveis transversal ao corpo de minério. O subnível (1) estaria em plena produção, com o minério sendo desmontado através de perfurações radiais na mesma galeria onde se dá o carregamento para o transporte até a chaminé de transferência (4). O subnível (2) da figura estaria pronto para entrar em produção, tendo já sido adiantada parte da perfuração para desmonte que em geral é feita, leque por leque, em recuo até o contato. Os subníveis (3) estão em desenvolvimento. Na visão geral da mina, a lavra é descendente, corte por corte, cada um deles com a espessura correspondente à diferença de cota entre dois níveis de desenvolvimento. O acesso seria feito por rampa helicoidal. O minério seria transferido por gravidade através de um sistema de chaminés (4), recarregado no nível de transporte (5) britado em (8) e alçado pelo poço (6).

- No caso de corpos filonares é desejável que apresentem fortes mergulhos, acima de 60°. Nas figuras 3a, 3b e 3c, vantagem relativa dos filões de forte inclinação. Em 3a todas as galerias de produção estariam em minério, com o melhor aproveitamento em termos de galeria; em 3b alguns leques de perfuração estariam incompletos e já começaria a ocorrer alguma perda de minério; em 3c haveria galerias de produção abertas em estéril, leques incompletos e perdas junto à lapa.

O método exige uma quantidade de trabalhos de desenvolvimento relativamente grande, sendo boa parte felizmente aberta em minério. A contribuição de 15 a 20% da produção pelos trabalhos de desenvolvimento pode ser tomada como referência

O corpo de minério é dividido em painéis cuja altura depende, entre outros fatores, da escala de produção e da reserva por metro vertical, existindo exemplos de painéis de 50 a 250 metros de altura. O painel é dividido em subníveis espaçados em cota de 10 a 20 metros, que serão lavrados sucessivamente no sentido descendente. O nível inferior do painel é caracterizado por uma galeria principal de transporte, que serve a todas as chaminés de transferência, ligando-se às instalações do poço de extração.

3.3.6.3. Desabamento em blocos

O desabamento em blocos ("block caving") é uma técnica na qual a gravidade é usada em conjunção com as tensões internas da rocha para fraturar e fragmentar o maciço rochoso em blocos menores para que possam ser manuseados pelos mineiros. O termo "bloco" do método se refere ao desenho no qual o corpo mineralizado é dividido em grandes seções (milhares de m²). O desabamento do maciço é feito trabalhando-se na parte inferior do bloco, onde uma fatia da rocha imediatamente abaixo do bloco é desmontada por explosivos, destruindo assim a habilidade do maciço em suportar as camadas de rocha superiores. A gravidade faz com que a força de milhões de toneladas atuem sobre o bloco, causando fraturas que se espalham

Tobie e Julin (1973) apud Nogueira; Eston (2003) sustentam que, em situações onde se espera fraturamento em pedaços pequenos e a velocidade de drenagem permite produção razoável na área restrita de um bloco, o desabamento em blocos

deve ser considerado, embora venha cedendo espaço para as outras duas alternativas. Neste tipo de rocha, entretanto, os trabalhos de desenvolvimento nas proximidades podem ser muito castigados, principalmente se aumentar muito a área da base, com o desvio do campo de tensões verticais para as proximidades das paredes limitantes. A Figura 17 mostra um desenho esquemático de um desabamento em blocos.

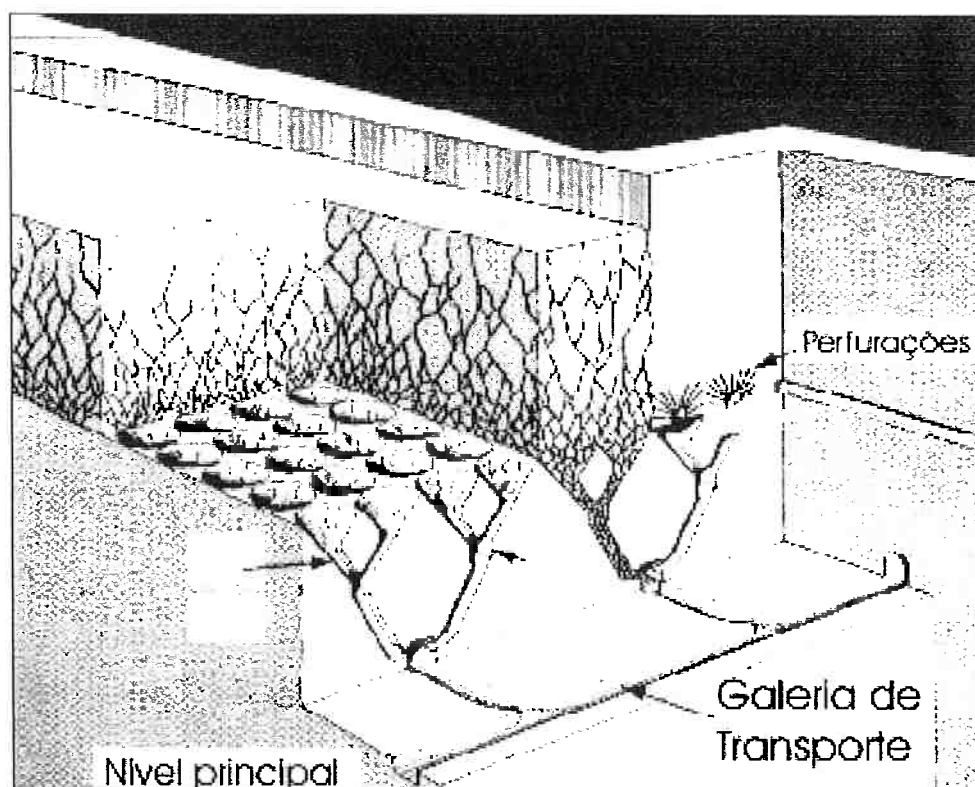


Figura 17. Desabamento em blocos (HAMRIN, 1986)

3.4. O PROCESSO DE FRAGMENTAÇÃO PELO EXPLOSIVO

Uma detonação consiste de uma liberação de uma enorme quantidade de energia num intervalo de tempo muito curto. Esta liberação envolve ondas de choque e gases a altíssimas pressões. A interação entre o explosivo e o maciço rochoso circundante durante e imediatamente após a detonação é função das propriedades de detonação do explosivo e das propriedades físicas e dinâmicas do maciço rochoso adjacente. Os mecanismos que governam o fraturamento da rocha pela ação do pelo explosivo também se relacionam com os danos provocados à rocha e

estruturas circundantes e também com as reações das pessoas que vivem próximas à detonação.

O processo envolve uma rápida liberação de energia pelo explosivo, a aplicação desta energia na rocha e a resposta da rocha a ela e os mecanismos de fragmentação foram identificados por diversos autores (JIMENO et. al., 1995 e por KONYA, 1995), a saber:

- pulverização e quebra (“crushing”)
- fraturamento radial
- fraturamento por liberação de pressão
- fraturamento por reflexão ou lasqueamento (“spalling”)
- extensão das fissuras geradas pelo gás e/ou das fissuras pré-existentes
- ruptura por flexão
- fraturamento por cisalhamento ao longo das fissuras geradas pela onda de choque e das fissuras pré-existentes
- colisões em movimento rápido (“in-flight collisions”)

Estes mecanismos podem ser separados em duas categorias: aqueles causados pela componente de choque da energia do explosivo e aqueles resultantes da energia do gás (GOLDER ASSOCIATES, s. d.).

Os mecanismos de fragmentação por energia de choque se relacionam com o momento em que um explosivo é detonado, quando ele é então convertido para gás em poucos milissegundos e a uma alta temperatura gerando pressões muito elevadas (no caso de um furo de mina confinado). Esta energia é transmitida para o maciço rochoso vizinho na forma de uma onda de compressão, ou onda de choque, que se propaga a uma velocidade de 2.000 a 6.000 metros por segundo. Isto resulta em pulverização e quebra, movimento radial relativo, liberação de pressão e lasqueamento. A pulverização e a quebra ocorrem ao redor da parede do furo quando a pressão exercida pela frente da onda de detonação excede a resistência à compressão dinâmica da rocha (GOLDER ASSOCIATES, s.d.). O pulso de deformação de partida, gerado pela frente de detonação à alta pressão se dispersa e perde energia rapidamente ocorrendo então um decréscimo local na densidade

com esforços de tensão subseqüentes. Estes esforços de tensão produzem fraturas perpendiculares à direção trajeto da onda de tensão. Já o lasqueamento ocorre após a reflexão da onda de compressão ou de tração gerando a partir daí duas ondas: uma de tração e outra de cisalhamento. A onda de tração pode causar fissuramento e fazer a rocha lasquear na região da superfície livre. Ambas as ondas, a de tração e de cisalhamento, podem aumentar as fissuras pré-existentes e também as novas fissuras (isto é, formadas pelo pulso inicial de tração).

Por outro lado, os mecanismos de fragmentação pela energia de deslocamento ou do gás ocorrem quando uma zona de gases a uma pressão e temperatura muito altas ocupa o furo de mina atrás da frente de detonação. Estes gases penetram na zona fraturada ao redor do furo e fluem para as fissuras radiais e pré-existentes. A pressão do gás atua como uma cunha para abrir as fissuras, causando o seu "alargamento".

A Figura 18 mostra a atuação de ambos os mecanismos.

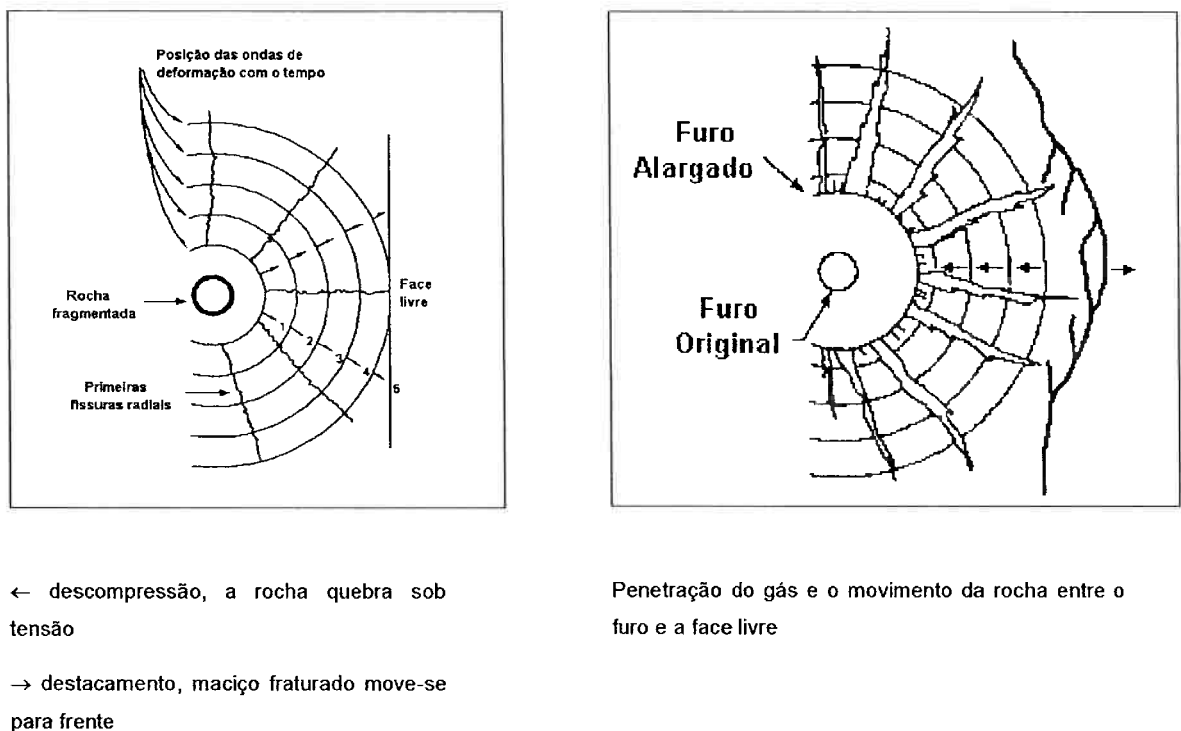


Figura 18. Energia de choque (esquerda) e energia de expansão dos gases (direita) atuando na fragmentação da rocha (GOLDER ASSOCIATES, s.d. apud IRAMINA, 2002).

Sabe-se que a energia produzida pela detonação do explosivo gera uma gama variada de efeitos, e apenas uma parte dela é transferida à rocha. Ela é função das

suas características termodinâmicas e depende da sua composição, dos produtos da reação e do calor de formação das substâncias envolvidas. Esta energia normalmente é expressa em unidades de MJ/kg. Dois fatores são determinantes na transferência desta energia à rocha: fator de impedância e fator de acoplamento. O primeiro está relacionado às características do explosivo gerador e da rocha receptora, quantificada pelas impedâncias acústicas do explosivo e da rocha. Quanto mais próximas forem as impedâncias do explosivo e da rocha melhor será a transferência de energia do explosivo para a rocha. Assim a transferência de energia é função das capacidades combinadas do explosivo e da rocha de transmitir e receber energia. Já o fator de acoplamento reflete a diminuição da pressão dinâmica no furo em função da razão de acoplamento. A diminuição da pressão no furo origina uma diminuição da taxa de transferência de energia. Quando os diâmetros da carga explosiva e furo forem iguais, a razão de acoplamento é unitária e o fator de acoplamento também será unitário o que significa, na prática que os melhores resultados de transferência de energia são obtidos quando o explosivo é compactado no furo, fazendo com que a razão de acoplamento seja próxima a 1 (IRAMINA, 2002).

Todas estas informações acabam por influenciar o projeto de desmonte de rocha, uma vez que se deseja obter planos de fogo ótimos para minimizar os custos (fragmentação adequada) e principalmente controlar a vibração do terreno e a sobrepressão atmosférica.

CAPÍTULO 4 – ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL EM EMPREENDIMENTOS MINEIROS

As questões ambientais têm envolvido a participação cada vez mais crescente de todos os níveis da sociedade em todas as partes do mundo. O Brasil também assistiu a esta evolução, principalmente a partir do início dos anos 80, onde o sistema jurídico voltado à proteção do meio ambiente passou por um processo de fortalecimento que se refletiu na melhor formação dos atores envolvidos na questão ambiental com relação aos processos de decisão. Assim, para projetos em que antes eram analisados somente sob o ponto de vista de viabilidade técnica e econômica, hoje obrigatoriamente necessitam de uma avaliação ambiental para a sua aprovação.

As leis são rígidas, porém a fiscalização de seu cumprimento muitas vezes é falha, de modo que as empresas, para a aprovação de seus projetos, podem tanto ser totalmente negligentes como adotar ações preventivas e integradas de “última geração”, ditadas por exigências de mercado, modismo ou por diretrizes empresariais. Existe uma gama de conceitos, procedimentos e estudos que fazem parte do cotidiano dos profissionais dos vários campos do conhecimento com siglas e vocábulos de difícil compreensão. Segundo DIAS (2006) “decifrar esta nova linguagem é apenas o primeiro passo, ainda que imprescindível, para participar do esforço de cumprir a legislação ambiental, em um primeiro momento, e, em seguida, conduzir as atividades empresariais de maneira ambientalmente responsável”.

4.1. CONCEITOS E DEFINIÇÕES BÁSICAS

4.1.1. Meio ambiente

De acordo com Dias (2006), meio ambiente é o “conjunto dos agentes físicos, químicos, biológicos e dos fatores sociais susceptíveis de exercerem um efeito direto ou mesmo indireto, imediato ou a longo prazo, sobre todos os seres vivos, inclusive o homem”. Este conceito está amplamente difundido e já está presente em todos os campos de atividades, inclusive nos diversos dispositivos da legislação brasileira. Seguem-se as leis aplicáveis ao meio ambiente.

Lei nº 6.938/81: “o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas” (art. 3º, I), (SÁNCHEZ, 2006).

Dias (2006) enumera algumas definições de meio ambiente segundo os estados brasileiros.

Decreto-lei nº 134/75, RJ: “todas as águas interiores ou costeiras, superficiais ou subterrâneas, o ar e o solo” (art. 1º, § único).

Lei nº 4.090/79, AL: “compõem o meio ambiente, os recursos hídricos, a atmosfera, o solo, o subsolo, a flora e a fauna, sem exclusão do ser humano” (art. 3º).

Lei nº 5.793/80, SC: “interação de fatores físicos, químicos e biológicos que condicionam a existência de seres vivos e de recursos naturais e culturais” (art. 2º, I).

Lei nº 7.772/80, MG: “meio ambiente é o espaço onde se desenvolvem as atividades humanas e a vida dos animais e vegetais” (art. 1º, § único).

Lei nº 3.858/80, BA: “ambiente é tudo o que envolve e condiciona o homem, constituindo o seu mundo e dá suporte material para a sua vida biopsicossocial” (art. 2º).

Lei nº 4.154/80, MA: “meio ambiente é o espaço físico composto dos elementos naturais (solo, água e ar), obedecidos os limites deste Estado” (art. 2º, § a).

Lei nº 7.488/81, RS: “conjunto de elementos — águas interiores ou costeiras, superficiais ou subterrâneas, ar, solo, subsolo, flora e fauna —, as comunidades humanas, o resultado do relacionamento dos seres vivos entre si e com os elementos nos quais se desenvolvem e desempenham as suas atividades” (art. 3º, II).

4.1.2. Impacto ambiental

“Considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e

econômicas; a biota, as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; a qualidade dos recursos ambientais” (Resolução Conama nº 1/86 apud DIAS, 2006)

Impacto ambiental pode ser entendido também como a “alteração da qualidade ambiental que resulta da modificação de processos naturais ou sociais provocada por uma ação humana” (SÁNCHEZ, 1998 apud DIAS). Nesta definição existe o encadeamento entre a ação humana, a modificação no processo natural ou social já existente, que é provocada, e a alteração da qualidade ambiental resultante, conforme observado na Figura 19.

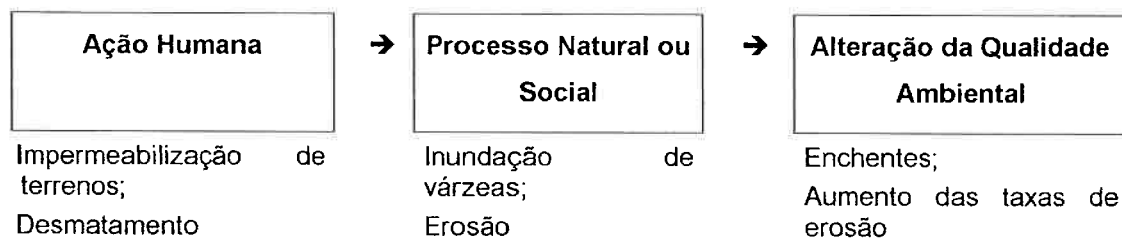


Figura 19. Mecanismo de geração de um Impacto Ambiental (DIAS, 2006).

Segundo Dias (2006) “trata-se, contudo, de uma definição imperfeita, que restringe as causas dos impactos ambientais à matéria e energia, deixando de fora vários exemplos de impactos ambientais incidentes sobre os meios biótico e sócio-econômico”.

Existem outras definições como a de Moreira (1992) como sendo “qualquer alteração no meio ambiente em um ou mais de seus componentes provocada por uma ação humana” ou a de Westman (1985) como o “efeito sobre o ecossistema de uma ação induzida pelo homem” (SÁNCHEZ, 2006). Porém Wathern (1988) parece ter uma definição mais precisa como sendo “a mudança de um parâmetro ambiental, num determinado período e numa determinada área, que resulta de uma dada atividade, comparada com a situação que ocorreria se essa atividade não tivesse sido iniciada (SÁNCHEZ, 2006)”.

4.1.3. Poluição

Enquanto o conceito de impacto ambiental admite tanto o caráter negativo, quanto o positivo, a expressão poluição é usada exclusivamente para designar interferências negativas. De acordo com Machado (1998) apud Dias (2006), o

conceito legal de poluição foi formulado inicialmente para a poluição das águas no Decreto nº 50.877/61 (art. 3º):

“Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas das águas que possa importar em prejuízo à saúde, à segurança e ao bem-estar das populações e ainda comprometer a sua utilização para fins agrícolas, industriais, comerciais, recreativos e principalmente a existência normal da fauna aquática”.

Já a Lei nº 997/76, de São Paulo, segundo Sánchez (2006), define poluição no sentido mais abrangente como “a presença, o lançamento ou a liberação, nas águas, no ar ou no solo, de toda e qualquer forma de energia ou matéria com intensidade, em quantidade, de concentração ou com características em desacordo com as que forem estabelecidas em decorrência desta lei, ou que tornem ou possam tornar as águas, o ar ou o solo: (I) impróprios, nocivos ou ofensivos à saúde; (II) inconvenientes ao bem-estar público; (III) danosos aos materiais, à fauna e à flora; (IV) prejudiciais à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade” (art. 2º).

Esta definição, ao associar as idéias de presença ou lançamento, matéria ou energia, quantidades, concentrações ou características estabelecidas na lei, tem o mérito de distinguir o conceito de poluição do conceito mais abrangente de degradação que engloba também processos não associados à presença de substâncias nocivas, como a alteração de paisagens, a supressão de vegetação, a perda do solo por erosão etc.

Outras definições legais, no entanto, não consolidaram este entendimento. É o caso da definição expressa na Lei nº 6.938/81, a Lei da Política Nacional do Meio Ambiente, que define poluição como “a *degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente: (a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população; (b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas; (c) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente; (d) lancem matéria ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos*” (art. 3º, III)

4.2. EVOLUÇÃO DA LEGISLAÇÃO AMBIENTAL BRASILEIRA

No processo de evolução da proteção jurídica ambiental brasileira pode-se observar a predominância de diferentes concepções do tratamento da questão ambiental. Monosowski (1989) apud Dias (2006) distingue quatro abordagens estratégicas básicas nas políticas ambientais brasileiras: a administração dos recursos naturais, o controle da poluição industrial, o planejamento territorial e a gestão ambiental integrada de recursos.

A primeira fase, administração dos recursos naturais caracteriza-se pela preocupação de racionalizar a exploração dos recursos naturais (água, flora, fauna e recursos minerais), regulamentando as atividades extrativas (pesca, mineração, exploração de madeiras) e definindo áreas de preservação. A Tabela 2 apresenta alguns dos principais instrumentos legais editados nesta fase. Mesmo com ênfase na exploração dos recursos naturais, esta legislação apresenta vários dispositivos considerados de preservação ambiental, como a preocupação com a poluição das águas no Código da Pesca, sanções pela destruição de florestas, no Código Florestal e o reconhecimento da conservação dos recursos naturais como de interesse social para efeito de desapropriação.

Tabela 2. Instrumentos Legais de Administração dos Recursos Naturais. (MONOSOWSKI, 1989 apud DIAS, 2006)

| INSTRUMENTO LEGAL | LEGISLAÇÃO | MATÉRIA |
|---|---|---|
| Código das Águas | Decreto nº 24.643, de 10/07/34 Lei nº 4.904, de 17/12/65 Decreto nº 58.076, de 24/03/66 | Define os direitos de propriedade e uso dos recursos hídricos para o abastecimento, a irrigação, a navegação, os usos industriais e a produção de energia, e as normas para proteção da quantidade e qualidade das águas territoriais. |
| Código Florestal | Decreto Nº 23.793, de 23/01/34, substituído por Lei nº 4.771, de 15/09/65 Decreto nº 289, de 28/02/67 | Caracteriza as florestas e a vegetação como bens de interesse comum, submetidos, portanto, a limitações quanto aos direitos de propriedade, estabelece, também, critérios para a delimitação das áreas de preservação permanente de vegetação, para a criação de parques e reservas biológicas, para a exploração de florestas e para o desmatamento. |
| Código de Mineração | Decreto nº 1.985, de 29/01/40 substituído por Decreto nº 227, de 28/02/67. | Define os princípios para a prospecção e a exploração das jazidas e, em especial, dissocia o direito de propriedade das terras do direito de exploração dos recursos do subsolo. |
| Código de Pesca | Decreto nº 794, de 19/10/38 substituído por Decreto-lei nº 221, de 28/02/67 Lei Delegada nº 10, de 11/10/62, modificada por Decreto nº 73.632, de 13/02/74 Decreto nº 68.459, de 01/04/71 | Declara pertencentes ao domínio público todos os animais e vegetais das águas territoriais brasileiras e fixa os princípios e as modalidades para a pesca e a exploração dos recursos biológicos da água. |
| Estatuto da Terra | Lei nº 4.504, de 30/11/64 | Determina os critérios e as modalidades de desapropriação e de distribuição de terras, as condições de taxação, as normas para a colonização pública e privada e para a implantação das infra-estruturas de apoio à atividade rural. |
| Proteção do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional | Lei nº 4.504, de 30/11/64 | Prevê a preservação dos objetos e dos imóveis (inclusive sítios naturais e paisagens) de interesse público, por seu valor arqueológico, etnográfico, bibliográfico ou artístico. |

Ainda de acordo com Monosowski (1989) apud Dias (2006) o controle da poluição ambiental é a marca da segunda abordagem estratégica, sendo a sua principal

referência a criação da Secretaria Especial do Meio Ambiente (Sema), em 1973 (Decreto nº 73.030, de 30/10/73). A Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente (1972), em Estocolmo e o agravamento dos problemas ambientais decorrentes do rápido processo de industrialização ocorrido no País, cujos reflexos se fizeram sentir especialmente nos grandes centros urbanos, na forma de poluição industrial, falta de saneamento e problemas no abastecimento de água foram os momentos políticos desta etapa. Nesta fase a prioridade foi dada para o controle da poluição industrial, com a adoção de normas e padrões inspirados na legislação norte-americana, num modelo baseado em um problema (a poluição industrial), um agente (a indústria) e um responsável pelo controle (o Estado). A legislação autorizava a criação de sistemas de licenciamento nos estados e municípios para a instalação e o funcionamento das atividades industriais potencialmente poluidoras. Em São Paulo, a Lei nº 997, de 31/05/76, regulamentada pelo Decreto nº 8468, de 08/09/76, que introduziu o sistema de licenciamento para as fontes de poluição, definiu padrões de emissão e de qualidade ambiental relacionados aos diversos poluentes. Esta política evoluiu para a abordagem do planejamento territorial com

Segundo DIAS (2006), com a adoção do conceito de área crítica de poluição, a partir do II Plano Nacional de Desenvolvimento (PND), de 1974, e somente aplicado após a promulgação da Lei nº 6.803, de 02/07/80, houve uma evolução desta política para abordagem mais ampla, ou seja, na esfera federal. Esta abordagem tratava das leis metropolitanas de zoneamento industrial e de proteção de mananciais e os planos de zoneamento de uso do solo para a proteção de bacias hidrográficas. As ações de controle nesta etapa ainda eram direcionadas para o agente privado, deixando de fora os grandes projetos de iniciativa governamental, com enorme potencial de causar modificações no meio ambiente.

Para Dias (2006), o grande marco da atual política ambiental brasileira, que caracteriza a abordagem estratégica da gestão ambiental integrada de recursos, ocorreu com a promulgação da Lei nº 6.938, em 31/08/81, a Lei da Política Nacional do Meio Ambiente, que trouxe uma série de importantes inovações como as que se seguem:

- A criação do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), órgão consultivo e deliberativo, diretamente vinculado ao Presidente da República e

encarregado de assessorar, estudar e propor diretrizes de políticas ambientais, assim como normas e padrões de controle ambiental e

- A criação do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama), que inclui o conjunto das instituições governamentais que se ocupam da proteção e da gestão da qualidade ambiental, em nível federal, estadual e municipal, e também os órgãos da Administração Pública federal, cujas atividades afetem diretamente o meio ambiente., ressaltando que o Conama constitui a instância superior do Sisnama.

A Lei da Política Nacional do Meio Ambiente, para obter estes objetivos, traz as seguintes definições com relação aos instrumentos e estratégias:

- Padrões de qualidade ambiental;
- Zoneamento ambiental;
- Avaliação de impacto ambiental;
- Licenciamento ambiental;
- Incentivos econômicos;
- Áreas protegidas;
- Produção e circulação de informações ambientais;
- Responsabilidade civil pelo dano ambiental; e
- Sanções administrativas e penais.

O Estado passou a ser responsabilizado pelas suas próprias iniciativas, até então não contempladas pelas ações de controle. A introdução dos instrumentos de zoneamento ambiental e a avaliação de impactos ambientais, que se aplica tanto aos projetos públicos como aos privados, refletiu a preocupação com o planejamento adequado.

No campo da responsabilidade civil pelo dano ambiental, a Lei nº 6.938/81 foi especialmente inovadora ao dispor que "é o poluidor obrigado, independentemente de existência de culpa, a indenizar ou reparar os danos causados ao meio ambiente e a terceiros, afetados por sua atividade" (art. 14º, § 1º, DIAS, 2006). É a chamada responsabilidade civil objetiva, ou seja, não só não depende de intenção, como independe de culpa. Basta que seja estabelecida a relação entre a causa e o efeito (nexo causal).

A Lei da Política Nacional do Meio Ambiente dá início à fase holística do direito ambiental brasileiro, em que o ambiente passa a ser protegido como sistema ecológico integrado, ao invés da tutela dispersa que caracterizava o modelo fragmentário até então vigente (BENJAMIN, 1999 apud DIAS, 2006). A esta lei segue-se então a aprovação da Constituição Federal em 1988, apresentando capítulo inteiro dedicado ao meio ambiente, consolidando os princípios, diretrizes e instrumentos por ela adotada. O *caput* do artigo 225 diz que “todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”. Como instrumentos de gestão introduzidos por esta lei estavam o licenciamento ambiental e os diversos estudos ambientais e procedimentos requeridos para sua obtenção. Seguiram-se a partir deste ponto alterações profundas nas relações entre os empreendedores, tanto públicos como privados, o poder público e a sociedade.

4.3. LICENCIAMENTO AMBIENTAL

O licenciamento ambiental iniciou-se no Brasil na forma de legislações estaduais, como a de São Paulo, cuja Lei nº 997, de 31/05/76, instituiu o sistema de prevenção e controle da poluição do meio ambiente e as licenças de instalação e funcionamento para fontes de poluição. O Decreto nº 8.468, de 08/09/76 (alterado pelo Decreto nº 47.397/02), regulamentando a citada lei, definiu as fontes de poluição para efeito de obtenção das licenças de instalação e funcionamento.

Somente em 1981, com a edição da Lei da Política Nacional do Meio Ambiente, o licenciamento ambiental passou a ter âmbito nacional. De acordo com esta lei “a construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, considerados efetiva e potencialmente poluidores, bem como os capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, dependerão de prévio licenciamento de órgão estadual competente, integrante do Sistema Nacional do Meio Ambiente – Sisnama, e do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - Ibama, em caráter supletivo, sem prejuízo de outras licenças exigíveis” (art. 10º, DIAS, 2006).

Em 19/12/97, o Conama promulgou a Resolução nº 237, com o objetivo de revisar os procedimentos e critérios utilizados no licenciamento ambiental, incorporando os instrumentos de gestão ambiental. Alguns tópicos foram transcritos na seqüência.

- **“Licenciamento Ambiental:** procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou daquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental, considerando as disposições legais e regulamentares e as normas técnicas aplicáveis ao caso” (art. 1º, I).
- **“Licença Ambiental:** ato administrativo pelo qual o órgão ambiental competente estabelece as condições, restrições e medidas de controle ambiental que deverão ser obedecidas pelo empreendedor, pessoa física ou jurídica, para localizar, instalar, ampliar e operar empreendimentos ou atividades utilizadoras de recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou aquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental” (art. 1º, II).
- “A localização, construção, instalação, ampliação, modificação e operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras, bem como os empreendimentos capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, dependerão de prévio licenciamento do órgão ambiental competente, sem prejuízo de outras licenças legalmente exigíveis” (art. 2º).
- “Estão sujeitas ao licenciamento ambiental os empreendimentos e as atividades relacionadas no Anexo 1, parte integrante desta Resolução” (art. 2º, § 1º).

No Brasil, segundo Dias (2006), o processo de licenciamento ocorre em três etapas: planejamento, instalação e operação do empreendimento.

A Licença Prévia (LP) se refere ao planejamento, traduzindo o entendimento de que o empreendimento proposto é ambientalmente viável, atendidos os condicionantes estabelecidos no ato administrativo. A outorga da LP é um aval para o detalhamento do projeto, incluídos os dispositivos de proteção ao meio ambiente. A efetiva instalação do empreendimento, contudo, tem de ser, necessariamente, precedida da obtenção da licença de instalação (LI), que fixa as condições para esta etapa e para a obtenção da licença de operação (LO). O empreendimento somente poderá operar regularmente após a outorga da LO, que será liberada se as

condições estabelecidas na etapa anterior tiverem sido atendidas. A Resolução Conama nº 237/97 (art. 8º) descreve o sistema de licença ambiental tríplice adotado no Brasil como sendo:

- **I – Licença Prévia (LP)** – concedida na fase preliminar do planejamento do empreendimento ou atividade aprovando sua localização e concepção, atestando a viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos e condicionantes a serem atendidos nas próximas fases de sua implementação;
- **II – Licença de Instalação (LI)** – autoriza a instalação do empreendimento ou atividade de acordo com as especificações constantes dos planos, programas e projetos aprovados, incluindo as medidas de controle ambiental e demais condicionantes, da qual constituem motivo determinante;
- **III – Licença de Operação (LO)** – autoriza a operação da atividade ou empreendimento, após a verificação do efetivo cumprimento do que consta das licenças anteriores, com as medidas de controle ambiental e condicionantes determinados para a operação”.

De acordo com Dias (2006), a Resolução Conama nº 237/97 estabelece, ainda, as competências para o licenciamento, esclarecendo que este se dará em um único nível entre os seguintes:

- Ibama – empreendimentos e atividades com significativo impacto ambiental de âmbito nacional ou regional. A idéia de âmbito nacional pode ser invocada nas situações em que o projeto ou obra objeto do licenciamento tenha o potencial de causar impactos em áreas do patrimônio nacional, como a “*Floresta Amazônica brasileira, a Mata Atlântica, a Serra do Mar, o Pantanal Mato-Grossense e a Zona Costeira*” (Constituição Federal, art. 225, § 4º). O alcance regional refere-se ao potencial dos impactos ambientais da obra ou projeto atingirem mais de um estado ou região geográfica;
- Órgão ambiental estadual ou do Distrito Federal – empreendimentos ou atividades localizadas ou desenvolvidas em mais de um município, em unidades de conservação de domínio estadual ou do Distrito Federal, em florestas e demais formas de vegetação natural de preservação permanente, assim como aquelas cujos impactos ambientais diretos ultrapassem os limites territoriais de um ou mais municípios;

- Órgão ambiental municipal – empreendimentos e atividades de impacto ambiental local e daquelas que lhe forem delegadas pelo Estado.

O Anexo da Resolução relaciona, agrupadas em 23 títulos, 111 atividades ou empreendimentos sujeitas ao licenciamento ambiental, incluindo a indústria extrativa, na qual se insere o Projeto Nefelina.

4.4. ESTUDOS AMBIENTAIS

Ainda dentro do ordenamento introduzido pela Resolução CONAMA nº 237/97, destaca-se a definição do termo Estudos Ambientais como designativo de *“todos e quaisquer estudos relativos aos aspectos ambientais relacionados à localização, instalação, operação e ampliação de uma atividade ou empreendimento, apresentado como subsídio para a análise da licença requerida, tais como: relatório ambiental, plano e projeto de controle ambiental, relatório ambiental preliminar, diagnóstico ambiental, plano de manejo, plano de recuperação de área degradada e análise preliminar de risco”* (art. 1º, III, DIAS, 2006). Como decorrência de diretrizes fixadas em leis, normas e regulamentos, alguns desses estudos ambientais passaram a ser exigidos como subsídio ao licenciamento ambiental no âmbito federal ou dos estados, tornando-se mais conhecidos por meio de siglas como: EIA/Rima, PRAD, RAP/TR, RCA/ PCA e MCE.

Cabe aqui uma referência à Avaliação de Impacto Ambiental (AIA), definido como um instrumento de política ambiental com grande importância na gestão ambiental. Ela é formada por um conjunto de procedimentos capazes de assegurar, desde o início do processo, que se faça um exame sistemático dos impactos ambientais de uma ação proposta (projeto, programa, plano ou política) e de suas alternativas, e cujos resultados sejam apresentados de forma adequada ao público e aos responsáveis pela tomada da decisão, e por eles considerados. Além disso, os procedimentos devem garantir adoção das medidas de proteção do meio ambiente, determinada no caso de decisão da implantação do projeto.

4.4.1. EIA/Rima

A sigla EIA designa o estudo de impacto ambiental, parte do AIA, introduzida pela Lei da Política Nacional do Meio Ambiente e regulamentada pela Resolução

CONAMA nº 1, de 23/01/86. A AIA foi elevada a preceito constitucional em 1988; figurando em seu artigo 225 (§ 1º, IV) que é obrigação do poder público "*exigir, na forma da lei, para instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, estudo prévio de impacto ambiental, a que se dará publicidade*".

O EIA ou EPIA (estudo prévio de impacto ambiental) é um estudo de caráter prévio exigido sempre que houver a instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente. Ele deve contemplar alternativas tecnológicas e de localização do projeto, confrontando-as com a hipótese da não-execução do projeto. Deve ainda procurar identificar e avaliar os impactos ambientais, definir os limites geográficos da área afetada e considerar os planos e programas governamentais relacionados. O conteúdo mínimo de um EIA previsto na Resolução Conama 1/86 inclui: diagnóstico ambiental da área de influência do projeto, considerando o meio físico, o meio biológico e o meio socioeconômico, identificação e avaliação dos impactos ambientais, definição de medidas mitigadoras dos impactos ambientais negativos e programas de acompanhamento e monitoramento dos impactos positivos e negativos (DIAS, 2006 e GPCA - MEIO AMBIENTE, 2007).

O estudo de impacto ambiental constitui a etapa de maior conteúdo científico do processo de avaliação de impacto ambiental (AIA), definido como "*o processo de identificar, prever, avaliar e mitigar os efeitos relevantes de ordem biofísica, social ou outros de projetos ou atividades antes que decisões importantes sejam tomadas*" (IAIA, 1996 apud DIAS, 2006).

Para se executar o EIA, uma equipe multidisciplinar deve se encarregar das tarefas técnicas e científicas destinadas a analisar, sistematicamente, as conseqüências da implantação de um projeto no meio ambiente, por métodos de AIA e técnicas de previsão dos impactos ambientais. O estudo de impacto ambiental deverá desenvolver, no mínimo, as seguintes atividades técnicas (AMBIENTEBRASIL, 2006):

1- Diagnóstico ambiental da área de influência do projeto: completa descrição e análise dos recursos ambientais e suas interações, tal como existem, de modo a caracterizar a situação ambiental da área, antes da implantação do projeto, considerando:

- Meio físico: O subsolo, as águas, o ar e o clima, destacando os recursos minerais, a topografia, os tipos e aptidões do solo, os corpos de água, o regime hidrológico, as correntes marinhas, as correntes atmosféricas;

- Meio biológico: Os ecossistemas naturais - a fauna e a flora - destacando as espécies indicadoras da qualidade ambiental, de valor científico e econômico, raras e ameaçadas de extinção e as áreas de preservação permanente, e

- Meio sócio-econômico: O uso e ocupação do solo, os usos da água e a características socioeconômicas, destacando os sítios e monumentos arqueológicos, históricos e culturais da comunidade, as relações de dependência entre a sociedade local, os recursos ambientais e o potencial de utilização desses recursos.

2 - Descrição do projeto e suas alternativas

3 - Etapas de planejamento, construção, operação

4 - Delimitação e diagnóstico ambiental da área de influência: definir os limites da área geográfica a ser direta ou indiretamente afetada pelos impactos, denominada área de influência do projeto, considerando, em todos os casos, a bacia hidrográfica na qual se localiza.

5 - Identificação, medição e valorização dos impactos: identificar a magnitude e interpretação da importância dos prováveis impactos relevantes, discriminando os impactos positivos e negativos (benéficos e adversos), diretos e indiretos, imediatos e a médios e longos prazos, temporários e permanentes, seu grau de reversibilidade, suas propriedades cumulativas e sinérgicas, distribuição de ônus e benefícios sociais.

6 - Identificação das medidas mitigadoras: aquelas capazes de diminuir o impacto negativo, sendo, portanto, importante que tenham caráter preventivo e ocorram na fase de planejamento da atividade.

7 - Programa de monitoramento dos impactos

8 - Preparação do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA)

Dias (2006) afirma que uma das características mais marcantes do processo de AIA é a participação do público, o que difere o EIA dos demais estudos ambientais. A participação pública pode ocorrer em diversos momentos do processo, mas o mais comum é na etapa de análise do estudo pelo órgão ambiental competente, na forma de audiências públicas. A decisão final também conta, indiretamente, com a participação do público, pois cabe a um conselho com participação da sociedade civil e é discutida e deliberada em reunião aberta ao público.

Já o RIMA se refere ao relatório de impacto ambiental a ser apresentado em linguagem adequada à compreensão de interessados não-especialistas. De acordo com a Resolução Conama nº 1/86, o Rima deve refletir as conclusões do estudo de impacto ambiental, ser apresentado de forma objetiva e adequado à compreensão e

em linguagem acessível. O relatório refletirá as conclusões do estudo de impacto ambiental e deve conter:

- Objetivos e justificativas do projeto;
- A descrição do projeto e suas alternativas tecnológicas e locacionais, especificando para cada um deles, nas fases de construção e operação a área de influência, as matérias-primas e mão-de-obra, as fontes de energia, os processos e técnicas operacionais, os prováveis efluentes, emissões, resíduos de energia, os empregos diretos e indiretos a serem gerados;
- A síntese dos resultados dos estudos de diagnósticos ambiental da área de influência do projeto;
- A descrição dos prováveis impactos ambientais da implantação e operação da atividade, considerando o projeto, suas alternativas, os horizontes de tempo de incidência dos impactos e indicando os métodos, técnicas e critérios adotados para sua identificação, quantificação e interpretação;
- A caracterização da qualidade ambiental futura da área de influência, comparando-as
- Diferentes situações da adoção dos projetos e suas alternativas, bem como a hipótese de sua não realização
- A descrição do efeito esperado das medidas mitigadoras previstas em relação aos impactos negativos, mencionando aqueles que não puderem ser evitados e o grau de alteração esperado
- O programa de acompanhamento e monitoramento dos impactos
- Recomendação quanto à alternativa mais favorável (Conclusões)

O EIA/Rima é exigido ou não pelo órgão ambiental competente, com base na avaliação da significância dos impactos ambientais potenciais e no enquadramento da atividade ou empreendimento em critérios ou legislação específica.

4.4.2. PRAD

A Lei da Política Nacional do Meio Ambiente, em seu artigo 2º, inciso VIII (DIAS, 2006), inclui a recuperação de áreas degradadas entre os princípios a serem atendidos para a consecução de seus objetivos. A Constituição Federal de 1988 deu

destaque à recuperação das áreas degradadas pela exploração mineral ao formular o mandamento: "*Aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com a solução técnica exigida pelo órgão competente, na forma da lei*" (art. 225, § 2º). O plano de recuperação de área degradada (PRAD), foi criado pelo Decreto nº 97.632/89, de 10/04/89, prevendo a sua submissão à aprovação do órgão ambiental competente quando da apresentação do EIA/RIMA, no caso de empreendimentos destinados à exploração de recursos minerais.

No Estado de São Paulo, a Secretaria do Meio Ambiente (SMA) através da Resolução SMA nº 18, de 02/08/89, considerou apenas os empreendimentos devidamente licenciados pela CETESB ou aqueles dispensados da licença de instalação por existirem em data anterior à da regulamentação do licenciamento ambiental no Estado. Esse entendimento prevaleceu para não privilegiar ou reconhecer direitos adquiridos no caso de empreendimentos ilegais. O conteúdo do PRAD, fixado em anexo da Resolução SMA nº 18/89, inclui um plano de desenvolvimento da atividade mineral, a definição de medidas mitigadoras dos efeitos negativos advindos da atividade e o plano de recuperação da área degradada propriamente dito.

4.4.3. RAP / TR

O relatório ambiental preliminar (RAP) e o termo de referência (TR) são documentos que integram os procedimentos de licenciamento ambiental no Estado de São Paulo e que, por estarem em sintonia com procedimentos adotados em vários países do mundo, têm grande probabilidade de ser alçados ao nível federal (DIAS, 2006).

O RAP foi criado pela Resolução SMA nº 42, editada em 29/12/94, como parte dos procedimentos para análise de Estudos de Impacto Ambiental no Estado. Está previsto nos procedimentos iniciais e tem a função de instruir o requerimento de licença ambiental, fornecendo os elementos necessários para que o órgão ambiental avalie a significância dos impactos potenciais do empreendimento ou ação proposta. Da análise do RAP o órgão ambiental poderá:

- Indeferir o pedido de licença em razão de impedimentos legais ou técnicos;
- Exigir a apresentação do EIA/Rima ou dispensá-la.

No caso de exigência do EIA/RIMA, o RAP subsidiará a definição do termo de referência (TR) para a elaboração do EIA/RIMA. A Secretaria do Meio Ambiente do

Estado de São Paulo divulga roteiros básicos de elaboração de RAP para alguns tipos de empreendimentos sujeitos ao licenciamento ambiental. Em linhas gerais, estes roteiros incluem (DIAS, 2006):

- Objeto do licenciamento,
- Caracterização da ação ou empreendimento proposto,
- Justificativas e alternativas locacionais e tecnológicas,
- Diagnóstico ambiental preliminar da área de influência,
- Identificação e avaliação dos impactos ambientais,
- Medidas mitigadoras, compensatórias e de controle ambiental.

4.4.4. RCA / PCA

O relatório de controle ambiental (RCA) e o plano de controle ambiental (PCA) são documentos previstos no âmbito do licenciamento de empreendimentos de mineração. O RCA é análogo, no conteúdo e na finalidade, ao RAP, descrito anteriormente. O PCA deve fixar as diretrizes para o monitoramento ambiental do empreendimento, bem como o projeto executivo de implantação das medidas mitigadoras ou corretivas, ou, ainda, o plano de recuperação da área degradada (DIAS, 2006).

O RCA e o PCA foram criados pela Resolução Conama nº 10, de 06/12/90, que introduziu a possibilidade de dispensa de EIA/RIMA para a exploração de determinados bens minerais.

No Estado de Minas Gerais, o RCA e o PCA são adotados também para empreendimentos instalados sem as devidas licenças ambientais, é o chamado licenciamento ambiental corretivo, aplicado não só a empreendimentos minerários.

4.4.5. MCE

O memorial de caracterização do empreendimento (MCE) é o documento mais antigo e consagrado para efeito de licenciamento ambiental. Previsto no Decreto Estadual nº 8.468/76, de São Paulo, é o documento técnico que instrui a solicitação de licença de instalação de fontes de poluição no Estado de São Paulo. Nele estão contidas as informações sobre o projeto (processo de produção, produtos, insumos),

localização, áreas ocupadas, equipamentos, emissão de poluentes no ar, água, solo e ruído, bem como os sistemas previstos para o controle da poluição (DIAS, 2006).

4.5. AIA DO PROJETO NEFELINA

Em função das características do empreendimento, havia o potencial para se causar impactos ambientais significativos, o que levou o órgão encarregado de analisar o pedido de licenciamento ambiental a exigir do empreendedor a apresentação de um EIA nos termos preconizados pelas leis vigentes.

Este estudo de impacto ambiental procurou identificar os principais aspectos ambientais relativos ao empreendimento proposto, identificando os principais impactos ambientais e indicando as medidas de controle para cada um deles. Por aspecto ambiental, entende-se “elementos das atividades, produtos ou serviços de uma organização que podem interagir com o meio ambiente”, que é a definição adotada pela norma NBR ISO 14001:1996 (PROMINER, 2003).

O Plano de Controle Ambiental procurou reunir, em programas específicos, todas as ações e medidas minimizadoras, compensatórias e potencializadoras aos impactos ambientais prognosticados pelo Estudo de Impacto Ambiental - EIA. A execução e a efetivação do PCA esteve a cargo de uma equipe multidisciplinar composta por profissionais das diferentes áreas de abrangência, conforme as medidas a serem implementadas.

Visando integrar esta etapa de planejamento ambiental com as futuras atividades de gestão ambiental do empreendimento, seguiu-se a metodologia proposta por SÁNCHEZ e HACKING (2002), segundo a qual durante a preparação do EIA já devem ter sido identificados tanto os aspectos quanto os impactos ambientais do empreendimento, relacionando-os às atividades, produtos e serviços pertinentes ao projeto. Em seguida programas de gestão ambiental foram desenvolvidos para os aspectos e impactos mais significativos.

O Relatório Ambiental Preliminar - RAP foi elaborado pela empresa de projetos com o objetivo de atender aos processos de licenciamento junto à Prefeitura Municipal de Duque de Caxias, à Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEEMA) e ao IBAMA. Com isto, objetivou-se contemplar as documentações exigidas, no caso a IT 1831-R2 e a Diretriz de Licenciamento Ambiental DZ 041, referente à solicitação de diretrizes para Licença Prévia. Neste caso, o que se pretendia com o RAP era a dispensa dos Estudos e Relatório de Impacto Ambiental – EIA/RIMA tendo como motivo alegado uma pequena magnitude do empreendimento de extração e

beneficiamento de um determinado bem mineral. Este seria o caminho normal a ser percorrido num processo de licenciamento de um empreendimento mineiro de pequeno porte, porém no entendimento dos órgãos envolvidos não se tratava do caso de um empreendimento de pequena magnitude, sendo exigido a elaboração do EIA/RIMA. O RAP foi elaborado conforme o roteiro básico estabelecido, como a DZ 041 e a Instrução Técnica 1831R-2 da FEEMA. Para uma melhor compreensão e organização do relatório, cada item foi apresentado em um capítulo específico, existindo algumas abordagens metodológicas que especificam quais são estes capítulos. Sánchez (1989 apud PROMINER, 2004), fez a seguinte sugestão:

- Identificação preliminar dos prováveis efeitos e impactos ocasionados pelo empreendimento, baseada em analogias com casos similares e na experiência da equipe multidisciplinar;
- Identificação das questões merecedoras de maior atenção e/ou estudos aprofundados, consistindo, na prática, na aplicação de uma escala de prioridades aos efeitos e impactos identificados na etapa anterior; tal hierarquização foi baseada em analogias com casos similares, na experiência anterior da equipe e numa caracterização preliminar do meio ambiente, feita com base em informações bibliográficas e cartográficas, e com a colaboração de técnicos da empresa proponente e de consultores;
- Elaboração de um plano de estudos de base, visando o estabelecimento de um diagnóstico ambiental da área de influência do empreendimento; estes estudos de base incluem trabalhos de campo, bem como a coleta e a organização sistemática de dados preexistentes junto à própria empresa proponente e a órgãos públicos; os estudos de base foram concebidos de maneira a fornecer subsídios para a previsão e a avaliação preliminar dos impactos (as duas etapas seguintes), concentrando-se na obtenção dos dados necessários para tal; por esta razão alguns fatores ambientais receberam mais atenção que outros;
- Identificação e previsão preliminar dos efeitos e impactos: uma vez caracterizado o empreendimento e já bem adiantado o diagnóstico ambiental preliminar, passou-se à identificação preliminar dos efeitos e impactos ambientais gerados pelo empreendimento em sua situação futura; a identificação buscou verificar e detalhar aqueles efeitos e impactos

identificados de maneira preliminar anteriormente enquanto que a previsão buscou determinar a magnitude dos efeitos e impactos identificados; sempre que possível, tentou-se quantificar as previsões;

- Avaliação preliminar dos efeitos e impactos ambientais, fase que consiste na interpretação da importância dos impactos previstos; esta avaliação reflete a apreciação da equipe multidisciplinar quanto à relevância dos impactos, levando-se em consideração aspectos de reversibilidade dos impactos, duração, extensão espacial, etc.; os critérios de importância aplicados foram sempre explicitados;
- Elaboração do plano de controle e recuperação ambiental com o objetivo de mitigar os impactos ambientais, controlá-los e promover a reabilitação da área concomitantemente ao desenvolvimento dos serviços de exploração mineral;
- Elaboração de um plano de monitoramento com o objetivo de verificar a magnitude real dos efeitos e impactos previstos; esta fase abrange a escolha dos pontos, parâmetros e frequência de amostragem.

Desta forma, os estudos a serem realizados deveriam compreender trabalhos de campo, de laboratório e de gabinete. A análise e integração dos dados deveriam ser feitas inicialmente por especialistas e em seguida por diferentes membros da equipe, visando uma compreensão dos mecanismos de interação entre os diversos fatores ambientais.

Toda a equipe procurou participar das atividades de análise dos impactos ambientais, ou seja, da identificação, previsão, avaliação e mitigação dos prováveis impactos futuros e em função da importância atribuída a cada impacto. Assim, foram estudadas e propostas medidas de atenuação, ditas medidas mitigadoras, visando minimizar aqueles impactos, ou ainda medidas compensatórias, com o objetivo de compensar os impactos negativos não mitigáveis, ou somente atenuáveis em longo prazo, além das propostas de recuperação das áreas mineradas. Assim, o trabalho foi direcionado no sentido de propor diretrizes de ordem ambiental para o planejamento da atividade de lavra com vistas à produção do bem mineral. Fazer a avaliação de impactos de um empreendimento com uma vida útil longa pode ser uma tarefa bastante complexa, pois é preciso trabalhar com a hipótese de que as tecnologias evoluem assim como os valores e a percepção das questões ambientais. O Capítulo 7 traz as informações mais relevantes do EIA elaborado para o Projeto Nefelina que serviram de base para este trabalho.

CAPÍTULO 5 – VIBRAÇÃO DO TERRENO E SOBREPRESSÃO ATMOSFÉRICA

Durante a confecção do EIA foram contempladas as diversas opções para a lavra da nefelina-sienito, passando de uma cava a céu aberto para uma mina subterrânea onde o método de lavra a ser empregado é o pilar e salão. Apesar do método de lavra a ser adotado havia a certeza de que o desmonte de rocha seria feito através do uso de explosivos.

5.1. EFEITOS AMBIENTAIS DECORRENTES DE UMA DETONAÇÃO

Os principais problemas ambientais decorrentes da detonação são (IRAMINA, 2002):

- Emissão de gases tóxicos (monóxido de carbono e gases nitrosos, entre outros) e partículas sólidas na atmosfera, podendo comprometer a qualidade do ar;
- Emissão e propagação de ondas sísmicas transientes (de pequena duração, com frequência e amplitude variadas) através dos maciços de solo e rocha, ocasionando vibrações de suas partículas. As vibrações podem ocasionar danos materiais, como trincas e fraturas em edificações, e incômodos ao ser humano;
- Emissão e propagação de energia pela atmosfera, provocando deslocamento do ar (sobrepessão) ocasionando ruídos e mesmo vibrações em faixas de frequência não-audíveis, com a possibilidade de provocar danos materiais e incômodos ao ser humano;
- Ultra-lançamento de fragmentos rochosos de dimensões, em geral, centimétricas (lançamento excepcional além dos limites da área prevista pelas normas de segurança), que podem provocar danos materiais no caso de atingirem construções ou máquinas, e mesmo acidentes com vítimas;

- Indução de escorregamento para o interior das cavas e taludes, podendo ocasionar acidentes com trabalhadores e/ou prejudicar o andamento da atividade.

Existem outros problemas que podem ser indiretamente relacionados à detonação de explosivos para desmonte de rocha, como subsidência de terrenos e rebaixamento do lençol freático. Para o propósito deste trabalho serão considerados os dois efeitos que trazem sempre preocupações na elaboração de um EIA/RIMA de uma mina que utiliza explosivos para o desmonte de rocha: a vibração do terreno e a sobrepressão atmosférica. Para melhor visualização destes efeitos, a partir de uma detonação, é apresentada a Figura 20, que mostra um esquema de distribuição da energia de uma detonação e as suas conseqüências sobre o meio ambiente.

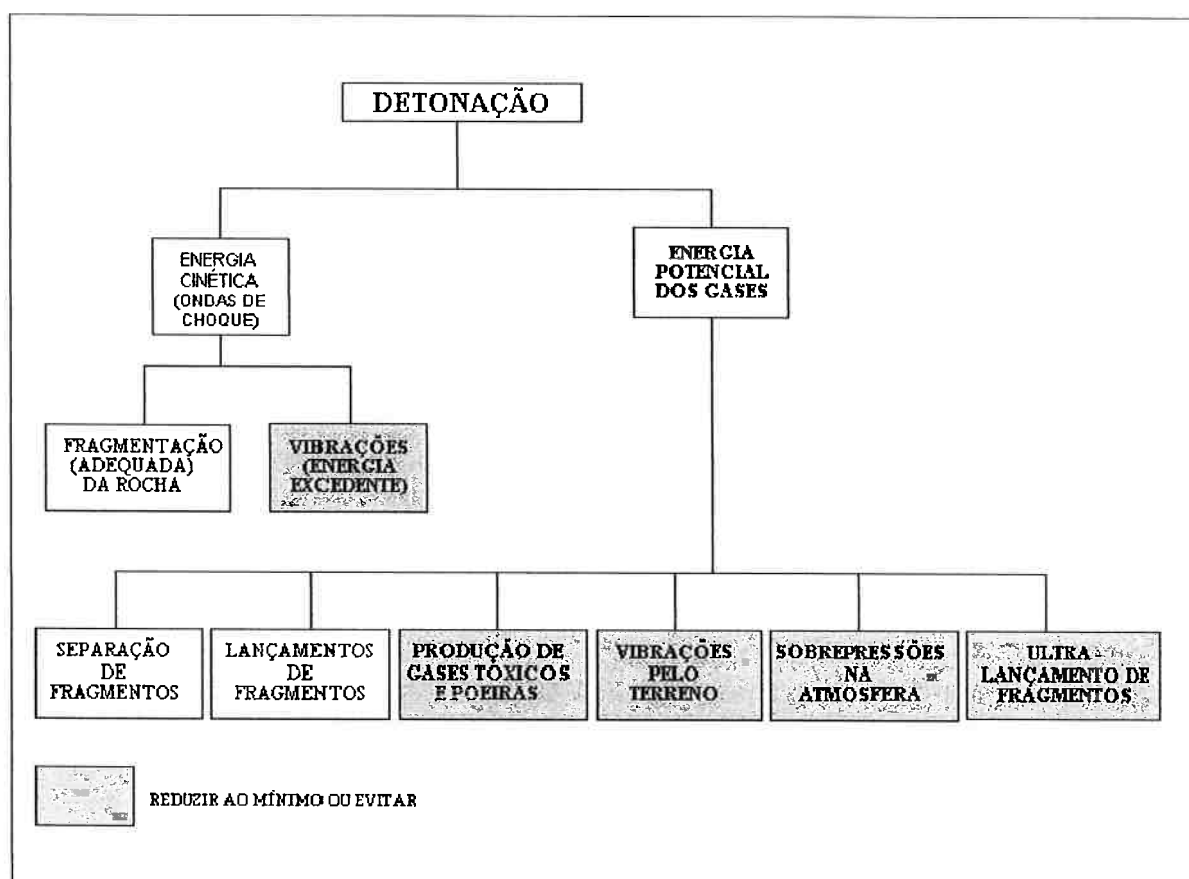


Figura 20. Esquema da distribuição dos problemas associados à detonação (ALMEIDA, 1992).

Quando uma carga explosiva é detonada dentro de um furo, além da fragmentação da rocha, também se gera vibração do terreno e vibração do ar. A

energia usada na vibração do terreno e do ar é uma energia desperdiçada. Foram feitos diversos trabalhos para a quantificação destas energias desperdiçadas, que variam na sua distribuição de acordo com os trabalhos pois dependem de uma série de fatores. ESTON (1999) apresenta um esquema com a distribuição da energia de detonação que pode ser observada na Figura 21.

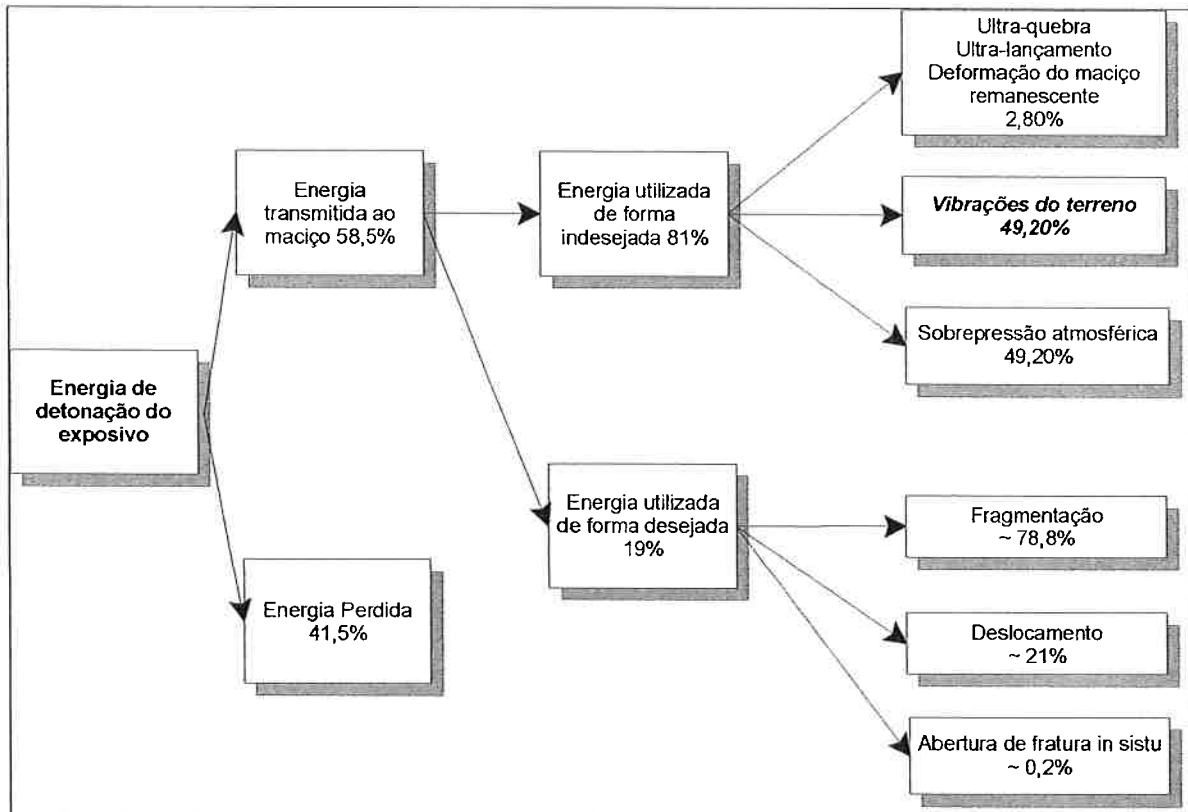


Figura 21. Diagrama esquemático de distribuição da energia de detonação (adaptado de ESTON, 1998).

Berta apud BACCI (2000), por sua vez, apresenta um outro modelo com a distribuição da energia transmitida à rocha para as várias etapas de uma detonação de rocha (Figura 22).

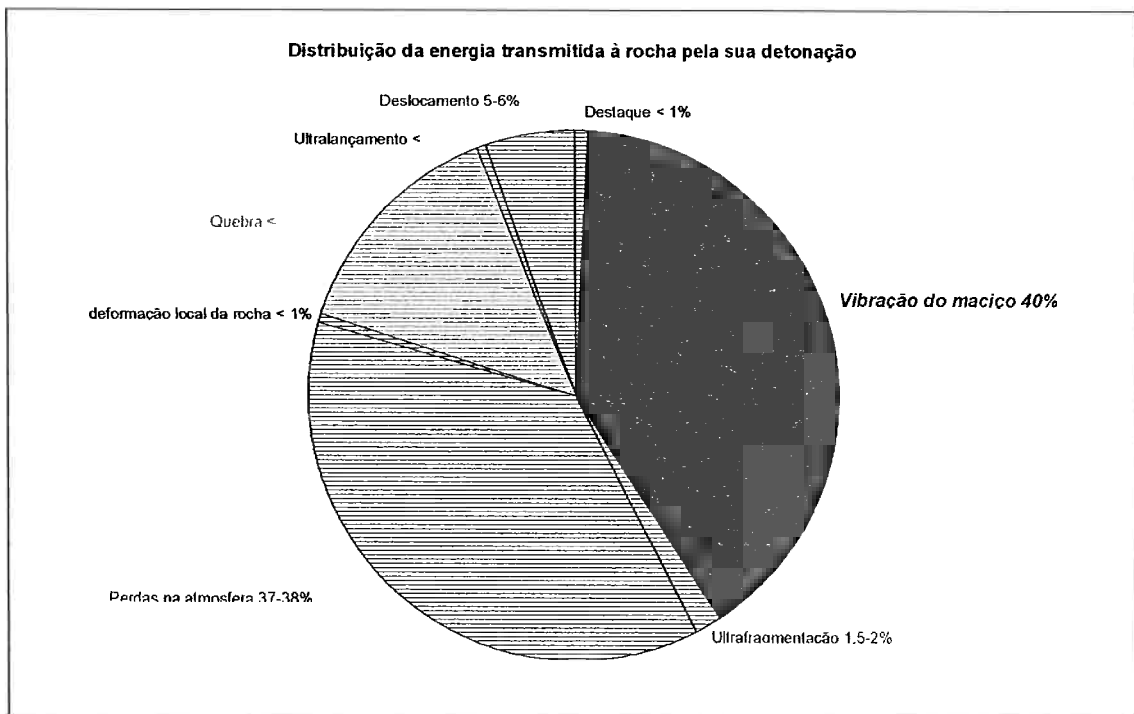


Figura 22. Distribuição da energia transmitida à rocha pela sua detonação (BACCI, 2000).

5.2. VIBRAÇÃO DO TERRENO

5.2.1. Vibração

A vibração pode ser descrita matematicamente como a maneira com que um corpo ou partícula se move com o tempo. O movimento em função do tempo pode ser representado por deslocamento de partícula, velocidade de partícula ou aceleração de partícula. Qual a melhor função a ser aplicada vai depender não apenas das necessidades do problema, mas também pelo tipo de equipamento para se medir a vibração. As conversões entre deslocamento, velocidade e aceleração podem ser feitas por integração ou diferenciação em função do tempo, embora diferenciar duas vezes um deslocamento impreciso seja muito difícil e arriscado (IRAMINA, 2002).

A forma mais simples de vibração é o movimento harmônico simples, comumente chamado de vibração senoidal, que é do tipo:

$$X(t) = A \text{sen}(\omega t + \phi) \quad (1)$$

Onde A é a amplitude de deslocamento, ω é frequência angular, t é o tempo e ϕ é o ângulo de fase.

De forma simplificada, a vibração pode ser caracterizada por dois parâmetros: a amplitude e a frequência. Existem diversos termos para se descrever a intensidade da vibração e sua variação no tempo uma vez que dependem de sua natureza (por exemplo, vibrações contínuas ou transientes). Descrever uma vibração é basicamente uma questão de se achar a função senoidal que é equivalente à vibração real. O efeito de uma vibração senoidal sobre uma estrutura ou ser humano pode ser determinado por cálculo e por experimentos.

A passagem da onda através de um meio faz com que partículas se movimentem ou vibrem e uma simplificação é considerar a vibração como ondas harmônicas, sendo, portanto, necessários os seguintes parâmetros básicos para uma análise (IRAMINA, 2002):

- Amplitude (A). O máximo deslocamento de uma partícula em relação ao seu ponto de repouso;
- Velocidade de partícula (v). A velocidade na qual a partícula se movimenta;
- Aceleração (a). A velocidade por unidade de tempo;
- Frequência (f). O número completo de oscilações ou ciclos por segundo.

5.2.2. Vibração do Terreno

As vibrações do terreno, assim como as sobrepressões atmosféricas, são inerentes ao processo de desmonte de rochas. Para fragmentar uma rocha, deve haver energia acumulada o suficiente para exceder a resistência à tração da rocha. Com o prosseguimento da quebra da rocha, a energia se dissipa e eventualmente atinge um nível menor do que a da resistência da rocha e, então, o fraturamento cessa. Entretanto, ainda há energia acumulada, que passa através da rocha e que a deforma, mas não a quebra, chamada de energia elástica, e é ela quem causa a vibração do terreno. Esta transmissão de energia é chamada de onda sísmica ou onda elástica, pois ela depende de uma propriedade da rocha chamada de

elasticidade, que é a capacidade de um material em retornar à sua forma e tamanho originais após ter sofrido uma deformação (IRAMINA, 2002)

O processo, de apenas alguns milissegundos, pode ser descrito da seguinte forma: a aceleração repentina da rocha em função da pressão de detonação dos gases age sobre as paredes do furo e produz esforços dinâmicos no maciço ao redor. Assim a energia explosiva é convertida pela elasticidade da rocha em energia potencial na rocha deformada, e esta, por sua vez, é convertida pela elasticidade da rocha em energia cinética na forma de vibração do terreno e sobrepressão atmosférica. Com isto, produz-se uma onda no terreno, muito parecida com o ato de se jogar uma pedra num lago de água parada. As ondas de movimento se espalham concentricamente do local da detonação (queda da pedra), particularmente ao longo da superfície do terreno para depois ir se atenuando, uma vez que a energia é espalhada sobre grandes massas de materiais rochosos à medida que se afasta de sua origem. Embora a vibração se atenua com a distância, a movimentação causada por uma detonação de grande porte pode ser sentida a longas distância, onde pessoas e animais podem reagir com reflexos de alerta e medo.

Em regiões próximas à área de detonação, a vibração do terreno pode causar danos às edificações e outros tipos de estruturas pelo fato dos esforços dinâmicos superarem a resistência dos materiais. Deste modo, um edifício sendo muito menos rígido do que um maciço rochoso pode sofrer danos mesmo a uma longa distância.

Os efeitos da vibração do terreno em operações de desmonte de rocha sobre as estruturas e seres humanos podem e devem ser previstos, monitorados e controlados pelo engenheiro de minas. Hoje estas ações são fundamentais no trabalho de planejamento e otimização da lavra, pois qualquer problema decorrente de vibrações pode resultar em danos econômicos que podem inviabilizar o empreendimento. O que se deseja, na realidade, é atingir um ponto de equilíbrio entre dois extremos: extremamente conservador com relação à vibração, onde os custos de desmonte podem se tornar tão caros que resultaria no cancelamento da atividade, e ser muito liberal, o que pode resultar em danos às estruturas próximas e ser objeto de reclamações e litígios.

5.2.2.1. Parâmetros que influenciam a vibração

As características de amplitude e frequência das vibrações do terreno se alteram à medida que elas se propagam da área de desmonte para o local de medição. A influência mais importante é a dissipação ou “esparramamento geométrico”, onde uma quantidade finita de energia da vibração preenche uma quantidade cada vez maior do volume do maciço à medida que ela se desloca em direção aos pontos cada vez mais distantes da detonação (IRAMINA, 2002). Como consequência, há um decaimento exponencial geral na amplitude da vibração com o aumento da distância da fonte (bastante semelhante à lei do inverso ao quadrado da distância). Além disso, ocorrem perdas de energia por meio de absorção e dispersão (onde diferentes componentes das frequências viajam em velocidades diferentes de propagação) e também devido à formação de ondas de superfície. A distância e a carga (máxima) por espera, via de regra, são considerados os parâmetros com maior influência sobre as amplitudes de vibrações embora as frequências sejam também influenciadas pela distância e pela geologia.

Os parâmetros que afetam as características das vibrações são praticamente os mesmos que influenciam nos resultados de uma detonação, podendo ser classificados em dois grupos: controláveis e não controláveis (quanto ao uso de explosivos).

A geologia local circundante e as características geomecânicas têm grande influência sobre as vibrações. Em rochas maciças e homogêneas a vibração se propaga em todas as direções, mas em estruturas de geologia complexas, a onda de propagação pode variar com a direção e, conseqüentemente, resultar em uma atenuação diferente com diferentes equações de propagação.

Quando existe uma camada de solo recobrindo a rocha, normalmente a intensidade e a frequência das vibrações são afetadas uma vez que os solos normalmente têm módulos de elasticidade menores do que as rochas e por isso a velocidade de propagação da onda tende a ser menor neste tipo de material. A frequência da vibração também diminui, mas o deslocamento aumenta significativamente à medida que a camada de solo se torna mais espessa (JIMENO et al, 1995). Portanto, a magnitude das vibrações decresce rapidamente com o aumento da distância se o capeamento está presente, pois uma grande parte da energia será usada para superar a fricção entre as partículas e também para deslocá-las.

Em locais próximos à detonação, as vibrações são afetadas por fatores relacionados ao plano de fogo e sua geometria. Já para distâncias maiores, estes fatores não são tão determinantes, neste caso, o meio de transmissão e o capeamento são os fatores dominantes para a característica da onda. Os materiais da superfície modificam o comportamento da onda fazendo com que esta se prolongue e tenha frequências mais baixas, o que aumenta a resposta das estruturas e a possibilidade de danos devido à possibilidade de ressonâncias (IRAMINA, 2002).

5.2.2.1.1. Carga máxima por espera

A magnitude da vibração do terreno (e também da sobrepressão atmosférica) num dado ponto varia com a carga de explosivo detonada e com a distância em relação ao local de detonação. Em detonações em que se usam vários retardos para provocar pequenas detonações, a carga máxima por espera detonada tem muito mais importância na intensidade da vibração do que a carga total.

5.2.2.1.2. Distância ao local da detonação

A distância ao local da detonação, assim com a carga máxima por espera, tem grande influência na magnitude das vibrações, pois ela obedece à uma lei do tipo

$$V \propto \frac{1}{D^b} \quad (2)$$

Onde V é velocidade de vibração de partícula, D a distância e o valor de b , de acordo com JIMENO et al (1995), citando o USBM, é de aproximadamente 1,6.

A atenuação das componentes de alta frequência também está relacionada às distâncias, uma vez que a terra age como um filtro onde somente as frequências mais baixas conseguem passar. Assim, em longas distâncias as vibrações do terreno terão mais energia nas faixas de baixas frequências.

5.2.2.1.3. Razão de carregamento

Para alguns parece ser intuitivo que numa situação com problemas de vibração deve-se proceder a redução na razão de carregamento, levando a resultados indesejáveis JIMENO et al. (1995) citam um exemplo onde se reduziu a razão de carregamento em 20 % com relação àquela considerada ótima e a vibração

resultante acabou sendo de 2 a 3 vezes maior, como consequência do maior confinamento dos furos e uma distribuição espacial mais pobre dos explosivos, o que resultou na falta de deslocamento e expansão da energia (IRAMINA, 2002).

5.2.2.1.4. Tipos de explosivos

A correspondência entre as velocidades de partícula e as deformações induzidas nas rochas pode ser observada na forma de uma constante de proporcionalidade chamada de impedância do meio rochoso. Assim, explosivos que geram pressões menores nos furos detonados irão produzir menores níveis de vibração, pois são aqueles com baixa densidade e baixa velocidade de detonação como é o caso do ANFO comum. Quando comparado com alguns tipos de lamas comuns ou com emulsões sensibilizados com alumínio, as intensidades das vibrações para o ANFO comum são da ordem de 2 a 2,4 vezes menores respectivamente (JIMENO et al, 1995).

5.2.2.1.5. Tempo de retardo

Com relação ao tempo mínimo de retardo que elimina as interferências construtivas ou os efeitos de interação, os primeiros estudos feitos por Duval (JIMENO et al, 1995) sugeriram intervalos de 8 a 9 ms, em testes feitos com calcário. Para intervalos superiores a 3 vezes o período da vibração pode-se assumir que não há interação entre os furos adjacentes detonados em seqüência, uma vez que os sinais são absorvidos. Atualmente intervalos de retardo de 6 a 25 ms são normalmente empregados para se produzir uma menor vibração.

5.2.2.1.6. Parâmetros geométricos do plano de fogo

A maioria dos parâmetros geométricos de desenho tem influência considerável sobre as vibrações geradas, sendo os mais importantes (IRAMINA, 2002):

- Diâmetro do furo. O aumento no diâmetro do furo é prejudicial à vibração, pois a quantidade de explosivos é proporcional ao quadrado do diâmetro, o que resultará em uma carga por furo/espera maior;
- Altura da bancada. A relação H/A (altura da bancada / afastamento) > 2 deve ser mantida sempre que possível para se evitar repés, pois estes geram confinamento das cargas explosivas e conseqüentemente maiores valores de vibração;

- Afastamento e espaçamento. Se o afastamento e o espaçamento forem excessivos, os gases da explosão encontrarão resistência na fragmentação e deslocamento da rocha, e parte da energia será desperdiçada na forma de vibração e sobrepressão atmosférica.
- Subfuração. Quando acima do valor ideal é provável que uma grande porcentagem da energia explosiva seja convertida em vibração;
- Tamponamento. Se o tampão for muito comprido, além da influência na fragmentação, haverá um confinamento maior, resultando em níveis de vibração provavelmente mais altos;
- Inclinação do furo. Furos inclinados permitem melhor uso da energia no nível do piso reduzindo, desta forma, as vibrações;
- Cargas descompartimentadas. Separando-se a coluna de explosivos melhora-se a fragmentação e se obtém uma distribuição mais uniforme que pode influenciar a vibração;
- Tamanho da detonação. As dimensões das detonações são limitadas pela carga máxima por espera calculada em estudos prévios, pelos tipos de estruturas que se deseja proteger e pelos parâmetros característicos do distúrbio provocado pela vibração.

5.2.2.1.7. Atenuação geométrica

A densidade da energia de propagação das ondas geradas pela detonação de uma carga explosiva diminui à medida que a onda atinge grandes volumes de rocha. Como as vibrações de terreno compreendem uma série complexa de combinações de ondas existem diferentes fatores geométricos de atenuação para cada tipo de onda (IRAMINA, 2002). Em um meio homogêneo, elástico e isotrópico, a amplitude cai devido à absorção geométrica, e esta queda, para os diferentes tipos de ondas dominantes é proporcional a:

- $1 / D$ para ondas de volume em um meio (semi) infinito;
- $1 / D^{0,5}$ para ondas de Rayleigh;
- $1 / D^2$ para ondas de volume que viajam através de uma superfície livre onde D é distância em relação à fonte sísmica (JIMENO et al., 1995).

5.2.2.1.8. Absorção não-elástica

Como se sabe, os maciços rochosos não constituem um meio perfeitamente elástico, isotrópico e homogêneo para a propagação da vibração. Diversos efeitos não-elásticos ou não-dispersivos provocam a perda de energia durante a propagação da onda e são atribuídos aos efeitos causados pela atenuação geométrica. Há numerosas razões para as atenuações não-elásticas e cada uma delas tem diferentes graus de influência (IRAMINA, 2002):

- dissipação de uma matriz não-elástica relacionada ao movimento nas superfícies intercristalinas e planos de descontinuidade;
- atenuação de rochas saturadas relativas ao movimento dos fluidos com respeito à matriz;
- fluxo dentro das fraturas;
- dispersão de tensões induzidas por substâncias voláteis absorvidas;
- reflexão em rochas porosas ou em cavidades grandes, e
- absorção de energia em sistemas que têm mudanças de fases, etc.

5.2.2.1.9. Interação de ondas elásticas

A interação de ondas sísmicas no tempo e no espaço proporciona valores de coeficiente de atenuação que são maiores ou menores do que os previstos ou calculados teoricamente assim como a topografia e geometria das formações geológicas podem produzir reflexão e concentração de frentes de onda em certos locais.

As vibrações decorrentes do desmonte por explosivos são modificadas pela presença de capeamento ("overburden") no local de medição. Em geral, as vibrações medidas neste local têm uma frequência menor e uma amplitude maior do que aquelas medidas sobre a rocha a uma mesma distância do local de desmonte. A consequência disto é que se a velocidade de partícula for aproximadamente a mesma nos dois locais, as frequências mais baixas das vibrações no capeamento farão com que as vibrações sejam sentidas mais imediatamente pelas pessoas (GOLDER ASSOCIATES, s.d.).

5.2.3. Características da vibração do terreno

5.2.3.1. Tipos de ondas sísmicas

As vibrações geradas por uma detonação são transmitidas através do terreno como ondas sísmicas. A frente de onda se desloca radialmente partindo do local da detonação. Uma analogia do fenômeno é a onda formada quando se joga uma pedra na água e as ondas se propagam concentricamente para fora do local de impacto. Os tipos diferentes de ondas sísmicas são classificados em dois grupos: ondas de volume e ondas de superfície. As ondas de volume, por sua vez se dividem em onda P e onda S, enquanto que as ondas de superfície se dividem em onda de Rayleigh e onda de Love.

5.2.3.1.1. Ondas P e S

As ondas de compressão ou ondas P (primárias) consistem de uma série de movimentos compressionais e de tração nas quais o movimento oscilatório das partículas ocorre na mesma direção que a propagação da onda. O movimento da onda P é o mais simples de se visualizar e medir. Já as ondas transversais ou ondas cisalhantes S (Secundárias) consistem de oscilações onde o movimento da partícula é transversal à direção da propagação da onda. O terreno se move lateralmente e à medida que a onda se propaga para a frente. A Figura 23 traz uma representação de uma onda e uma onda S com os seus movimentos.

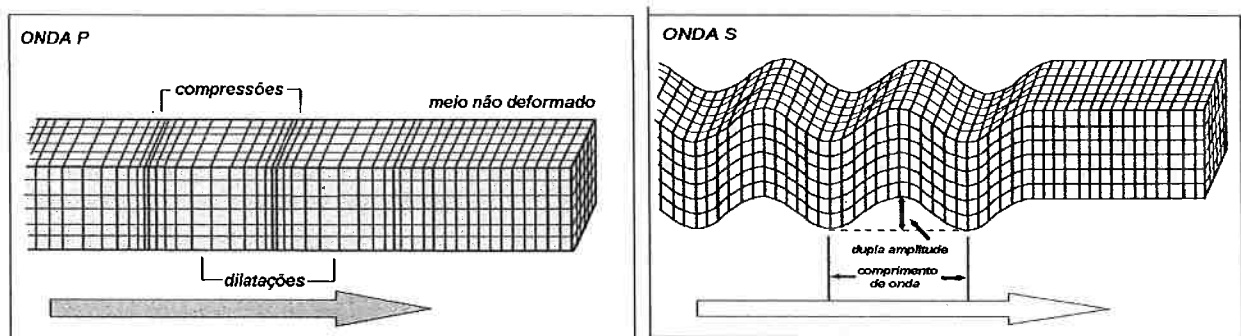


Figura 23. Representação de uma onda P e uma onda S.

As ondas P e S são conhecidas como ondas de volume ("bodywaves") e atuam dentro do maciço rochoso e propagam-se esféricamente a partir da carga de explosivo. Conversões de energia ocorrem entre as ondas P e S nas bordas estruturais devido à mecanismos de reflexão e refração. As ondas de volume se atenuam através do espalhamento geométrico em três dimensões, do

amortecimento da própria oscilação através da fricção interna do material rochoso e também através de perdas pelas imperfeições no material rochoso como os representados por juntas e fissuras. Em geral, frequências mais altas são atenuadas mais rapidamente do que as mais baixas. Sendo que estas últimas podem se prolongar a distâncias consideráveis. Quando as ondas de volume atingem a superfície, esta começa a se movimentar vertical e horizontalmente. As ondas produzidas neste instante são chamadas coletivamente de ondas elásticas de superfície. Embora estas tenham sido geradas após as ondas de volume, elas (particularmente as ondas de Rayleigh) são as que apresentam maior risco de dano potencial, uma vez que as investigações de autores como Miller e Pursey e Vorob'ev (JIMENO, 1995) indicam que a onda de Rayleigh carrega entre 70 e 80% da energia total.

5.2.3.1.2. Ondas de Rayleigh e de Love

As ondas de Rayleigh são caracterizadas por partículas de órbitas elípticas, sendo normalmente um movimento de translação contrário à direção de propagação da onda. As ondas de Love, por sua vez, são mais rápidas do que as ondas R e dão às partículas um movimento que é transversal à direção de propagação da onda. A Figura 24 ilustra uma onda de Rayleigh e uma onda de Love com os seus movimentos.

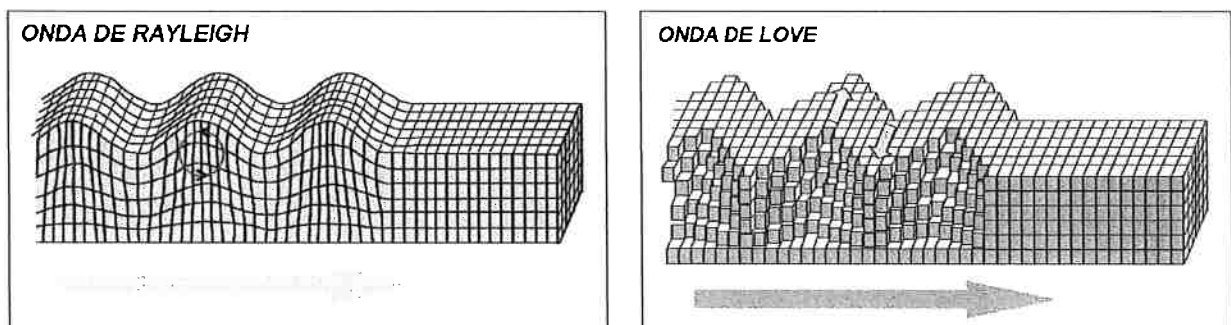


Figura 24. Representação de uma onda de Rayleigh e uma onda de Love

5.2.4. Vibrações associadas às detonações em áreas urbanas

5.2.4.1. O problema do desmonte de rocha em áreas urbanas

Um aspecto da mineração com respeito ao meio ambiente é a sua “rigidez locacional”, ou seja, as jazidas ou minas devem ser exploradas no local onde são

encontrados, não havendo, portanto, possibilidade de transplantá-las para outro local como seria o caso de uma fábrica. Outro fator que influi bastante nas reclamações dos moradores ao redor de uma mineração é a situação sócio-econômica local e regional do momento. Uma economia aquecida necessita de indústrias de base e construção, exigindo maior produção por parte das minerações e pedreiras que devem se adequar à demanda de material, o que implica um aumento na frequência de detonações e também grande oposição por parte da população vizinha.

Os efeitos do fenômeno de detonação de explosivos e também de outros fenômenos transientes que geram ruído e vibração suscitam muitas dúvidas. É importante haver um relacionamento baseado num modelo que atenda, de forma justa, aos interesses legítimos dos atores envolvidos (comunidade, empresário, e prestadores de serviço). Esta convivência harmoniosa entre as pessoas e o meio ambiente acaba sendo o elemento de motivação da sociedade, por meio da universidade, direcionando esforços em pesquisas que possam contribuir para isto. Atualmente, os problemas diários relacionados com detonações em áreas urbanas, estão mais complexos. Uma vez que a maioria das operações de desmonte se apresenta dentro das normas para dano e estão muito distantes de causarem danos potenciais a estas estruturas, o que fazer se as pessoas continuam reclamando?

O monitoramento sismográfico sistemático e boas práticas de engenharia são passos importantes neste relacionamento, mas por si só não garantem a isenção de reclamações, servindo em alguns casos, somente como elemento paliativo para prolongar disputas judiciais ou então como mero elemento de um programa de relações públicas. O uso adequado novas ferramentas para um planejamento correto das detonações e vistorias prévias e posteriores nas residências pode ajudar bastante na solução de disputas judiciais.

A resposta estrutural dos edifícios ocupados pelas pessoas desempenha papel importante nas reclamações pois elas não são geradas quando ocorre a vibração do terreno, mas quando as casas vizinhas às áreas de detonações balançam em função da amplitude da velocidade de vibração de partícula do terreno, do tempo de duração do fenômeno da vibração e frequência da vibração. Ela é diretamente e linearmente proporcional à amplitude da vibração do terreno. Assim, sabe-se que se a velocidade de vibração de partícula for reduzida pela metade, então a resposta

estrutural também será reduzida à metade. Outro fato comprovado é que quanto maior a duração da vibração no balanço do edifício maior será a amplitude da resposta estrutural. Dos três fatores citados, a frequência é o mais importante. Se uma casa estiver exposta à vibração do terreno, e está próxima à sua frequência natural, então haverá a ampliação da vibração da casa. Vibrações do terreno abaixo da frequência natural (ou fundamental) do edifício podem causar vibrações nas estruturas, e estas podem vibrar, pelo menos, tanto quanto as vibrações do terreno. Deste modo, a resposta estrutural desempenha um papel crítico na percepção da vizinhança de uma área de detonação. Outro fator crítico é a tolerância e a reação das pessoas à vibração. Conhecer as implicações destes dois aspectos é a chave para se entender porque as pessoas reclamam de vibrações do terreno. Quando uma onda de vibração atravessa uma estrutura, ela sofre ações sobre as suas fundações, apresenta movimentos para cima e para baixo, para a frente e para trás e para os lados causados pela onda e ao mesmo tempo o edifício tende, como um todo, a se manter em descanso, em sua posição original, obedecendo à lei da inércia. São fenômenos a se considerar em estudos mais aprofundados.

5.2.4.2. Danos provocados por vibrações excessivas

A reclamação mais comum da população é a probabilidade de dano a um edifício e, de fato, com o aumento da severidade da vibração existe uma seqüência crescente na qual geralmente o dano ocorre, apresentada por Down e Stocks, (1978):

- 1 - pó saindo das rachaduras;
- 2 - aumento na extensão das rachaduras;
- 3 - a formação de novas rachaduras;
- 4 - deslocamento e formação de esfoliações;
- 5 - grandes áreas de deslocamentos;
- 6 - fissuras em estruturas de alvenaria e pequenos deslocamentos;
- 7 - danos maiores e mais severos, e, por último, o colapso do edifício.

Existe uma porcentagem maior de relatos de reclamações referentes às categorias 1 a 4.

As Tabelas 3 e 4 apresentam alguns valores de velocidade de partícula e os efeitos sobre as estruturas observados por alguns autores.

Tabela 3. Níveis de vibração e efeitos associados e velocidades seguras de vibração de partícula (V_r) em função do tipo de estrutura (IRAMINA, 1997)

| Vp (mm/s) | Efeitos observáveis |
|---|---|
| 600 | geração de novas descontinuidades na própria rocha |
| 300 | quedas de blocos de rocha em galerias e túneis sem revestimento |
| 190 | queda de reboco e formação de trincas em prédios |
| 140 | criação de pequenas novas trincas e abertura de antigas trincas |
| 100 | limite "seguro" para túneis revestidos e para concreto reforçado |
| 50 | limite "seguro" para prédios residenciais de bom estado (construção e manutenção) |
| 30 | severa percepção humana |
| 10 | incômodo para grande parte da população |
| 5 | incômodo para parte da população, algumas reclamações |
| 1 | vibrações apenas perceptíveis |
| <1 | praticamente imperceptível na maioria dos casos |
| Velocidades seguras de vibração de partícula (V_r) em função do tipo de estrutura | |
| Vp (mm/s) | Tipo de estrutura |
| 100 | Classe A: grandes estruturas com reforço |
| 50 | Classe B: edificações novas, bem construídas e em bom estado |
| 25 | Classe C: edificações não novas e com conservação sofrível |
| 13 | Classe D: edificações antigas e em péssimo estado de conservação |

Tabela 4. Critérios de danos segundo alguns autores (IRAMINA, 1997).

| Autor | Vp (mm/s) | Efeitos |
|----------------------------|-------------------|--|
| Langefors et al. (1957) | 71 | dano não perceptível |
| | 109 | pequenas trincas e queda leve de reboco |
| | 160 | fraturas em reboco e em paredes de alvenaria |
| | 231 | sério fraturamento |
| Edwards et al. (1959) | $V_r < 51$ | seguro, sem dano |
| | $51 < V_r < 102$ | cuidado, precaução |
| | $V_r < 102$ | dano |
| Nicholls et al. (1971) | < 51 | nenhum dano |
| | $51 < V_r < 102$ | pequenas trincas em reboco, argamassa ou estuque |
| | $102 < V_r < 178$ | pequenos danos |
| | > 178 | grandes danos a estruturas |

5.2.4.3. Resposta humana às vibrações decorrentes de detonações

Embora tenha havido grandes avanços na tecnologia de detonação de explosivos, os elementos relacionados com a percepção e resposta humana tenderam a permanecer constantes devido à pouca ou nenhuma alteração fisiológica na percepção humana. Esta pouca mudança na fisiologia humana ao longo da história se deve ao fato do homem primitivo usar a sua sensibilidade a sons e pequenas vibrações para ajudar na sua sobrevivência. Isto acabou gerando problemas para as pessoas que vivem em áreas urbanas, sujeitas a uma série de incômodos da era moderna (ruído, poluição, etc.). Porém existem respostas culturais e não culturais, quando não aceitas como é o caso das vibrações do terreno. As mudanças mais atuais com relação à vibração e ruído não estão relacionadas com a fisiologia e percepção humana, mas com litígios e compensações, especialmente nos Estados Unidos. Esta é uma tendência que certamente se espalhará a outros países, inclusive o Brasil.

A Figura 25 mostra os resultados de um trabalho citado pela GOLDER ASSOCIATES (s.d.), baseado em um trabalho experimental do USBM, no qual foram conduzidos testes usando-se vibrações mecânicas senoidais de frequências diferentes e velocidades de vibração de partícula em testes humanos. Uma vez que a frequência das detonações utilizadas nos desmontes situa-se numa faixa média de 10 a 30 Hz, estes dados podem ser utilizados para se determinar o efeito da distância escalonada em função da velocidade de vibração de partícula decorrente de uma detonação sobre as limitações de certas reações humanas. Nesta Figura pode-se observar que as vibrações de um desmonte tornam-se intoleráveis para os humanos em níveis consideravelmente abaixo dos níveis relacionados a danos estruturais. O resultado mostra que as reclamações ocorrem freqüentemente devido à resposta humana e não devido às situações que possam oferecer perigo, sendo que nestes casos a redução do limite de velocidade de vibração de partícula para se controlar a situação é uma boa filosofia, particularmente se tal mudança não produzir dificuldades operacionais. Limites de velocidade de vibração de partícula (V_p) menores ou iguais a 12,7 mm/s (0,5 pol/s) reduzem as reclamações por um fator de três, comparado com um limite de 50,8 mm/s. Segundo o USBM, a porcentagem de pessoas que reclamam sobre vibrações decorrentes de detonações em um local de construção era superior a 30% para velocidades de vibração de 50,8 mm/s, de 10%

para 12,7 mm/s e 1% para 2 mm/s, que está no limiar da faixa de percepção humana.

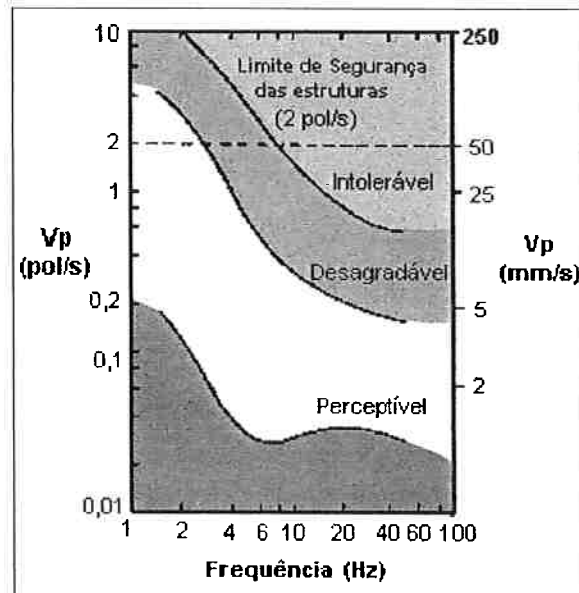


Figura 25. Resposta humana subjetiva às vibrações decorrentes do desmonte por explosivos em gráfico log-log (GOLDER ASSOCIATES, s.d., adaptado do USBM).

5.3. SOBREPRESSÃO ATMOSFÉRICA

Com relação à vibração do ar decorrente de uma detonação, existem dois problemas associados: a sobrepressão atmosférica e o ruído. A sobrepressão atmosférica (ou "air blast") é composta de uma onda de concussão (parte não audível) mais o ruído (parte audível). A onda de concussão ocorre próxima à área de detonação de explosivos, podendo causar danos estruturais como a quebra de vidros das janelas de edificações mais próximas. Sua duração é de poucos milissegundos, aumentando rapidamente para um pico e caindo mais lentamente, seguido por uma rarefação de longa duração, porém com pouca mudança na pressão. O ruído, por sua vez, pode causar incômodos e resultar em reclamações daqueles que estão próximos ao local de detonação, no caso a mina. Uma boa parte das considerações feitas para a vibração do terreno nos itens anteriores também pode ser aplicada à sobrepressão atmosférica de modo que nos itens subseqüentes serão apresentados apenas as informações essenciais ao seu entendimento.

5.3.1. Causas da sobrepressão atmosférica

As causas primárias de uma sobrepressão atmosférica podem ser resumidas em (IRAMINA, 1997):

- O pulso de pressão do ar: causado pelo deslocamento direto da rocha da face livre ou da boca do furo detonado;
- O pulso de pressão da rocha: causado pela vibração do terreno;
- O pulso da liberação de gás: causado pelo escape de gás da detonação pelas fissuras na rocha fraturada;
- O pulso da liberação do tamponamento: causado pelo escape de gás através do tamponamento mal feito.

Até recentemente outras causas comuns da sobrepressão na mineração eram atribuídas à a detonação de cordel detonante sem cobertura apropriada e o desmonte secundário ("fogacho"), sendo este último mais comum em minerações a céu aberto.

5.3.2. Fatores que influenciam a sobrepressão atmosférica

Os principais fatores que governam os efeitos da sobrepressão atmosférica são:

- a) o tipo e a quantidade de explosivo;
- b) o grau de confinamento;
- c) o método de iniciação;
- d) a geologia local e a topografia;
- e) a distância e a condição das estruturas;
- f) as condições atmosféricas.

Os fatores (a), (b) e (c) são variáveis que dependem do controle do operador da mina enquanto que os fatores (d), (e) e (f) são na sua essência incontroláveis em qualquer tipo de localidade, embora por meio da variação do tempo de espera e observações das condições climáticas o operador possa parcialmente diminuir a influência das condições atmosféricas (IRAMINA, 1997).

A propagação da onda de pressão depende das condições atmosféricas, incluindo-se a temperatura, os ventos e a relação pressão barométrica-altitude. Coberturas de nuvens também podem causar a reflexão da onda de pressão de volta para a superfície a uma certa distância do local de detonação. As condições meteorológicas no momento da detonação influem de forma decisiva nos resultados. Alguns dos parâmetros meteorológicos que devem ser considerados são:

- Presença de nuvens baixas;
- Ventos favoráveis ou desfavoráveis (com relação à sua direção);
- Inversões térmicas próximas da superfície.

A Figura 26 dá uma indicação de como a propagação da onda de choque é afetada pela variação da temperatura com a altitude. Por isso é que os problemas de sobrepressão atmosférica podem ser mais severos durante as inversões térmicas.

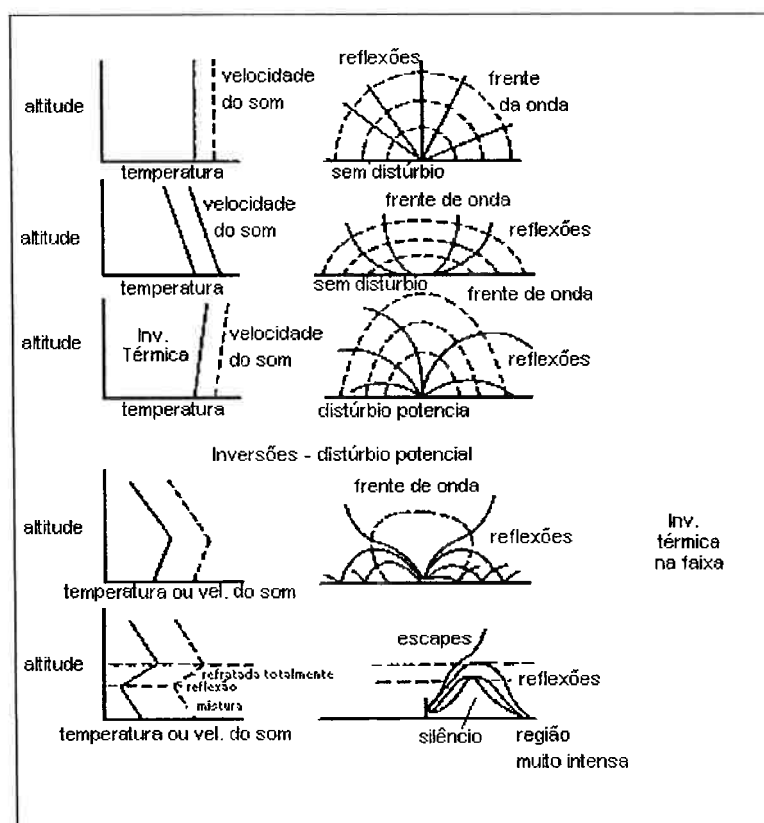


Figura 26. Efeito das condições atmosféricas sobre a sobrepressão atmosférica (Golder Associates, s.d. apud IRAMINA, 1997)

5.3.3. Danos decorrentes da sobrepressão atmosférica.

Segundo Rosenthal e Morlock (1987) há consenso geral entre os especialistas em vibração, órgãos governamentais regulatórios e consultores, de que o primeiro efeito de dano decorrente da sobrepressão atmosférica se dá sob a forma de vidros de janelas quebradas. Janelas grandes e com grande área envidraçada, frentes envidraçadas de lojas, etc. estão mais propensas aos danos do que vidraças de janelas pequenas. Vidraças mal colocadas, pré-tensionadas ou soltas estão mais propensas a quebrar do que vidraças bem colocadas e que não estejam tensionadas. Danos estruturais como o fissuramento de rebocos devido à sobrepressão atmosférica são muito raros, sendo que quando estes ocorrem estão sempre acompanhados da quebra de janelas.

Sobrepressões atmosféricas causam freqüentemente preocupação, aborrecimento e, logicamente, reclamações. Segundo estes mesmos autores quase todos os dados relativos a danos estruturais extensos devidos às sobrepressões atmosféricas são derivados ou de eventos nucleares, ou de acidentes calamitosos como o desastre de Texas City, onde uma carga inteira de nitrato de amônio foi detonada a bordo de um navio em decorrência de um incêndio.

Danos menores como trincas e rachaduras podem ocorrer em conjunção com a quebra extensiva dos vidros da janela. Uma pesquisa do mesmo autor demonstrou que um dano ocasional para uma placa de vidro, que é mais sensível a danos do que um reboco, pode ocorrer a aproximadamente 141 dBL (224 Pa). Uma quebra de uma janela de tamanho normal pode ocorrer ocasionalmente a 151 dBL como pode ser visto na Figura 27.

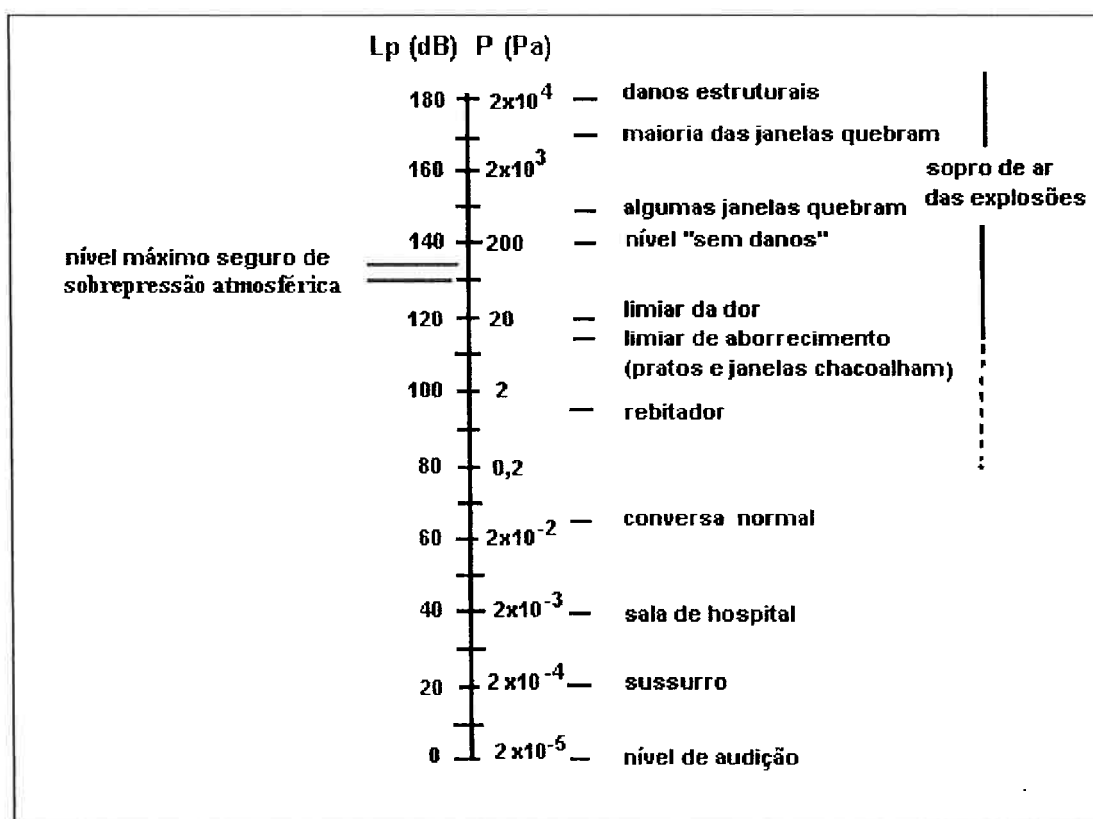


Figura 27. Alguns níveis de ruído a que as pessoas são submetidas segundo o USBM (GOLDER ASSOCIATES, s.d. apud IRAMINA, 1997).

CAPÍTULO 6 – O PROJETO NEFELINA

A mina de nefelina-sienito foi prevista para ser a primeira a explorar este tipo minério no Brasil. Embora sejam conhecidas outras ocorrências, elas ainda não apresentavam (à época da elaboração do seu EIA/RIMA) viabilidade técnica e econômica para o seu aproveitamento como insumo para as indústrias. A nefelina-sienito é uma rocha ígnea onde predomina o mineral nefelina, que é um silicato de alumínio de sódio e potássio usado nas indústrias de vidros, de cerâmica e também empregado como insumo na fabricação de tintas. A rocha de Duque de Caxias contém ainda feldspatos, que também são silicatos de alumínio, de sódio e de potássio e da mesma forma têm usos industriais semelhantes àqueles da nefelina. A abertura desta mina pode representar a auto-suficiência do Estado do Rio de Janeiro na produção de insumos para as indústrias vidreira, cerâmica e de tintas. Além disso, o empreendimento deverá comercializar seus produtos para indústrias consumidoras localizadas em outros estados brasileiros, além de exportar para outros países do hemisfério sul.

A mina será instalada no Distrito de Imbariê, município de Duque de Caxias, nos imóveis denominados Fazenda do Surdo e Sítio Alto Panorama, ambos situados na área rural do município.

A área do empreendimento encontra-se dentro de um raio de 10 km da Reserva Biológica do Tinguá, administrada pelo IBAMA. Parte dos imóveis e parte da poligonal do processo DNPM 890.356/95, estão inseridos na Área de Proteção Ambiental - APA de Petrópolis, também de responsabilidade do IBAMA.

6.1. EMPRESA RESPONSÁVEL PELA ELABORAÇÃO DO EIA/RIMA

A Prominer Projetos S/C Ltda. é empresa de consultoria especializada na área de mineração e meio ambiente, e que vem atuando nestas áreas desde 1985, realizando e desenvolvendo centenas de estudos e projetos ambientais nos estados de Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Pará, e Amazonas e Amapá.

6.2. LOCALIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

A área de interesse situa-se no local denominado Fazenda do Surdo e Sítio Alto Panorama, no distrito de Imbariê, na área rural do município de Duque de Caxias, no Estado do Rio de Janeiro. O empreendimento tem os seus limites físicos estabelecidos pelas seguintes coordenadas geográficas: 22°37'00" e 22°39'00" de latitude sul e entre 43°15'00" e 43°17'00" de longitude oeste.

O acesso à área se dá, a partir da capital do Estado, pela rodovia Washington Luiz ou Rio - Petrópolis (BR-040) até a saída 107, na localidade de Santa Cruz, para em seguida tomar à direita pela Avenida Automóvel Clube. A área localiza-se no número 145 desta via, a cerca de 3,5 km do entroncamento com a rodovia Washington Luiz (PROMINER, 2003a).

Na Figura 28 pode ser observado o mapa de acesso rodoviário e na Figura 29 é apresentado o mapa de localização do empreendimento, na escala 1:50.000, com a poligonal DNPM 890.356/95, onde a empresa interessada pretende efetuar a lavra e beneficiamento de nefelina-sienito, exclusivamente nas propriedades denominadas Fazenda do Surdo e Sítio Alto Panorama. As Figuras 30 e 31 apresentam as áreas de lavra estudadas para a implantação da mina de nefelina-sienito.

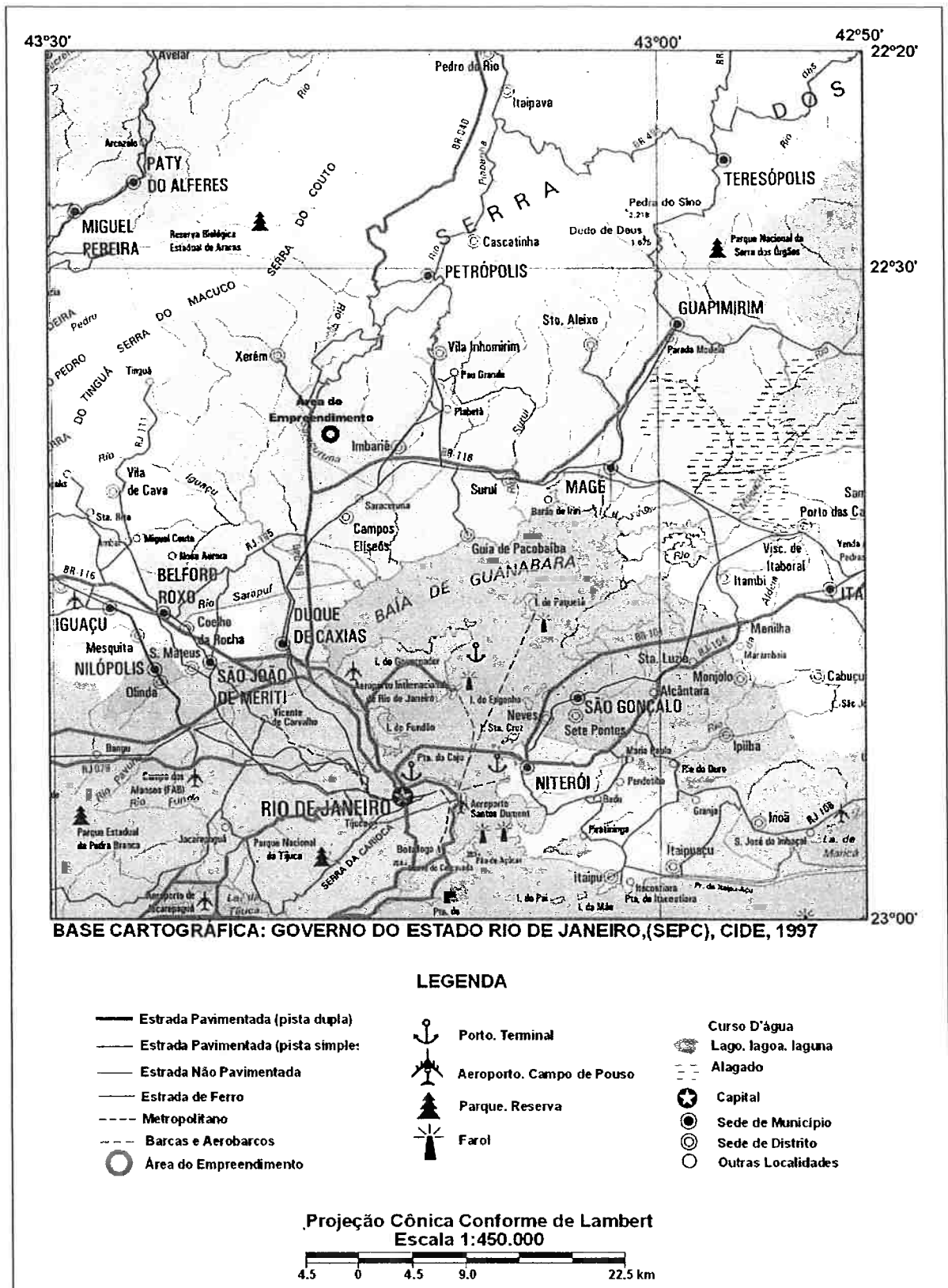


Figura 28. Mapa de acesso rodoviário ao empreendimento (PROMINER 2003a).

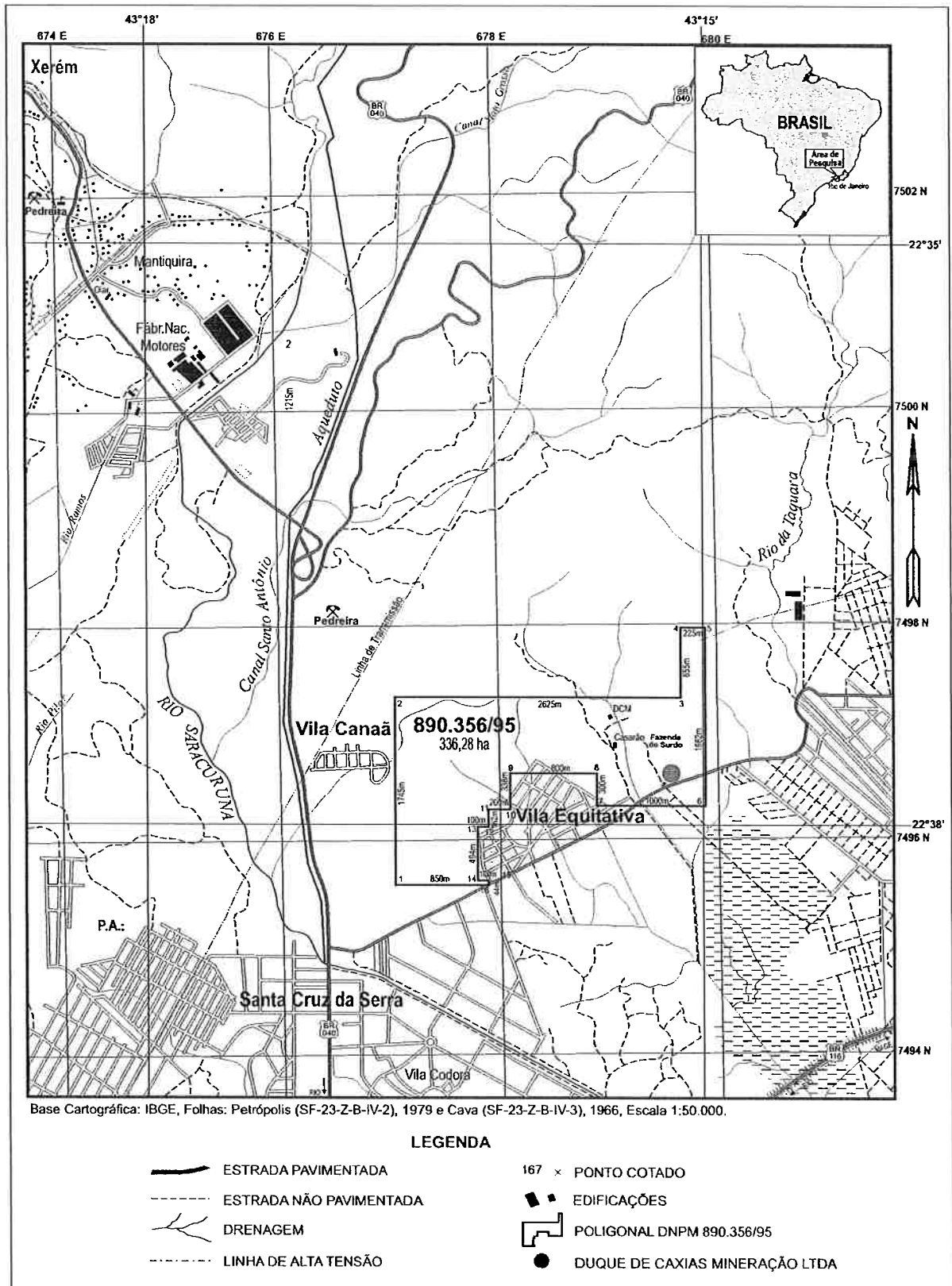


Figura 29. Mapa de localização do empreendimento (PROMINER 2003a).



Figura 30. Área inicialmente prevista para a lavra a céu aberto na Fazenda do Surdo, vista do Bairro do Barro Branco (PROMINER 2003a).

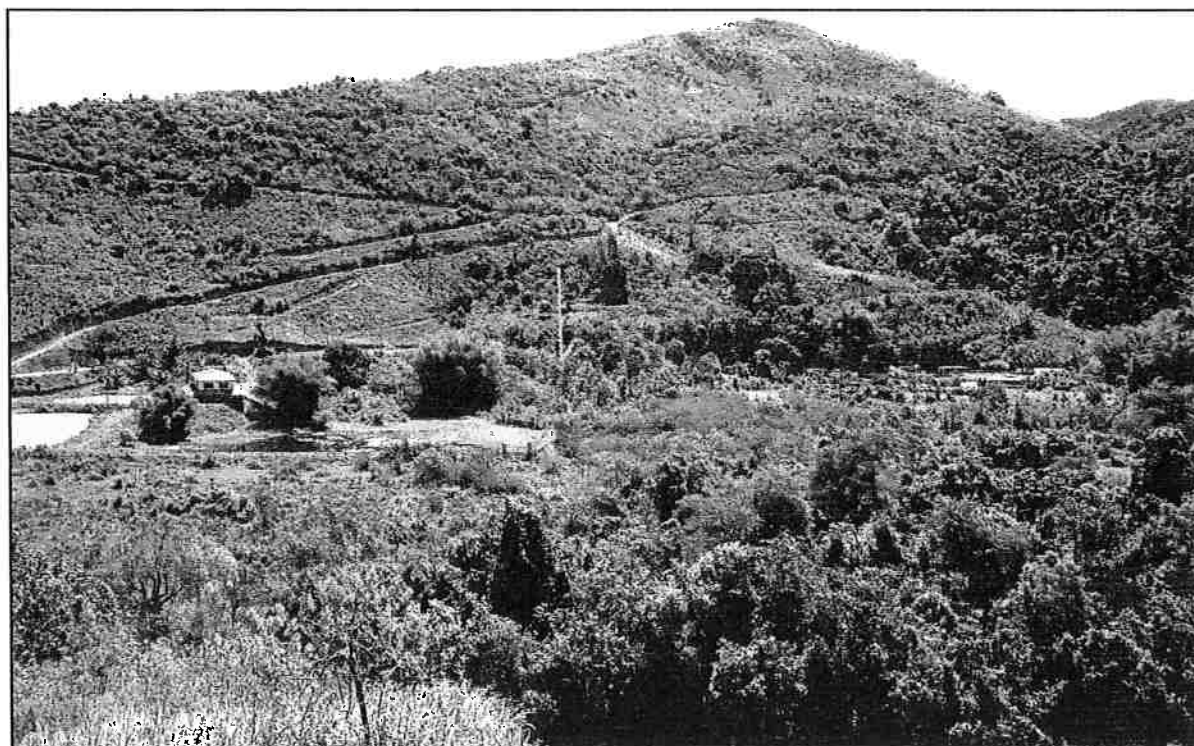


Figura 31. Área onde será a embocadura da mina subterrânea que se desenvolverá na encosta que aparece na foto e que dá para a Fazenda do Surdo (PROMINER 2003a).

6.3. LEGISLAÇÃO INCIDENTE

Os aspectos jurídicos ambientais associados ao empreendimento mineral proposto devem situá-lo com relação à legislação a ser observada para a obtenção do licenciamento ambiental. O conhecimento da legislação é pertinente, pois pode apontar as principais questões jurídicas que eventualmente possam ser levantadas para área estudada, demonstrando aos órgãos públicos a preocupação do projeto no atendimento às normas legais, assim como acatar as suas decisões.

Deste modo, para este estudo, os principais documentos legais sobre o empreendimento nas esferas federal, estadual e municipal foram levantados. Como o conjunto de leis e regulamentos ambientais é bastante extenso, não é objetivo do trabalho mencioná-los na sua totalidade, sendo portanto, apresentados somente os dispositivos legais mais relevantes.

Em nível federal devem ser observados particularmente o artigo 225 da Constituição Brasileira, o Código Florestal (Lei nº 4.771 de 15/09/65 e alterações posteriores), Decretos e Leis referentes ao licenciamento ambiental, bem como as Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA e principalmente as legislações referentes às Unidades de Conservação da REBIO do Tinguá e da Área de Proteção Ambiental – APA de Petrópolis.

Na esfera estadual, devem ser observados, especialmente o Capítulo VIII da Constituição, relativo ao meio ambiente, o Decreto 1633/77, o Decreto-Lei 134/75, a Lei 1356/88, além das Diretrizes, Instruções Técnicas, Normas Administrativas e Deliberações da Comissão Estadual de Controle Ambiental - CECA relativas ao licenciamento ambiental para atividades minerárias. No Estado do Rio de Janeiro, a Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente – FEEMA orienta a realização de cada EIA por Instrução Técnica Específica – ITE, a qual é elaborada de acordo com os critérios da Diretriz DZ-041, considerando as peculiaridades de cada projeto, as características ambientais da área e a magnitude dos impactos. Para o empreendimento em questão foi elaborada pela FEEMA a ITE nº 17/2003 de 08 de agosto de 2003 (PROMINER 2003a). Já com relação à legislação municipal, devem

ser consideradas as restrições de uso e ocupação do solo apontadas no Plano Diretor do Município de Duque de Caxias e nas Certidões de Uso do Solo expedidas para a área do empreendimento.

O Anexo 1 apresenta os itens mais relevantes dos principais instrumentos legais. As Unidades de Conservação existentes nas imediações da área do empreendimento criadas por atos específicos, serão apresentadas na seção seguinte.

6.4. UNIDADES DE CONSERVAÇÃO

A legislação brasileira estabelece condições especiais de proteção das unidades de conservação e impõe restrições ao uso do solo e dos recursos naturais em seu entorno. O município de Duque de Caxias, com 442 km² de extensão tem parte de seu território incluído em Unidades de Conservação Federal. Parte da área compreendida na porção norte do município está inserida na Reserva Biológica de Tinguá e parte de seu território situado na porção oeste está inserida na Área de Proteção Ambiental de Petrópolis. Estas duas unidades de conservação são administradas pelo IBAMA.

A APA de Petrópolis foi criada pelo Decreto Federal nº 87.561, de 13/09/1982. De acordo com a Resolução CONAMA nº 10, de 14/12/1988, as Áreas de Proteção Ambiental são Unidades de Conservação destinadas a proteger e conservar a qualidade ambiental e os sistemas naturais ali existentes, visando a qualidade de vida da população local e também a proteção dos ecossistemas regionais. Esta Resolução também determina que as APA's terão sempre um zoneamento ecológico-econômico além de ter uma zona de vida silvestre, onde é proibido ou regulado o uso dos recursos naturais. Dentro da APA de Petrópolis há duas zonas de vida silvestre que se encontram a mais de 18 km do empreendimento e que não serão afetadas de forma alguma pelas atividades minerárias previstas (PROMINER, 2003).

A Reserva Biológica (REBIO) do Tinguá foi criada pelo Decreto Federal nº 97.780, de 23/05/89, compreendendo parte das terras dos municípios de Nova Iguaçu e Duque de Caxias. De acordo com a empresa (PROMINER, 2004) a área onde se

pretende implantar o empreendimento está localizada num raio de 7,5 km dos limites da REBIO do Tinguá.

O Parque Nacional (PARNA) da Serra dos Órgãos é outra unidade de conservação existente nas proximidades, localizado à nordeste, mas distante cerca de 18 km da área do futuro empreendimento, compreende áreas dos municípios de Magé e Petrópolis e é administrado pelo IBAMA.

A Reserva Biológica de Araras, outra unidade de conservação das imediações, está situada a cerca de 17 km da área de estudo. Desde 31/03/1989, de acordo com o Decreto Estadual nº 12.814, a reserva é administrada pela Fundação Instituto Estadual de Florestas do Estado do Rio de Janeiro.

De acordo com a Lei 9985/2000, três das unidades de conservação localizadas na região integram o Grupo das Unidades de Proteção Integral, a saber: as REBIOs do Tinguá e Araras e o PARNA da Serra dos Órgãos. O objetivo básico das Unidades de Proteção Integral é preservar a natureza, sendo admitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais. Assim, a Reserva Biológica tem como objetivo a preservação integral da biota e demais atributos naturais existentes em seus limites, sem interferência humana direta ou modificações ambientais, excetuando-se as medidas de recuperação de seus ecossistemas alterados e as ações de manejo necessárias para recuperar e preservar o equilíbrio natural, a diversidade biológica e os processos ecológicos naturais. Por outro lado, o Parque Nacional tem como objetivo básico a preservação de ecossistemas naturais de grande relevância ecológica e beleza cênica, possibilitando a realização de pesquisas científicas e o desenvolvimento de atividades de educação e interpretação ambiental, de recreação em contato com a natureza e de turismo ecológico.

A APA de Petrópolis, unidade de conservação mais próxima ao local onde se pretende implantar o empreendimento, integra o Grupo das Unidades de Uso Sustentável (Artigo 14 da Lei 9985/00). A Área de Proteção Ambiental é uma área em geral extensa, com um certo grau de ocupação humana, dotada de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais especialmente importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas, e tem como objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais.

Para reparar danos ambientais de significativo impacto ambiental, fundamentados em EIA/RIMA, a Resolução CONAMA 02/96 determina como um dos requisitos a serem atendidos pela entidade a ser licenciada, deverá providenciar a implantação de uma Unidade de Conservação ou ainda o “custeio de atividades ou aquisição de bens para Unidades de Conservação”, cujo montante nunca deverá ser inferior à 0,5% dos custos de implantação do empreendimento. Quanto à Lei 9985/00, no Artigo 36 é determinada a obrigatoriedade do apoio à implantação e manutenção de Unidades de Conservação pertencentes ao Grupo de Proteção Integral. De acordo com o § 3º do Artigo 36 da Lei 9985/00, as Unidades de Conservação não pertencentes ao Grupo de Proteção Integral também poderão ser beneficiadas pela compensação definida nesse Artigo (não inferior a 0,5% dos custos totais previstos para a implantação do empreendimento).

Conforme estabelecido na Resolução CONAMA 13, de 13/06/1990, qualquer atividade localizada nesta faixa de 10km ao redor das Unidades de Conservação Integral e que possa afetar a biota, deverá ser licenciada pelo órgão ambiental competente. Desta forma, a interessada já solicitou a anuência ao IBAMA, por se encontrar a 7,5 km dos limites da Reserva Biológica do Tinguá e também parcialmente inserida nos limites da APA de Petrópolis, com a qual o empreendimento interferirá diretamente, devido a lavra estar situada na projeção dos limites estabelecidas pela APA de Petrópolis. Deve-se destacar que sendo subterrânea a área de lavra, não haverá interferência direta com a APA de Petrópolis.

6.5. HISTÓRICO DO EMPREENDIMENTO

O projeto estudado neste trabalho evoluiu a partir de investigações geológicas iniciadas na década de 70. Em 1995 foi solicitado ao Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM, nos termos do Código de Mineração (Decreto-Lei 227, de 28/02/1967) autorização para realizar trabalhos de pesquisa mineral em uma área de 336,28 ha. Este pedido foi subscrito pela empresa Hecla Minerais Industriais do Brasil Ltda.. A autorização de pesquisa foi concedida através do Alvará nº 960, DOU de 21/05/1997. Realizados os trabalhos de pesquisa a empresa apresentou ao DNPM o Relatório Final de Pesquisa, em 24/08/2001. Uma vez comprovada a

existência de reservas minerais passíveis de aproveitamento econômico, a empresa, atendendo o Código de Mineração, apresentou um pedido de autorização de lavra, instruído com um estudo técnico denominado Plano de Aproveitamento Econômico, apresentado ao DNPM em 04/12/2002. Este plano, depois de aprovado pelo DNPM, resultou na emissão de uma Portaria de Lavra, documento do Ministério das Minas e Energia que autoriza a empresa a implantar o projeto descrito e a extrair e comercializar o minério. No entanto, a legislação ambiental determina que a Portaria de Lavra somente pode ser concedida mediante apresentação da Licença Ambiental, emitida pelo órgão competente, no caso, a FEEMA. Desta forma o DNPM já analisou o requerimento de lavra aprovando o Plano de Aproveitamento Econômico e expediu a minuta da Portaria de Lavra, aguardando a apresentação da Licença Ambiental para expedição da Portaria de Lavra. Porém, durante os trabalhos de Licenciamento Ambiental, como forma de reduzir os impactos ambientais advindos das atividades de lavra, a requerente viu a necessidade de realizar novas pesquisas e estudos técnicos e de viabilidade econômica através do desenvolvimento da lavra por via subterrânea. Desta forma, está sendo apresentado o presente Relatório de Reavaliação de Reservas e Novo Plano de Aproveitamento Econômico prevendo as atividades de lavra subterrânea nos corpos da jazida de nefelina-sienito da Fazenda do Surdo. (PROMINER, 2004)

Os estudos ambientais, geológicos e tecnológicos desenvolvidos pela empresa permitiram viabilizar uma nova alternativa, passando de lavra a céu aberto por bancada para uma lavra subterrânea (posteriormente alterada) que se mostrou melhor em termos técnicos, econômicos e ambientais. Um resumo da evolução dos trabalhos mais recentes é apresentado na seqüência (PROMINER, 2004):

1. Obteve-se em 21 de maio de 1997, por intermédio do Alvará de Pesquisa Mineral nº 960/97, autorização para pesquisar, por um período de 3 (três) anos, nefelina-sienito em área localizada no Município de Duque de Caxias, Estado do Rio de Janeiro. Em 25 de agosto de 2000, o Alvará de Pesquisa Mineral nº 960/97 foi prorrogado por 1 (um) ano. As Licenças Ambientais de pesquisa foram obtidas perante a FEEMA e são válidas até 2007.
2. Após a realização da pesquisa geológica foi apresentado o respectivo Relatório Final de Pesquisa Mineral em 24 de agosto de 2001, com reservas minerais de nefelina-sienito cubadas em dois blocos denominados setor leste e setor oeste.

3. Em 28 de janeiro de 2002 foi publicada no "Diário Oficial da União" a aprovação do referido Relatório Final de Pesquisa Mineral, com redução de área, que passou a ter 336,28 ha.
4. Em 04 de dezembro de 2002, a Requerente apresentou ao DNPM o Requerimento de Lavra devido com o Plano de Aproveitamento Econômico - PAE, o qual prevê a lavra a céu aberto do corpo de nefelina-sienito situado no setor leste da poligonal do processo DNPM 890.356/1995.
5. Após a apresentação do Requerimento de Lavra e durante a elaboração dos estudos de impacto ambiental para licenciamento das atividades, a Requerente verificou que a lavra subterrânea poderia apresentar-se como alternativa mais interessante do que a lavra a céu aberto no setor leste da jazida. Isso porque, a proximidade da lavra a céu aberto com a comunidade do entorno e a necessidade de se remover grandes volumes de capeamento tornariam a lavra subterrânea uma alternativa mais interessante sob os pontos de vista técnico e ambiental.
6. A Requerente viu a necessidade de realizar novos estudos técnicos e de viabilidade econômica na área, enfocando a nova forma de exploração mineral. Os estudos realizados durante a vigência do Alvará de Pesquisa já demonstravam a existência de uma jazida mineral lavrável, tendo sido comprovada a viabilidade de se proceder ao aproveitamento econômico das reservas apresentadas no Relatório Final de Pesquisa, aprovado em 28 de janeiro de 2002. No entanto, por motivos que não eram possíveis de se identificar durante a fase da pesquisa geológica, tais como as razões ambientais surgidas em tratativas com a comunidade local e com os órgãos estaduais e municipais competentes, foi necessária uma revisão do PAE para se verificar a viabilidade também da lavra subterrânea nos corpos de minério.
7. Dessa forma, a Requerente submeteu em 13 de novembro de 2003 à consideração do DNPM sua intenção de conduzir um programa complementar de pesquisa mineral na área do processo acima citado, utilizando-se de métodos convencionais de pesquisa mineral, de investigação de sub-superfície na área do processo DNPM 890.356/1995.

O programa de pesquisa foi conduzido a partir de 18 de março de 2004, quando foi publicada no Diário Oficial da União (DOU) a aprovação, pelo prazo de 180 dias, tendo por finalidade avaliar a possibilidade de aproveitamento da jazida de nefelina-sienito, pelo método de lavra subterrânea.

Estes foram basicamente os documentos utilizados neste trabalho a respeito do Projeto Nefelina, muitas das informações são repetidas no último Relatório de Reavaliação de Reservas e no Novo Plano de Aproveitamento Econômico, que contém os resultados da pesquisa e dos estudos realizados, e avalia a possibilidade de realizar a lavra subterrânea (PROMINER, 2004).

6.6. RESERVAS E VIDA ÚTIL

Os corpos de nefelina-sienito que ocorrem na Fazenda do Surdo, ao norte da localidade de Barro Branco, foram identificados como depósitos minerais que podem ser desenvolvidos como fonte comercial de nefelina-sienito para indústrias brasileiras de vidros, cerâmicas, porcelanas e tintas. Esta jazida provou ser comercialmente viável e as reservas foram determinadas a partir de uma modelagem computacional baseada em dados geológicos, principalmente aqueles provenientes de sondagens diamantadas. Assim como o método de lavra, que sofreu diversas modificações ao longo do processo de licenciamento ambiental apresentadas nos diversos documentos, o mesmo ocorreu com as reservas, que foram evoluindo à medida que novos estudos eram providenciados e que são apresentadas na seqüência.

6.6.1. Reservas iniciais

Os valores iniciais de reserva medida, indicada e lavrável, de acordo com as informações contidas no RAP, são apresentados na Tabela 5. As reservas medidas e indicadas devem ser consideradas como reserva mínima, uma vez que todo o maciço é sienítico. Por sua vez, as reservas lavráveis foram separadas de acordo com a sua área de localização, onde diques de diabásio, com espessura variando de 0,1 m a alguns metros, cortam os corpos de sienito cubados. Devido às várias opções de lavra (desde taludes a céu aberto até pilares de lavra subterrânea e os diques de diabásio), foi feita uma estimativa de perda avaliada em 30% das

reservas, com o resultado desta perda sendo considerada como reservas lavráveis (PROMINER, 2004).

Tabela 5. Reservas cubadas no início (PROMINER, 2003a)

| Reservas | Corpo Oeste Sienito-Nefelínico (t) | Corpo Leste Sienito-Nefelínico (t) |
|--------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| MEDIDA | 19.054.889 | 7.104.370 |
| INDICADA | 32.650.188 | 17.893.792 |
| LAVRÁVEIS | 13.338.422 | 4.973.059 |
| TOTAL | 65.043.499 | 29.971.221 |

A cubagem das reservas geológicas foi estabelecida a partir da cubagem total do minério de formação geológica contendo nefelina, onde se considerou um capeamento com 25m de espessura média baseado em dados foram obtidos a partir de trabalhos de sondagem. A densidade encontrada da para o minério de nefelina foi de 2,67t/m³.

Foi também estimada nos trabalhos de pesquisa geológica uma quantidade de estéril total de 5.286.500m³. No entanto, conforme descrito a seguir, a reserva lavrável foi calculada apenas como uma fração das reservas geológicas, em virtude das condições econômicas, geotécnicas e ambientais estabelecidas para a exploração da jazida.

Como nesta etapa de trabalhos as reservas lavráveis eram da ordem de cerca de 5 milhões de toneladas de minério, "in situ"; considerando-se uma produção média prevista na mina de 142.000t/ano, foi estimada uma vida útil de mais de 35 anos O volume de material estéril proveniente da decapagem da jazida correspondia a 1,5 milhões de metros cúbicos. Lembrando ainda que a opção pela lavra a céu aberto (por bancadas) foi descartada numa etapa subsequente (PROMINER, 2004).

6.6.2. Nova modelagem da jazida e reavaliação das reservas

Durante a modelagem da jazida, em uma nova etapa de trabalhos, foi feita a reavaliação das reservas baseada na construção de perfis geológicos que possibilitaram a construção e a interpretação tridimensional do depósito.

Todos os testemunhos de sondagem foram descritos e amostrados para determinar mineralogia, tamanhos de grãos e estrutura. As amostras coletadas das perfurações foram submetidas a ensaios de operações unitárias de beneficiamento (britagem, peneiramento e separação magnética) de modo a se obter um produto final com as especificações desejadas.

Nesta nova interpretação dos dados, foi calculada uma Reserva Medida de 76.031.000 t de minério de nefelina-sienito que corresponderá, após o seu processamento, a 44.859.000 t de produto final de areia de nefelina, com teores médios ponderados de 22,0 % Al_2O_3 e 0,099 % para Fe_2O_3 (PROMINER, 2004).

Foi utilizado um modelo tridimensional computacional para a avaliação mais precisa das reservas (MineSight IM Version 3.00-2, @Mintec Inc.) sendo gerado um banco de dados com os resultados de laboratório, bem como com as descrições dos furos e tendo como resultado final deste processo o sólido que representava o corpo mineralizado em três dimensões.

Nas Figuras 32 e 33 estão apresentadas duas vistas do corpo mineralizado de nefelina-sienito, tomadas a partir do programa computacional utilizado para a modelagem geológica e planejamento de lavra.

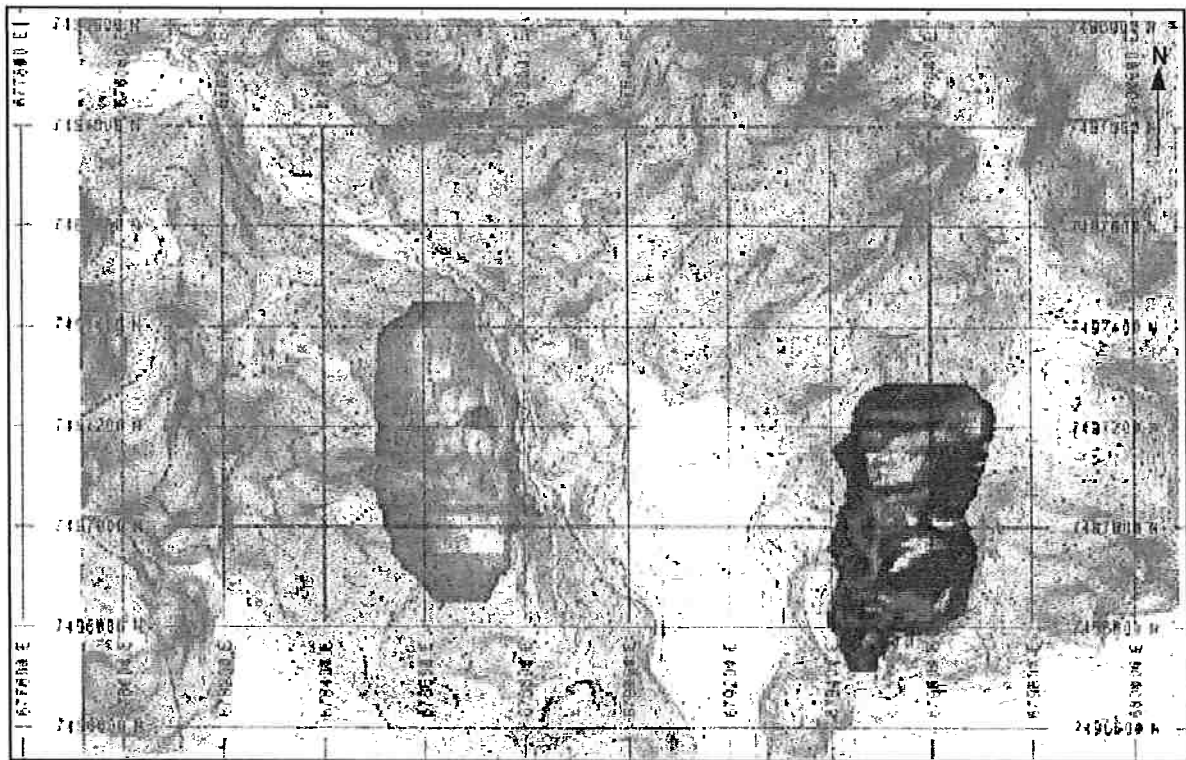


Figura 32. Vista em planta do corpo mineralizado de nefelina (PROMINER, 2004).

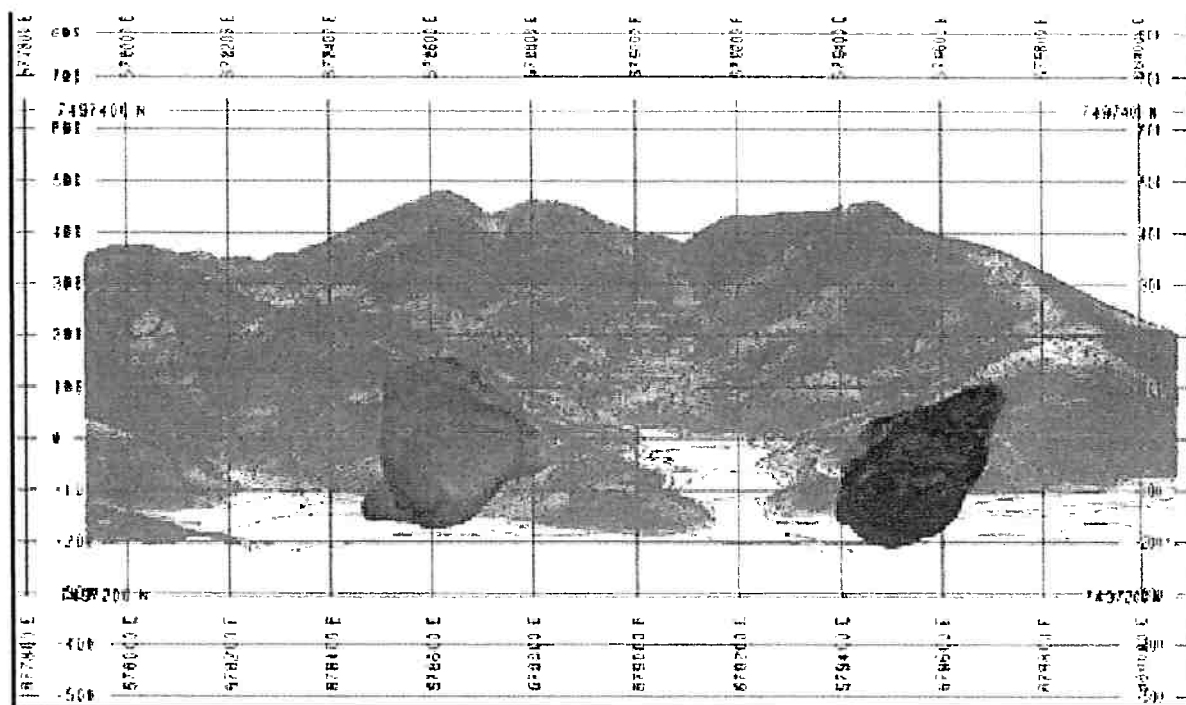


Figura 33. Vista frontal (de sul para norte) do corpo mineralizado de nefelina (PROMINER, 2004).

Foi aplicada a metodologia geoestatística de krigagem ordinária em blocos que tem como base a etapa inicial de variografia, quando se obteve o modelo de

continuidade espacial para a variável em estudo. A partir disso pôde-se então estimar, para cada variável de interesse, valores em blocos entre os furos, interpolando a partir de pesos atribuídos a valores de amostras vizinhas ao bloco a ser estimado. Esses pesos, por sua vez, dependem da direção e alcance (dimensão da continuidade espacial) dos modelos variográficos. Assim, com a associação de metodologia de construção de sólidos através da união da interpretação de seções, foi criado o envelope mineralizado e construído o modelo de blocos. Esse modelo de blocos possibilitou então a obtenção do quadro de reservas para a jazida em estudo, quantitativa e qualitativamente, tanto em termos globais, para a jazida com um todo, como para um determinado segmento desta, em particular (PROMINER, 2004).

6.6.2.1. Depósito Oeste

6.6.2.1.1. Reserva Medida - Depósito Oeste

Os parâmetros para o cálculo das toneladas de minério neste depósito, a partir do modelo de bloco tridimensional, são: o tamanho do bloco [10 metros (Leste), 10 metros (Norte) e 10 metros (Elevação)]; o número de Blocos (dentro da zona de minério) = 14559,6 (número de blocos é fracionário devido à percentagem de minério em blocos); o peso específico = 2,668 (g/m³) (PROMINER, 2004).

$$\begin{aligned}
 \text{TLPF}^* &= \text{número de blocos} * \text{volume por bloco (m}^3\text{)} * \text{peso específico (g/m}^3\text{)} \\
 &= 14.559,6 \text{ blocos} * (10 \text{ m} * 10 \text{ m} * 10 \text{ m}) * 2,668 \text{ g/cm}^3 \\
 &= 14.559,6 \text{ blocos} * (1000 \text{ m}^3) * 2,668 \text{ g/cm}^3 \\
 &= \sim 38.845.000 \text{ t}
 \end{aligned}$$

(* Tonelagens líquidas de produto final)

6.6.2.1.2. Reserva Indicada - Depósito Oeste

Ainda não determinada.

6.6.2.2. Depósito Leste

6.6.2.2.1. Reserva Medida - Depósito Leste

Os parâmetros para o cálculo das toneladas neste depósito, a partir do modelo de bloco tridimensional, são os mesmos listados acima para o Depósito Oeste.

$$\begin{aligned}
 \text{TLPF}^* &= \text{número de blocos} * \text{volume por bloco (m}^3\text{)} * \text{peso específico (g/m}^3\text{)} \\
 &= \text{número de blocos} * \text{volume por bloco (m}^3\text{)} * \text{peso específico (g/m}^3\text{)} \\
 &= 13.938 \text{ blocos} * (10 \text{ m} * 10 \text{ m} * 10 \text{ m}) * 2,668 \text{ g/cm}^3 \\
 &= 13.938 \text{ blocos} * (1000 \text{ m}^3) * 2,668 \text{ g/cm}^3 \\
 &= \sim 37.186.000 \text{ t}
 \end{aligned}$$

(* Tonelagens líquidas de produto final)

6.6.2.2.2. Reserva Indicada - Depósito Leste:

A porção norte deste depósito não foi incluída no modelo geológico, devido à escassez de informações existentes (5 furos), contrapondo ao restante do depósito, e ao caráter exploratório dos furos executados, com uma menor densidade de furos por área considerada. Mesmo assim, foi possível depreender uma continuidade do mesmo corpo para norte, com base nestes e em outros furos e afloramentos em áreas adjacentes. Desta forma, optou-se por incluir essa região na categoria de reserva indicada, com a estimativa do montante dessa reserva obtida da seguinte forma: (i) tomou-se a área ocupada pelo sólido principal, e o total de reservas correspondentes; (ii) calculou-se a área atribuída como extensão para norte deste depósito, com base nos furos e feições de campo ocorrentes. (iii) assumindo-se a persistência da mesma morfologia do corpo mineralizado para norte, com mesmo padrão de rugosidade média, pôde-se estimar proporcionalmente as reservas indicadas, nesta porção da área (vide mapa geológico de detalhe). Reserva Indicada: 37.186.000t x 0.45547 (fator de aproximação, que indica que a área ocupada em planta dessa porção ao norte corresponde a 45,547% da área planimetrada para o depósito leste): ~16.937.000 t.

Na Tabela 6 é apresentado o quadro-resumo das reservas para a jazida como um todo, incluindo os depósitos Leste e Oeste:

Tabela 6. Reservas medidas de nefelina-sienito (PROMINER, 2004)

| Jazida | Reserva Medida (t) | Reserva Indicada (t) | Totais (t) |
|--------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| Setor Leste | 38.845.000 | 16.937.000 | 55.782.000 |
| Setor Oeste | 37.186.000 | — | 37.186.000 |
| TOTAL | 76.031.000 t | 16.937.000 t | 92.968.000 t |

6.7. ATIVIDADES PRODUTIVAS E PLANEJAMENTO DE LAVRA

Este item contém as informações necessárias ao entendimento da evolução do planejamento de lavra como a escolha do método de lavra e as atividades associadas à execução do método.

6.7.1. Primeira opção: lavra a céu aberto

O método de lavra inicialmente selecionado pela empresa foi o método a céu aberto, com desmonte por explosivos e avanço em meia encosta. A cava seria feita desde a cota 150m até a 20m com uma escala de produção de minério (ROM) estimada em 12.000t/mês ou o correspondente a 7.200m³/mês.

As operações de lavra planejadas nesta etapa foram aquelas a partir do desenvolvimento da mina até a britagem e estocagem do minério na pilha pulmão, localizada no pátio da planta de beneficiamento. Deve-se ressaltar que o planejamento de lavra apresentado para o método a céu aberto foi conceitual e o detalhamento em nível operacional para vida útil do empreendimento deveria ser executada pela equipe técnica da empresa e consultores especializados.

6.7.1.1. Preparação da frente de lavra

A preparação da frente de lavra consistia basicamente na abertura de vias de acesso para os equipamentos de produção (perfuratriz, compressor, pá-carregadora, caminhão, etc.) e da remoção do capeamento estéril.

O capeamento com cerca de 25 m de espessura como citado anteriormente, seria removido das frentes de lavra e estocado no bota-fora da porção sudoeste da propriedade ao longo da Avenida Automóvel Clube. O transporte deveria ser realizado por caminhões basculantes convencionais. Previa-se que a área de

deposição de estéril (bota-fora) também serviria como barreira física e visual para o empreendimento podendo ser revegetado com espécies de rápido crescimento.

Na Figura 34 está apresentada a configuração final da lavra a céu aberto projetada inicialmente para o empreendimento.

O acesso principal para a área de lavra foi projetado com uma rampa média de 10% e 10m de largura sendo adequado ao transporte por caminhões basculantes convencionais.

A Figura 35 apresenta o plano de implantação do empreendimento.

As operações de lavra seriam realizadas através de desmonte por explosivos, onde seriam removidos o material desmontado, assim como o capeamento, através de pá-carregadeira e caminhões convencionais para transporte até a unidade de beneficiamento ou para os bota-foras no caso dos minerais estéreis.

A perfuração da rocha ocorreria por meio de perfuratriz pneumática sobre carreta, alimentada por um compressor portátil e dotada de coletor de pó para minimização de emissão de particulado. Uma vez perfurada a malha estabelecida, deveria se proceder ao carregamento dos furos com explosivos e ligação entre os mesmos com cordel detonante, retardos e espoletas do tipo "não-elétricas" denominadas.

A altura da bancada média prevista era de 15m, com inclinação de talude de 10°. A razão de carregamento foi estimada em 300g/t, para uma malha de perfuração de 3m x 2m.

Para produção de 142.000 toneladas por ano de minério (ROM) era prevista uma detonação semanal de 1500m³ de rocha, onde os blocos de rocha maiores (matacões), resultantes da detonação, seriam desmontados por rompedor hidráulico ao invés de fogachos.

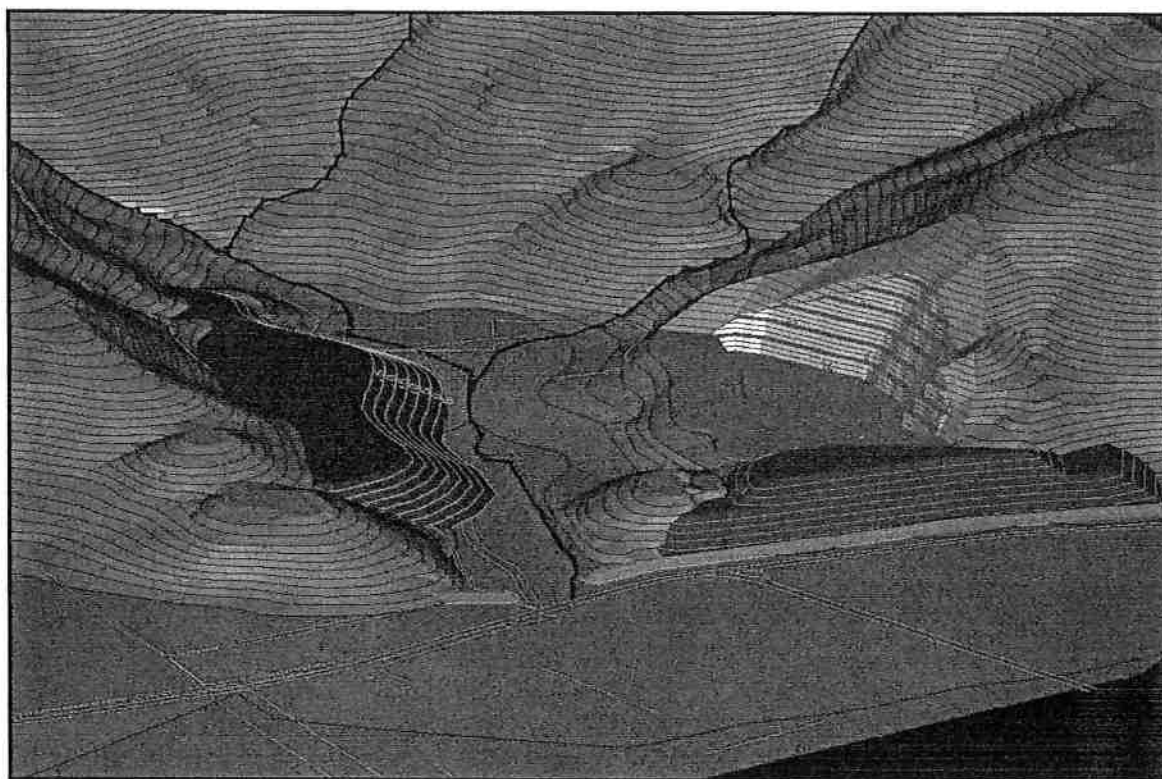


Figura 34. Configuração final da cava em meia encosta projetada (PROMINER, 2003a)

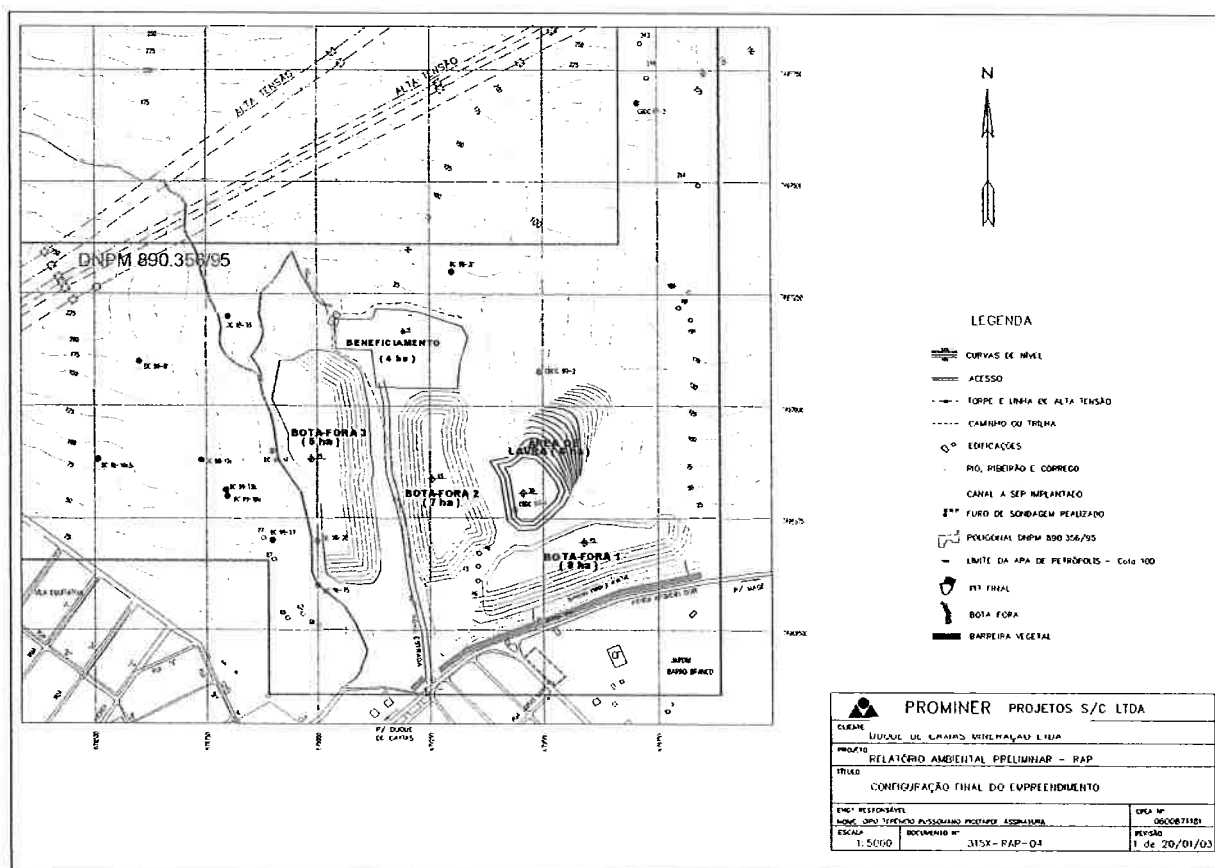


Figura 35. Plano de implantação do empreendimento para opção a céu aberto (PROMINER, 2003a).

6.7.2. Opção pela Lavra Subterrânea

Numa etapa intermediária, posteriormente à escolha da lavra a céu aberto, optou-se pela lavra subterrânea (conforme exposto no item 6.5) onde foi previsto primeiramente começar a lavra a partir da mina oeste (Figuras 36 e 37).

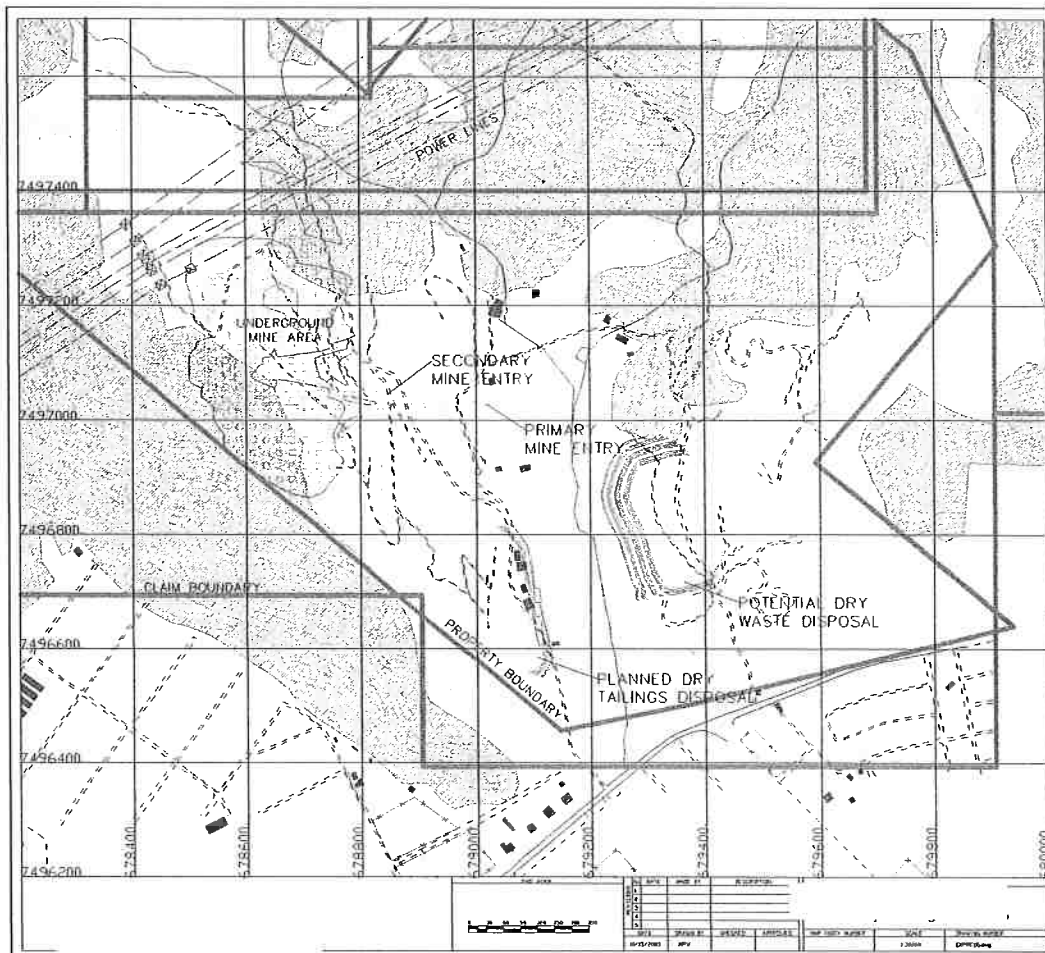


Figura 36. Plano de implantação do empreendimento para opção Mina subterrânea Oeste (PROMINER, 2003b).

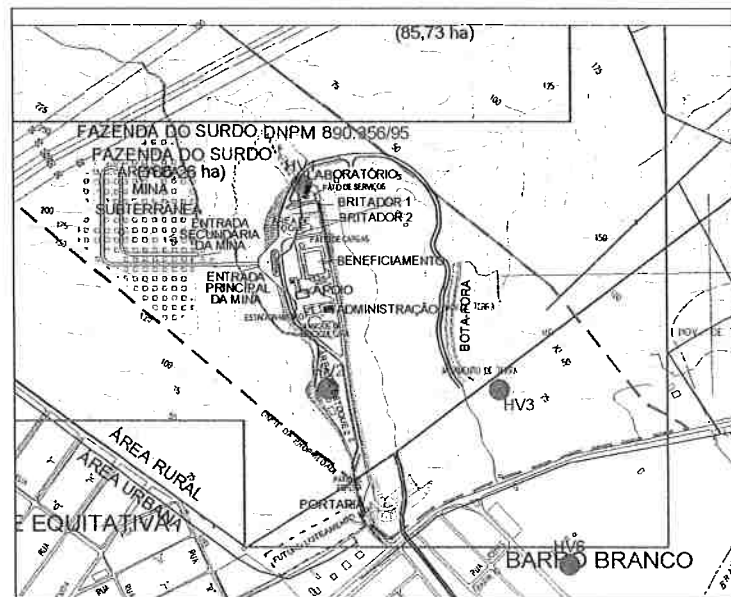


Figura 37. Opção de lavra imediatamente posterior à lavra a céu aberto e descartada depois (PROMINER, 2003b).

Após uma nova avaliação, optou-se fazer a lavra através de 2 minas subterrâneas (Leste e Oeste) começando pela lavra na Mina Leste.

Como explicado, a empresa realizou novos estudos, que foram apresentados em novos documentos (Relatório de Reavaliação de Reservas e Novo Plano de Aproveitamento Econômico - PAE), mais adequados e com as devidas considerações técnicas e econômicas. Baseado no Novo PAE das minas de nefelina-sienito, ao processo DNPM 890.356/95, em substituição ao PAE protocolado no DNPM em 04 de dezembro de 2002.

Neste novo planejamento, o projeto passou a consistir de duas minas subterrâneas, a serem implantadas nos dois corpos da jazida de nefelina-sienito, juntamente com a usina de beneficiamento. O empreendimento estava previsto para ser implantado na área denominada Fazenda do Surdo, localizada no município de Duque de Caxias, no Estado do Rio de Janeiro, na área referente ao processo DNPM 890.356/95.

6.7.2.1. Estudo comparativo

Inicialmente foi executado um estudo comparativo entre a lavra a céu aberto e a lavra subterrânea, onde foram contemplados os seguintes aspectos: relação de

mineração, ou seja, a relação estéril/minério e os teores limites de corte (mínimo), dentro da fórmula:

$$R = \frac{C_{ms} - C_{ca}}{C_e} \quad (3)$$

onde, **R**: relação de mineração (relação estéril/minério);
C_{ms}: custo de lavra subterrânea de uma unidade mássica;
C_{ca}: custo de lavra a céu aberto de uma unidade mássica;
C_e: custo de lavra do estéril.

Neste estudo, apesar de os custos da lavra a céu aberto serem ligeiramente inferiores aos custos da lavra subterrânea, devido a proximidade da jazida a uma zona urbana, optou-se pela segunda alternativa. De acordo com a empresa, a lavra subterrânea traria menores impactos ambientais, visuais e de desconfortos causados pela mineração. Além disso, ainda de acordo com a empresa haveria um melhor aproveitamento das reservas da jazida de nefelina-sienito, e reduzida movimentação de estéril (PROMINER, 2004).

6.8.2.2. Geomecânica do maciço rochoso

Na nova área de interesse, existem duas elevações topográficas, uma a leste e outra a oeste, em forma de dois “morros”, com cotas que variam entre 25 metros e 260 metros acima do nível do mar. De modo geral, existe uma cobertura de solo e saprolito, e uma zona de material intemperizado, às quais cobrem o corpo mineralizado de nefelina-sienito. Um exemplo de perfil litológico pode ser visto abaixo (PROMINER, 2004):

- Solo e saprólito: 32 metros;
- Sienito ou zona alterada por hidrotermalismo: 30 metros;
- Nefelina-sienito: 78 metros;
- Sienito/nefelina-sienito com feldspato potássico: 30 metros;
- Diabásio: 13 metros.

A classificação da massa rochosa, necessária para que se conheça a qualidade do maciço rochoso, é uma avaliação empírica para especificar a qualidade do maciço num projeto de engenharia. Existe uma série de métodos para a classificação dos maciços rochosos, sendo aplicado neste projeto o método da Categoria de Massa Rochosa (*Rock Mass Rating – RMR*), desenvolvido por Bieniawski em 1973, devido à sua simplicidade e por sua aceitação geral na área de mineração (PROMINER, 2004).

A Tabela 7 mostra as propriedades básicas das principais litologias encontradas na área. Estes resultados foram determinados em testes executados nos laboratórios do Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo A. Miguez (CENPES/PDP/TEP/PETROBRAS apud PROMINER, 2004).

Tabela 7. Propriedades das rochas (PROMINER, 2004)

| Tipo de Rocha | Esforços de Tração (MPa) | Esforços de Compressão (Mpa) | Esforços de cisalhamento (Mpa) | Módulo de Young (GPa) | Coefficiente de Poison |
|----------------------|--------------------------|------------------------------|--------------------------------|-----------------------|------------------------|
| Sienito | -4,0 | 65,85 | ** | 37,80 | 0,305 |
| Nefelina-sienito | -8,3 | 70,75 | 24,13 | 37,43 | 0,230 |
| Granitóide | -4,6 | 40,40 | 27,58 | 29,07 | 0,225 |
| Nefelina-sienito são | -7,0 | 117,30 | 28,95 | 60,00 | 0,253 |

O método RMR se baseia nos seguintes parâmetros:

- Esforços sobre a rocha intacta;
- A qualidade da rocha (RQD), que é a percentagem do comprimento dos testemunhos intactos, acima de 0,1 m de comprimento, com relação ao comprimento total do testemunho obtido nesta rocha;
- Espaçamento entre as juntas, que é a distância entre as descontinuidades estruturais numa determinada rocha;
- Condições das juntas;
- Condições da presença de água.

A Tabela 8 apresenta os valores referentes às características do maciço no estado natural, enquanto que a Tabela 9 apresenta os valores do RMR determinados para cada tipo de rocha.

Tabela 8. Características do maciço rochoso. (PROMINER, 2004)

| Tipo de Rocha | Resistência da Rocha (MPa) | RQD % | Espaçamento das Juntas (mm) | Condições das Juntas | Água Subterrânea |
|-----------------------------|----------------------------|-------|-----------------------------|----------------------------|--|
| Sienito | 65,85 | 40 | 80 | As juntas | Deverá ocorrer a |
| Nefelina-sienito alterado | 70,75 | 85 | 200 | deverão ser | presença de água |
| Granitóide | 40,40 | 60 | 100 | levemente | em todas as rochas, |
| Nefelina-sienito (rocha sã) | 117,30 | 95 | 400 | rugosas e muito alteradas. | com vazões menores que 10 l/min para 10 m de extensão. |

Tabela 9. Categoria de massa rochosa (rock mass rating – RMR) (PROMINER, 2004).

| Tipo de Rocha | Valores de Tensão na Rocha (MPa) | Valores RQD | Valores de Espaçamento das Juntas | Valores de Condições das Juntas | Valores para Água Subterrânea | Valores de RMR |
|-----------------------------|----------------------------------|-------------|-----------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|----------------|
| Sienito | 7 | 8,2 | 5 | 25 | 10 | 55 |
| Nefelina-sienito | 7 | 17 | 8 | 25 | 10 | 67 |
| Granitóide | 4,75 | 12 | 6,5 | 25 | 10 | 58 |
| Nefelina-sienito (rocha sã) | 10,5 | 19 | 10 | 25 | 10 | 75 |

A Tabela 9 mostra que a RMR dos diversos tipos de rocha está numa faixa de 55 a 75. Estes valores são características de rochas competentes. A maior parte da mina será desenvolvida na camada mineralizada de nefelina-sienito, que tendo um RMR de 75, é uma rocha boa em termos de estabilidade.

A experiência tem mostrado que minas com rochas desta qualidade necessitam de suportes de teto localizados (tais como parafusos de rocha, e eventualmente telas de arame e/ou concreto projetado). No entanto, se eventualmente forem encontradas rochas com valores de RMR inferiores, reforços adicionais deverão ser

implementados para assegurar a estabilidade ao maciço e a segurança às escavações subterrâneas.

Baseado nos resultados da classificação do método desenvolvido por Bieniawski, pode-se dizer que o maciço rochoso é de Classe II. E não há razão para crer que essa classificação seja diferente para qualquer outro setor da jazida (PROMINER, 2004).

6.8.2.3. Dimensões das Escavações

Foram dimensionados os pilares do nível principal de produção de cota mais inferior, de forma que os cálculos realizados pudessem resultar em dados padronizados para as dimensões das minas dos setores leste e oeste. Desta forma, facilitando o planejamento da mina e a futura execução das atividades de lavra necessárias para exploração do minério.

O dimensionamento dos pilares e outros elementos geométricos da mina subterrânea foi baseado nos dados obtidos pelo estudo da classificação do maciço rochoso. A seguir são detalhados os estudos para dimensionamento da futura mina subterrânea na área da Fazenda do Surdo.

6.8.2.3.1. Pilares

Um sistema de pilares de minério regularmente distribuídos será deixado para suportarem os níveis superiores da mina subterrânea, assim como para suportarem o pilar de coroamento.

O pilar de coroamento é o pilar da cota mais superior da mina, sobre o qual ficarão apoiadas as rochas mais próximas à superfície. Os pilares (verticais) do nível mais inferior da mina, foram projetados para suportarem um prisma que tem uma altura de 212 metros, correspondente à maior profundidade da lavra em relação à superfície. Ou seja, são os 234 metros de profundidade da mina excetuando-se a altura do próprio pilar (de 22 metros).

Peso da coluna (P_c) sobre os pilares dos salões do nível mais inferior da mina:

$P_c = (\text{Profundidade da lavra} - \text{Altura do pilar}) \times \text{Área de influência} \times \text{Peso específico} =$

$$(234 - 22) \text{ metros} \times 23 \times 23 \times 2,668 \text{ t/m}^3 =$$

$P_c = 299.210$ toneladas $\Rightarrow P_c = \sim 300.000$ t

Esta coluna de rocha cria uma tensão de 29.400 kPa sobre cada pilar. A resistência nos pilares foi calculada a partir da fórmula de Obert – Duval:

$$\sigma_p = \sigma_1 \times (0,778 + 0,222 \times w/h) \quad (4)$$

onde,

- σ_p é a tensão no pilar;
- w é a largura do pilar;
- h é a altura do pilar;
- σ_1 é a tensão de compressão uniaxial da rocha.

Excetuando-se as galerias de acesso principal (ou rampa de acesso principal), de entrada e saída, todas as outras aberturas da mina serão desenvolvidas no maciço rochoso mineralizado de nefelina-sienito. Desta forma, o projeto prevê que os pilares tenham fator de segurança de 2 a 3,5, conforme Tabela 10.

Estes cálculos foram realizados para os pilares que se encontram em cotas mais profundas, o que significa que os pilares localizados nas cotas superiores terão um fator de segurança maior.

Tabela 10. Fator de segurança nos pilares para cada tipo de rocha (PROMINER, 2004)

| Tipo de rocha | Tensão no pilar (kPa) | Resistência uniaxial (kPa) | Resistência dos pilares Obert-Duval (kPa) | Fator de segurança |
|-----------------------------|-----------------------|----------------------------|---|--------------------|
| Sienito escuro | 29.404 | 65.847 | 57.891 | 1,97 |
| Nefelina-sienito alterado | 29.404 | 70.750 | 62.201 | 2,12 |
| Granitóide | 29.404 | 40.646 | 35.735 | 1,22 |
| Nefelina-sienito (rocha sã) | 29.404 | 117.360 | 103.179 | 3,51 |

Em regiões formadas por rochas menos competentes, alterações na geometria da escavação ou suportes artificiais serão empregadas de forma a aumentar o fator de segurança.

6.8.2.3.2. Pilares de proteção das redes de alta tensão

Na superfície do local onde será desenvolvida a jazida do setor oeste, passam as redes de alta tensão, sustentadas por torres metálicas situadas a noroeste do corpo de minério. Com vistas a não comprometer a estabilidade destas torres das linhas de transmissão, será mantida uma faixa com 30 metros de largura, paralela à direção da rede, onde não estão previstas quaisquer escavações.

6.8.2.3.3. Largura dos salões

Os pilares entre os níveis terão 10 metros de espessura, e o pilar de coroamento terá 26 metros de espessura. A largura dos salões será de 13 metros, mas o máximo vão nos salões é aquele medido na diagonal, nos cruzamentos dos salões, com 18,38 metros de largura. O pilar de coroamento não estará submetido apenas às tensões devido ao peso próprio, mas também ao peso da cobertura inconsolidada, de aproximadamente 30 metros de espessura que fica sobre ele. Neste caso ele atua como uma viga que está sujeita a esforços de tração. Os vãos entre os pilares não constituem um fator crítico no dimensionamento das aberturas dos salões. As tensões máximas de cisalhamento e tração nos pilares entre níveis e no pilar de coroamento da mina, podem ser definidas pelas equações apresentadas a seguir:

$$T \text{ máx} = (3 \times \gamma \times L) / 4 \quad (5)$$

$$\sigma \text{ máx.} = - (\gamma \times L^2) / 2 t \quad (6)$$

onde,

- T máx** é a tensão máxima de cisalhamento;
- σ máx** é a tensão máxima de tração;
- γ** é o peso específico da rocha;
- L** é o vão máximo;
- t** é a espessura do pilar entre níveis.

A Tabela 11 mostra as tensões críticas nos pilares entre os níveis, e no pilar de coroamento. Com estes valores, foram calculados os fatores de segurança dos mesmos apresentados nas Tabelas 12 e 13.

Tabela 11. Tensões de tração e cisalhamento nos pilares entre níveis e no pilar de coroamento (PROMINER, 2004)

| Pilares | Espessura das vigas (pilares) | Vão máximo (m) | Tensões devidas à tração nas vigas (MPa) | Tensões devidas ao cisalhamento nas vigas (Mpa) |
|---------------------|-------------------------------|----------------|--|---|
| Pilar entre níveis | 10 | 18,38 | - 0,44 | 0,36 |
| Pilar de coroamento | 26 | 18,38 | - 0,37 | 0,78 |

Tabela 12. Fator de segurança para os pilares entre os níveis para diversos tipos de rocha (PROMINER PAE, 2004)

| Tipo de rocha | Resistência à tração (MPa) | Resistência ao cisalhamento (MPa) | Tensões de tração nas vigas (pilares) (MPa) | Tensões de cisalhamento nas vigas (pilares) (MPa) | Fator de segurança na tração | Fator de segurança no cisalhamento |
|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------------|---|---|------------------------------|------------------------------------|
| Sienito escuro | - 4,0 | ** | - 0,44 | 0,36 | 9 | ** |
| Nefelina-sienito alterado | - 8,3 | 24,13 | - 0,44 | 0,36 | 19 | 67 |
| Granitóide | - 4,6 | 27,58 | - 0,44 | 0,36 | 10 | 76 |
| Nefelina-sienito (rocha sã) | - 7,0 | 28,95 | - 0,44 | 0,36 | 16 | 80 |

Para o cálculo das aberturas dos salões, considerou-se que as rochas são isotrópicas, elásticas e homogêneas. Na prática, a existência de juntas, fraturas e outras anomalias estruturais afetam a estabilidade do maciço, e em consequência, elas devem ser analisadas e tratadas mediante o uso de suportes artificiais, tais como, tirante, telas, vigas metálicas e concreto projetado.

Tabela 13. Fator de segurança para os pilares de coroamento para diversos tipos de rocha (PROMINER, 2004).

| Tipo de rocha | Resistência à tração (MPa) | Resistência ao cisalhamento (MPa) | Tensões de tração nas vigas (pilares) (MPa) | Tensões de cisalhamento nas vigas (pilares) (MPa) | Fator de segurança na tração | Fator de segurança no cisalhamento |
|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------------|---|---|------------------------------|------------------------------------|
| Sienito escuro | - 4,0 | ** | - 0,37 | 0,36 | 11 | ** |
| Nefelina-sienito alterado | - 8,3 | 24,13 | - 0,37 | 0,36 | 22 | 31 |
| Granitóide | - 4,6 | 27,58 | - 0,37 | 0,36 | 12 | 35 |
| Nefelina-sienito (rocha sã) | - 7,0 | 28,95 | - 0,37 | 0,36 | 19 | 37 |

Estas medidas serão executadas de forma a aumentar a segurança nas escavações, reduzindo a chance de queda de blocos do teto, bem como o "abatimento de choccos" dos salões. O "abatimento de choccos" consiste em provocar o deslocamento (queda) dos pequenos blocos de rocha que se encontram em risco de queda.

6.8.2.4. Definição do método de lavra

O planejamento da lavra subterrânea pode ser visualizado na Figura 38. A lavra será desenvolvida na jazida de nefelina-sienito nos setores leste e oeste. Cada um dos setores localiza-se em uma elevação topográfica dentro dos limites da poligonal do processo DNPM 890.356/95.

Para a definição do método de lavra subterrânea desta jazida, foram considerados os seguintes aspectos do corpo de minério e da rocha encaixante:

- Profundidade da lavra;
- Espessura real e aparente do corpo de minério;
- Ângulo de mergulho do corpo de minério;
- Regularidade das dimensões;
- Distribuição dos teores;
- Resistência mecânica da rocha encaixante e do corpo de minério;

- Regularidade do contato entre o corpo de minério e a rocha encaixante;
- Manutenção da integridade da superfície de modo a se evitar abatimentos; e,
- Nível de produção.

O planejamento de lavra para as minas dos setores leste e oeste foi realizado para apenas 20 anos de operação, em cada um dos setores. Segundo a empresa responsável pelo projeto, o programa de produção de cada um dos setores é mais do que suficiente para suprir o programa de produção da usina de beneficiamento (PROMINER, 2004)

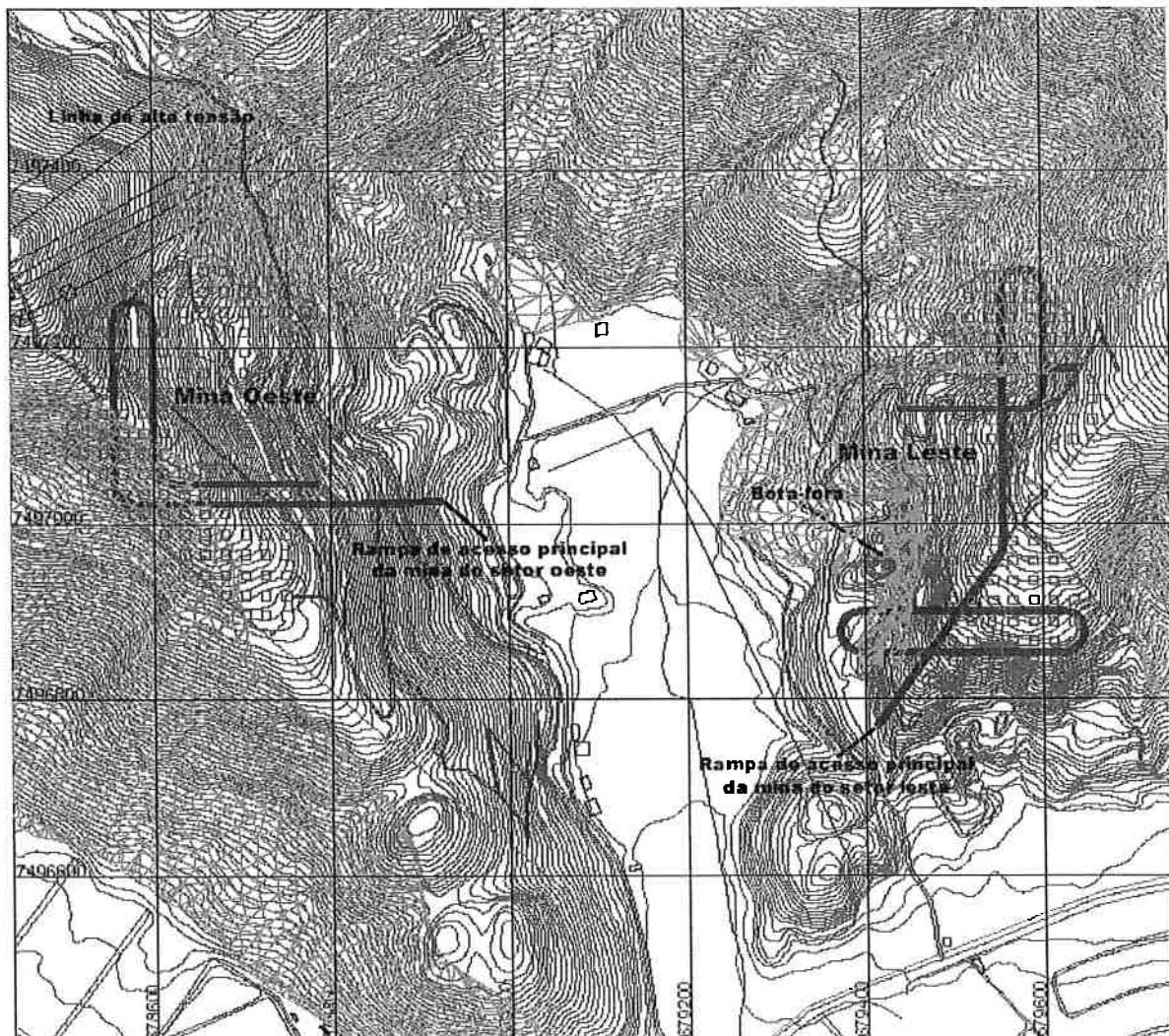


Figura 38. Planta geral mostrando o desenvolvimento das minas subterrâneas dos setores leste e oeste (PROMINER, 2004).

Pelas características da jazida, que apresenta baixo mergulho do corpo, rocha competente, e relativa homogeneidade do corpo de minério, optou-se pelo método

“ pilar e salão descendente ” para desenvolver a lavra do minério de nefelina-sienito nos dois setores (leste e oeste) da jazida. Desta forma, a mina subterrânea projeta terá o seu emboque e desemboque independentes que serão utilizados para movimentação de equipamento e pessoal.

Tanto a mina do setor leste como a do setor oeste, serão divididas em 4 (quatro) níveis verticais, cada um com altura de 32 metros, sendo 10 metros de pilar entre os níveis, mais 22 metros de altura do salão. Acima do teto do salão localizado no nível mais superior de cada mina, ficará o pilar de coroamento, com espessura de 26 metros, constituído de minério com características de auto-sustentação, que suportará os 30 metros de saprolito. Para o desenvolvimento dos painéis de lavra, será inicialmente realizada a abertura de uma galeria superior. A partir daí, será desmontado o piso dessa primeira galeria superior, até atingir a base do salão, conforme descrito nos itens anteriores. Tratando-se de uma rocha competente, este método é semelhante a um método de salões abertos, denominado em língua inglesa de “ stope and pillar mining ”. O método de pilar e salão descendente difere do método clássico de pilar e salão pelo fato de utilizar a gravidade para o fluxo de minério desmontado.

Os elementos geométricos para execução da lavra incorporados ao projeto de lavra subterrânea foram assim dimensionados:

- Altura dos salões: 22 metros;
- Largura dos salões: 13 metros;
- Pilar de coroamento: 26 metros;
- Pilar entre os níveis de produção: 10 metros.
- Dimensões do pilar: 10 x 10 metros.

Desta forma, a recuperação do minério num painel de lavra foi calculada a partir de um painel típico com dimensões proporcionais a todos os painéis da mina.

- Volume total do salão = $(23 \text{ m largura})^2 \times (32 \text{ m altura}) = 16.928 \text{ m}^3$;
- Volume do pilar do salão = $(10 \text{ m largura})^2 \times (22 \text{ m altura}) = 2.200 \text{ m}^3$;
- Volume do pilar entre níveis = $(23 \text{ m largura})^2 \times (10 \text{ m altura}) = 5.290 \text{ m}^3$;

- Volume de minério extraído: volume total do salão – volume do pilar do salão – volume do pilar entre níveis = $16.928 \text{ m}^3 - 2.200 \text{ m}^3 - 5.290 \text{ m}^3 = 9.438 \text{ m}^3$;
- Recuperação de lavra em um salão (r): $9.438 \text{ m}^3 / 16.928 \text{ m}^3 = 55,75 \%$.

Com a evolução dos trabalhos de lavra, os pilares poderão ser redimensionados, de modo que a recuperação do minério aumente. O redimensionamento passa por um acompanhamento da estabilidade do maciço, de modo a se avaliar a evolução das deformações e tensões. Essa avaliação usará instrumentos para medição da deformação dos tetos das galerias, e medidores de tensão. Poderão ainda ser utilizados reforços visando a estabilidade das aberturas, principalmente dos tetos dos salões.

As atividades de lavra são viáveis técnica, econômica e ambientalmente tanto na mina do setor leste quanto na mina do setor oeste, e como não há necessidade de operação conjunta das duas minas foi adotado para fins de apresentação do planejamento de lavra neste relatório que as atividades de lavra serão iniciadas na mina do setor leste, que produzirão nos primeiros 20 anos de operação, cerca de 7 (sete) milhões de toneladas de minério de nefelina-sienito na mina do setor leste.

6.8.2.4.1. Mina do Setor Leste

As atividades de lavra subterrânea na Fazenda do Surdo serão iniciadas pela abertura da galeria principal. O planejamento de lavra, realizado para os primeiros 20 anos de operação, da mina do setor leste prevê que serão produzidas 7.057.000 toneladas de rocha, sendo 6.721.000 toneladas de minério de nefelina-sienito, e 336.000 toneladas de estéril.

Neste valor não está incluído o estéril proveniente da abertura e desenvolvimento da galeria de encosta, e de outras aberturas que se fizerem necessárias.

Todo o minério de nefelina produzido na lavra será destinado à alimentação da usina de beneficiamento. O estéril produzido a partir do 3º ano de operação, totalizando 311.900 toneladas, ou 175.225 m^3 , será disposto nos vãos dos salões que já tenham sido lavrados. E o estéril produzido na preparação da mina, nos 1º e 2º anos de operação, totalizando cerca de 24.000 m^3 , será disposto no bota-fora.

A lavra projetada para o corpo de minério situado no setor leste, será desenvolvida inicialmente nas cotas mais superiores do maciço rochoso, seguindo

um programa de produção para atender as atividades da usina de beneficiamento. A Figura 39 apresenta a projeção do esquema de desenvolvimento da mina na área do setor leste.

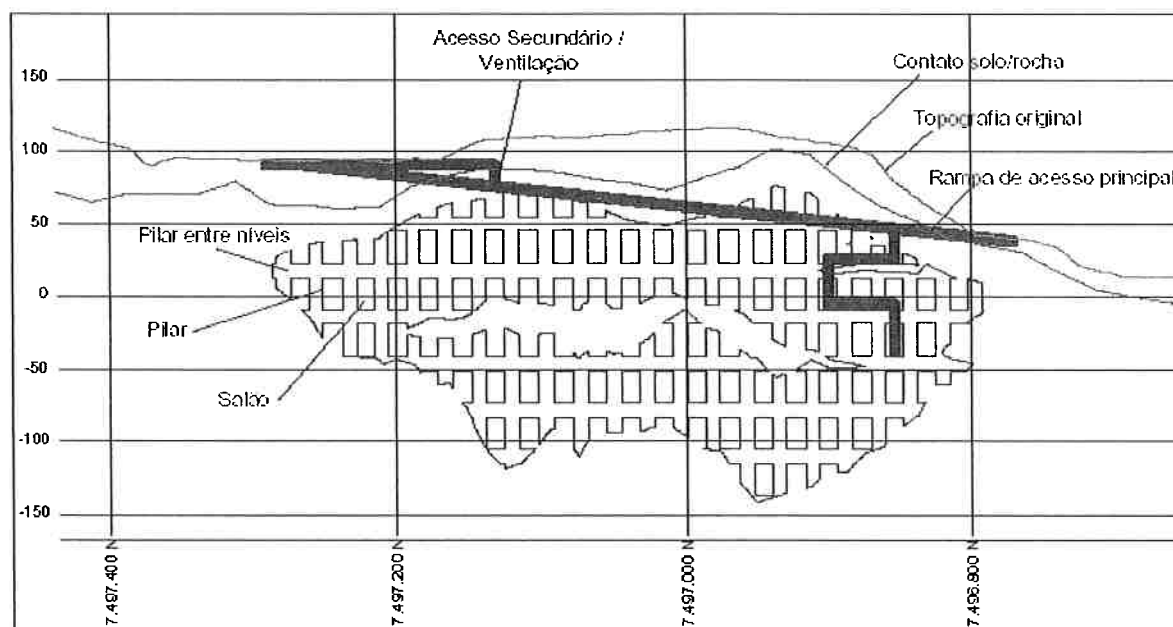


Figura 39. Seção transversal com orientação Norte-Sul visando leste, na mina do setor leste (PROMINER, 2004).

A abertura da mina do setor leste será iniciada galeria principal do setor leste, conforme descrito a seguir.

O acesso à esta mina será feito pela rampa de acesso principal leste, com seção transversal de 7,0 metros de altura por 7,0 metros de largura, e inclinação máxima de 10,5%. A entrada (emboque) estará localizada na cota 35 metros acima do nível do mar, e a saída (desemboque) aproximadamente na cota 75 metros.

A galeria de encosta, que será aberta para formação da rampa principal de acesso leste, terá o teto em forma abobadada, buscando obter maior estabilidade através do "efeito arco". O traçado desta galeria (rampa) será feito com o avanço de 100 metros até atingir a rocha sã do maciço rochoso mineralizado de nefelina-sienito, onde a mesma será desenvolvida por mais 140 metros de comprimento, com ângulo de inclinação entre 8% e 10%. Essa galeria continuará ainda por mais 360

metros em direção ao norte. A partir desta galeria será desenvolvida uma rampa em declive de $-13,5\%$ para acessar os níveis de cotas mais inferiores.

A rampa de acesso principal leste terá reforço do teto e das paredes sempre que necessário, especialmente o trecho da galeria de encosta, que for desenvolvido em material de alteração, será estabilizado por meio de escoramento intenso do teto e das paredes com uso ou de concreto projetado, ou de arcos metálicos com placas de concreto encimando os arcos metálicos.

A ventilação da mina deste setor leste será feita pelas galerias de encosta (rampa de acesso principal) com entrada de ar na cota superior, 75 metros, e saída na cota inferior, 35 metros. As aberturas verticais de um nível para outro, que não serão alinhadas, vão facilitar a ventilação no nível. A saída de emergência de pessoal será feita no desemboque da cota superior. A rampa de acesso principal leste deverá estar pronta entre o 1º ano e o 3º ano após o início das atividades de lavra deste setor.

Nas Figuras 40 a 43 estão apresentados os desenvolvimentos das atividades de lavra nos primeiros 20 anos de operação da mina do setor leste, bem como o esquema do plano de ventilação para este setor da mina subterrânea.

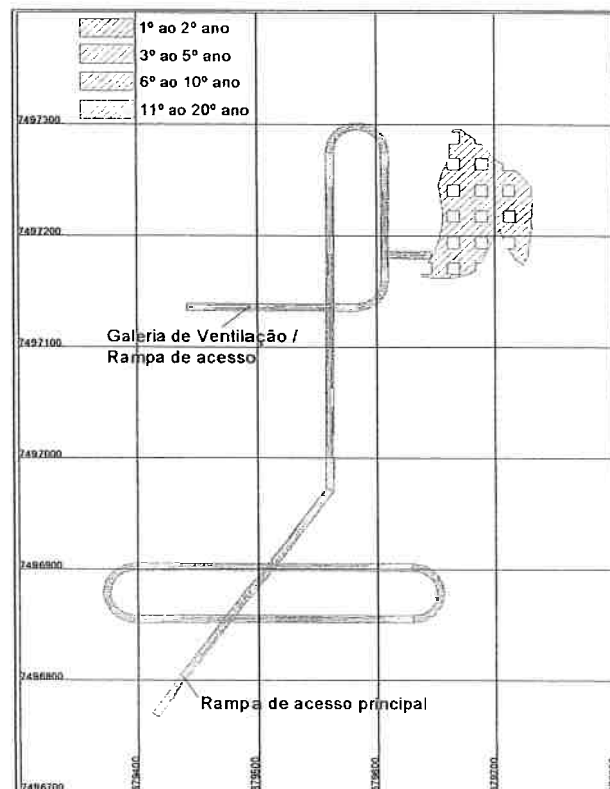


Figura 40. Seqüência de lavra no nível de produção da cota 87 metros (PROMINER, 2004).

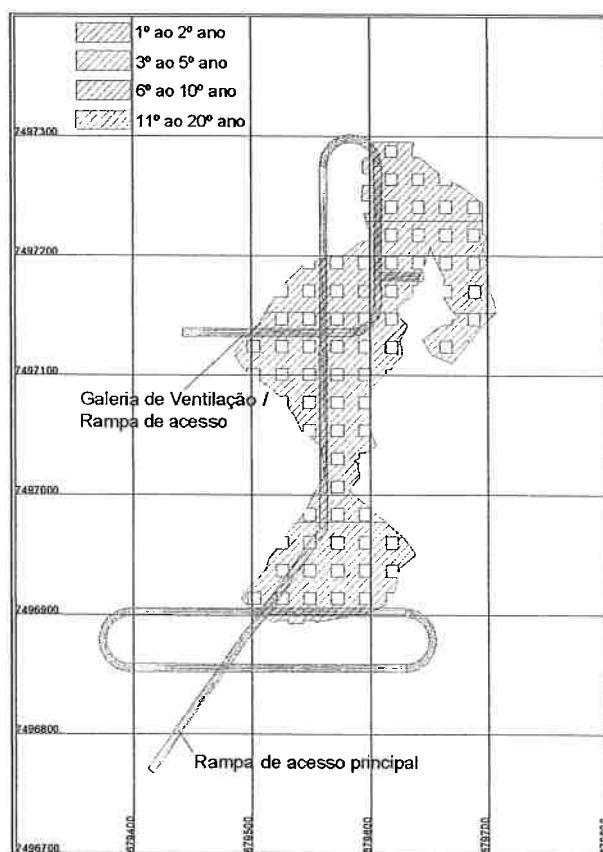


Figura 41. Seqüência de lavra no nível de produção da cota 55 metros (PROMINER, 2004).

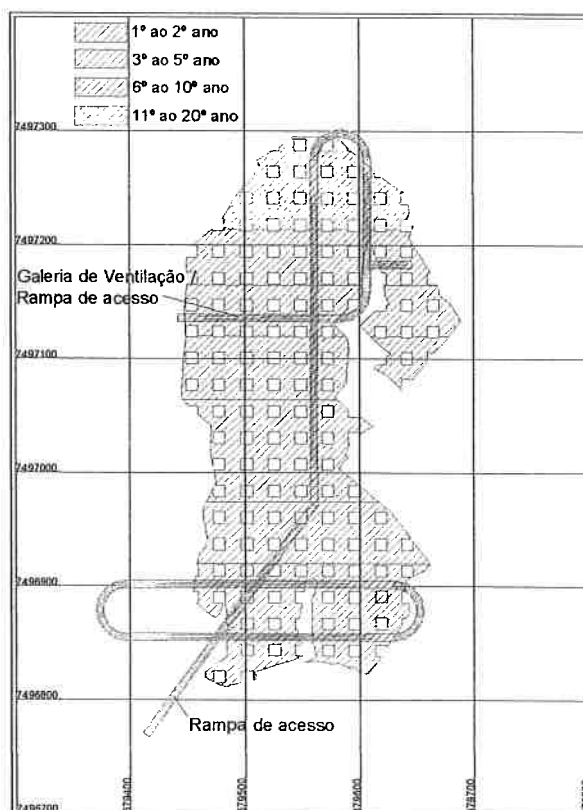


Figura 42. Seqüência de lavra no nível de produção da cota 23 metros (PROMINER, 2004).

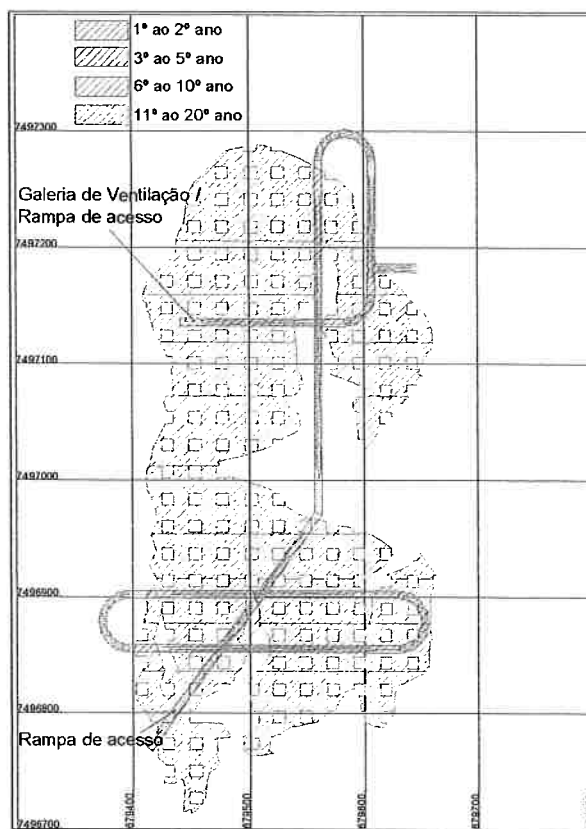


Figura 43. Seqüência de lavra no nível de produção da cota – 9 metros. Mina Leste (PROMINER, 2004).

Em resumo, para formação da rampa de acesso principal leste, será desenvolvida uma galeria de encosta a partir da cota + 35 metros, com 100 metros de comprimento em material alterado e 140 metros de comprimento em rocha sã; Além de 360 metros na direção norte; a rampa descendente será em declive de $-13,5\%$.

Após o desenvolvimento das atividades de lavra na mina do setor leste, serão iniciadas as atividades de lavra na mina do setor oeste. O planejamento de lavra para a mina do setor oeste prevê, que nos primeiros 20 anos de operação desta mina, serão produzidas, 7.475.000 toneladas de rocha, sendo 7.119.000 toneladas de minério de nefelina-sienito, e 356.000 toneladas de estéril. Neste valor não está incluído o estéril proveniente da abertura e desenvolvimento da galeria de encosta, e de outras aberturas que se fizerem necessárias, que serão desenvolvidas na rocha encaixante.

Todo o minério de nefelina produzido na lavra será destinado à alimentação da usina de beneficiamento. O estéril, representando cerca de 200.000 m³, será disposto nos vãos dos salões que já tenham sido lavrados na mina do setor leste.

6.8.2.4.1. Mina do Setor Oeste

Para a abertura da mina do setor oeste, inicialmente será desenvolvida uma galeria de encosta na elevação topográfica localizada na área do setor oeste do empreendimento. O desenvolvimento dessa galeria de encosta formará a rampa de acesso principal oeste, conforme descrito a seguir. A lavra projetada no corpo de minério situado neste setor será desenvolvida inicialmente nas cotas mais superiores. E posteriormente, o seu desenvolvimento seguirá para as galerias das cotas inferiores.

A embocadura da rampa (galeria) de acesso principal oeste será realizada na cobertura de solo, passando pelo material de alteração, e pelo contato solo/rocha, até atingir o corpo mineralizado de nefelina-sienito. O pilar de coroamento cobrirá toda a mina subterrânea entre a abertura dos salões e o contato solo/rocha. Assim como a mina do setor leste, a ventilação desta mina será feita pela rampa de acesso principal. A tomada de ar será pela na cota 78 metros, e saída pela cota 15 metros. As aberturas verticais de um nível para outro não serão alinhadas, facilitando a ventilação no nível. A saída de emergência de pessoal será realizada no desemboque da cota superior, que deverá estar pronto entre o 1º ano e o 3º ano após o início das atividades de lavra neste setor.

As Figuras 44 e 45 apresentam a área oeste, mostrando a projeção do esquema de desenvolvimento da mina do setor oeste.

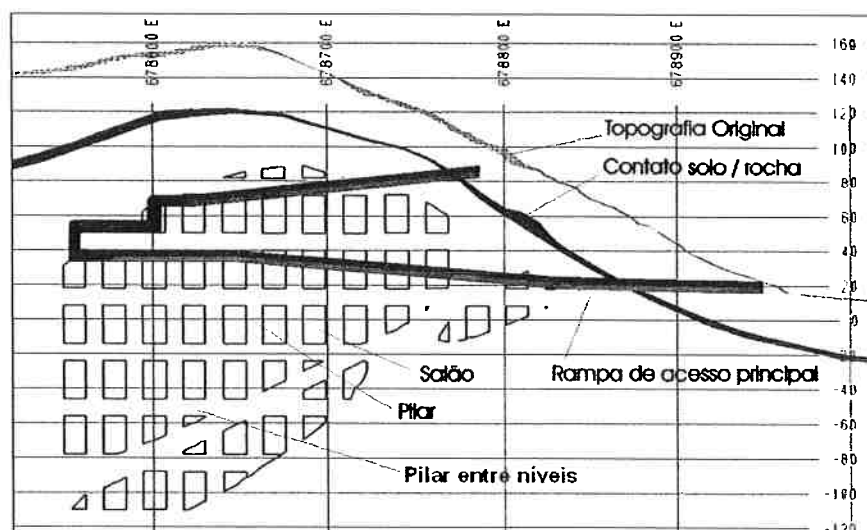


Figura 44. Seção transversal com orientação Leste Oeste na coordenada N 7.497.010 visando Norte na mina do setor oeste (PROMINER, 2004).

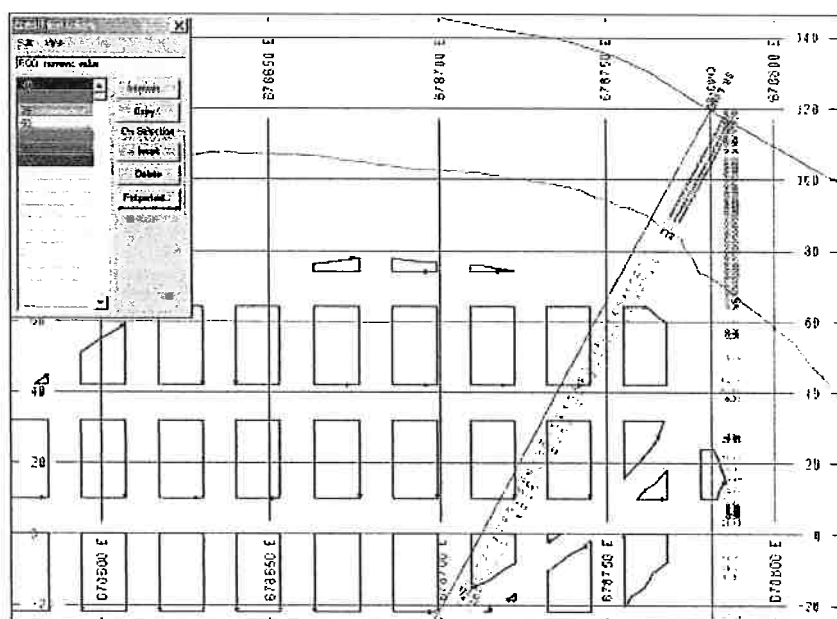


Figura 45. Seção transversal com orientação Leste Oeste na coordenada N 7.496.990 visando Norte na mina do setor oeste (PROMINER, 2004).

O acesso a esta mina se dará pela rampa de acesso principal oeste (ou seja, pela rampa que será formada pelo desenvolvimento da galeria de encosta oeste), com aclive de 2,0 %, e cuja entrada (embocadura) estará localizada na cota 15 metros. O aclive tem por finalidade drenar por gravidade as águas do subsolo e de perfuração. As águas serão coletadas numa canaleta localizada na lateral da galeria.

Esta rampa terá seção transversal terá 7 metros x 7 metros (largura x altura), e o teto terá forma abobadada, buscando obter maior estabilidade através do "efeito arco". O traçado desta rampa (galeria) será feito com o avançamento de 520 metros para oeste, onde a mesma deverá passar por um trecho de 140 metros de material alterado. Este trecho será estabilizado por meio de escoramento intenso do teto e das paredes (com uso ou de concreto projetado, ou de arcos metálicos com placas de concreto encimando os arcos metálicos).

Após este trecho, a galeria será desdobrada em duas rampas: uma ascendente com inclinação em torno de 7 % para a lavra dos dois níveis superiores, perfazendo 814 metros em rocha sã e mais 50 metros em rocha alterada atingindo novamente a encosta do morro na cota 78 metros. A rampa descendente será aberta com uma inclinação de - 9,3% e um comprimento total de 344 metros atingindo a base do nível -14 metros, o mais profundo.

Além das rampas ascendente e descendente, e da galeria de encosta que serão desenvolvidas na fase de preparação da mina, no nível - 44 metros será aberta uma chaminé com uma altura de 62 metros, com uma seção quadrada de 2 metros por 2 metros, que servirá tanto como saída de ventilação do nível mais profundo da mina, como saída de emergência para o pessoal.

Nas Figuras 46 a 49 estão apresentadas as situações de desenvolvimentos das atividades de lavra nos primeiros 20 anos de operação, mostrando a correspondência das situações desenvolvidas referente ao ano de seu desenvolvimento, para cada um dos quatro níveis principais de produção (nível -14 metros, nível 18 metros, nível 50 metros e nível 82 metros).

E nas Figuras 50 e 51 estão apresentados os esquemas do plano de ventilação da mina do setor oeste no décimo ano de desenvolvimento da mina subterrânea.

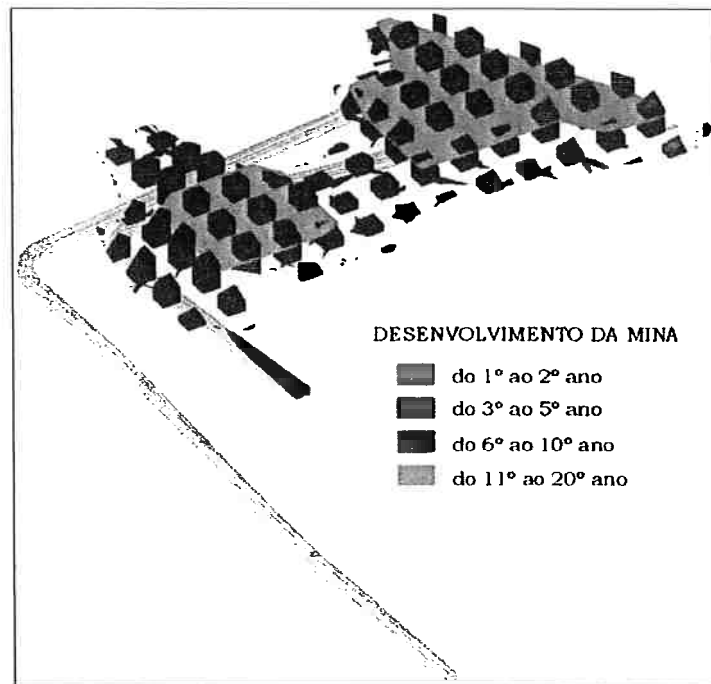


Figura 46. Seqüência de lavra no nível – 14 metros na mina do setor oeste (PROMINER, 2004).

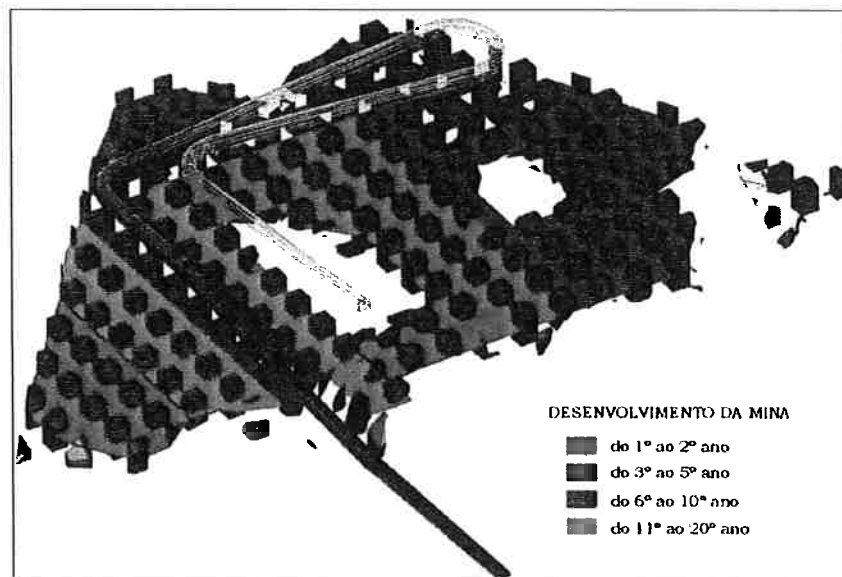


Figura 47. Seqüência de lavra no nível 18 metros na mina do setor oeste (PROMINER, 2004).

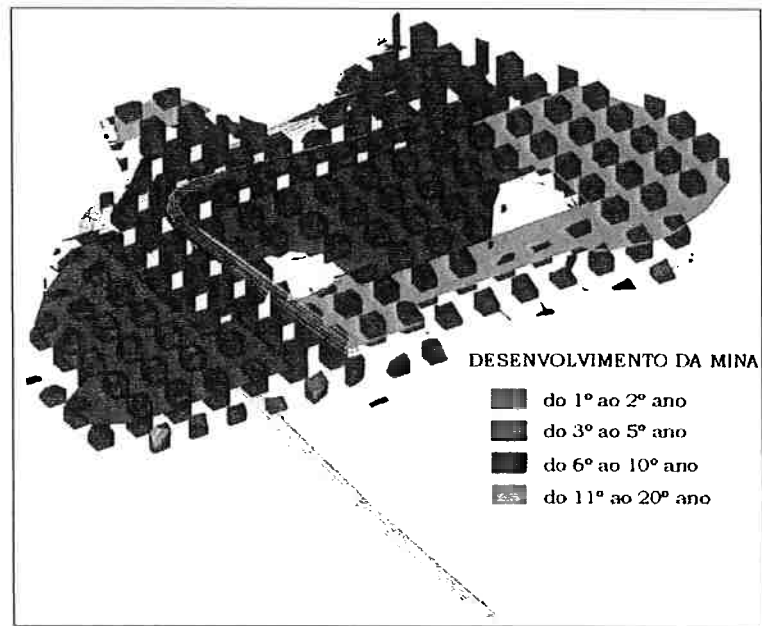


Figura 48. Seqüência de lavra no nível 50 metros na mina do setor oeste (PROMINER, 2004).

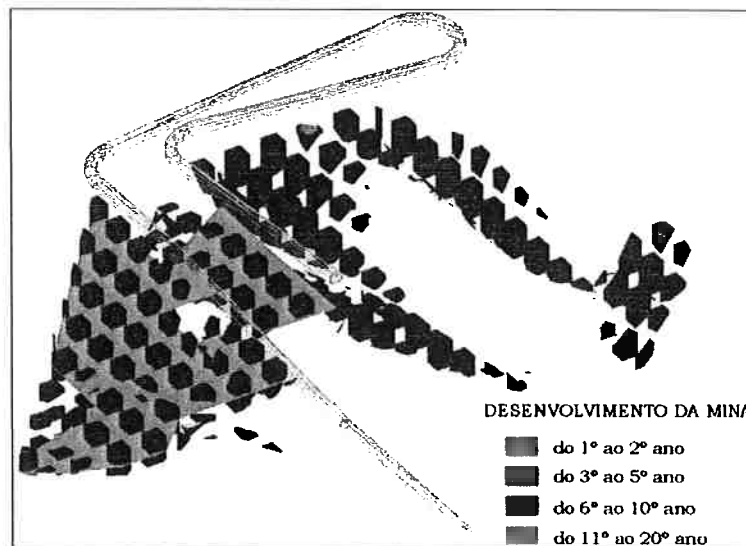


Figura 49. Seqüência de lavra no nível 82 metros na mina do setor oeste (PROMINER, 2004).

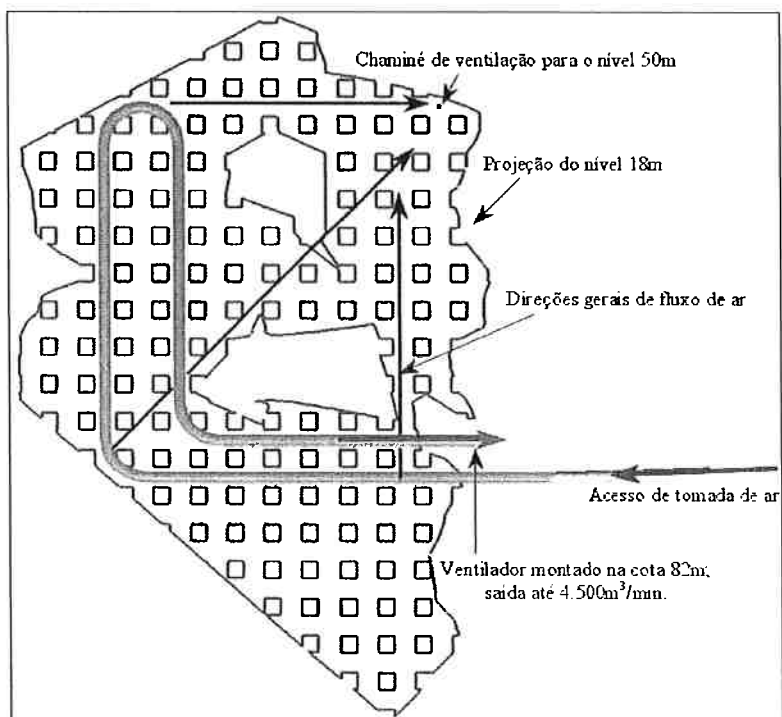


Figura 50. Vista em planta do nível 18 metros, mostrando o sentido geral da vazão de ar e a localização do ventilador principal no ano 10 de lavra da mina do setor oeste (PROMINER, 2004).

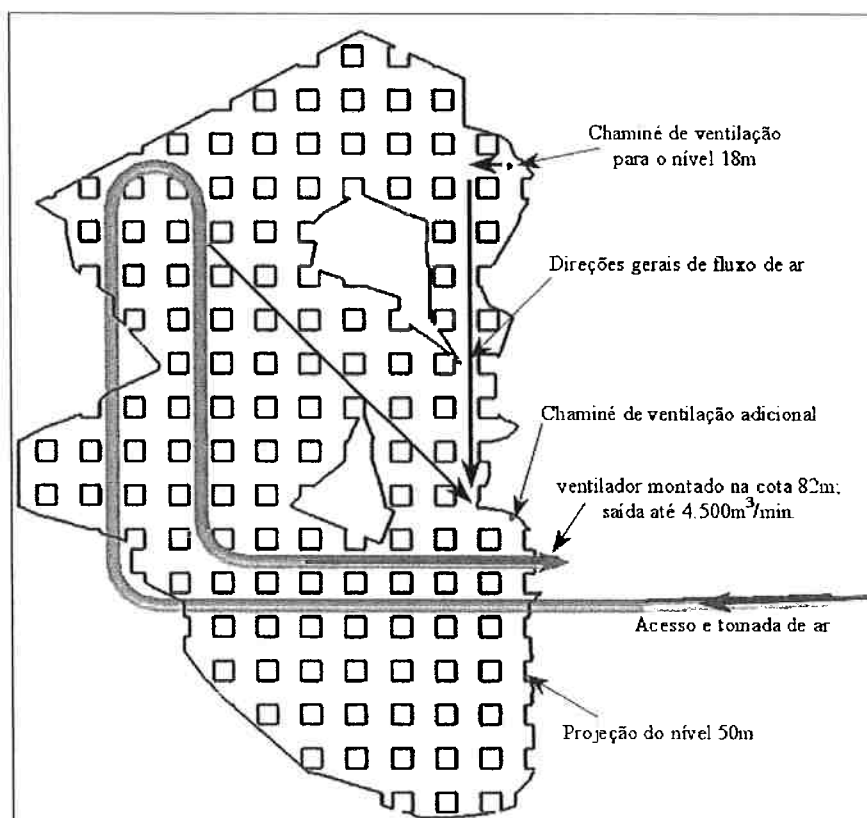


Figura 51. Vista em planta do nível 50 metros, mostrando o sentido geral da vazão de ar e a localização do ventilador principal no ano 10 de lavra da mina do setor oeste (PROMINER, 2004).

Em resumo, para formação da rampa de acesso principal oeste, será desenvolvida uma galeria de encosta a partir da cota + 15 metros, com 140 metros de comprimento em material alterado, seguindo 814 metros de comprimento em rocha sã, além da rampa descendente que terá 344 metros de comprimento também em rocha sã. O desemboque da rampa será em galeria de encosta com 50 metros de comprimento em material alterado atingindo a cota + 78 metros.

Para a execução dos trabalhos de abertura dos acessos (dos setores leste e oeste), deverá ser contratada uma empresa especializada na abertura de poços e galerias.

6.8.2.5. Planejamento de lavra

A lavra por pilar e salão descendente, será iniciada na cota superior do salão, formando um salão de 13 metros de largura e 22 metros de altura. As operações de lavra estão descritas no item 6.4. O método de lavra está ilustrado na Figura 52.

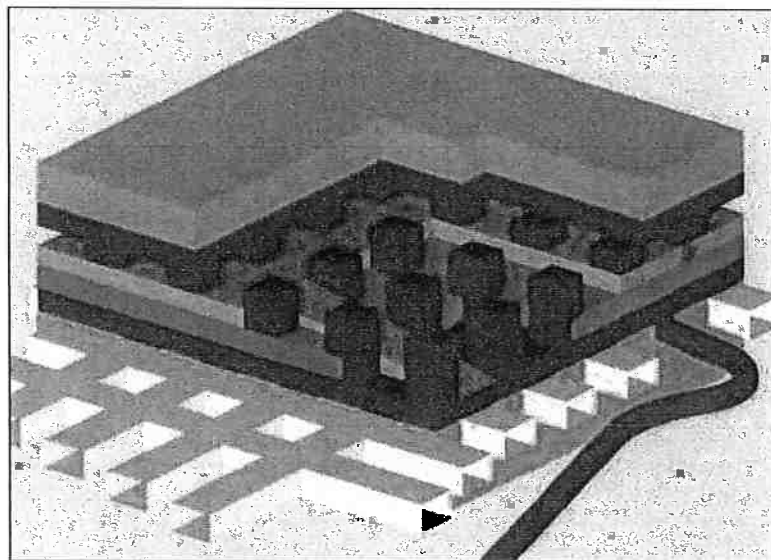


Figura 52. Diagrama esquemático mostrando o método de lavra planejado, pilar e salão descendente (PROMINER, 2004).

No método de lavra subterrânea pilar e salão descendente são deixados os pilares e escavados os salões. Cada salão será desmontado em três fases. O início

da abertura dos salões, no nível de produção inferior está indicado na figura pela cor amarela, sendo portanto a 1ª fase do próximo nível de produção.

Na 1ª fase será formada uma galeria de sete metros de altura e treze metros de largura, na cota mais superior do salão. Esta 1ª fase do nível em produção está indicada pelos vãos na figura, entre o azul escuro e o laranja.

Na 2ª fase, a galeria será “aprofundada” mais sete metros, desmontando-se o piso da galeria da cota mais superior, formando parcialmente um salão de quatorze metros de altura e treze metros de largura, indicado na figura com a cor laranja.

E na 3ª fase, “aprofunda-se” mais oito metros o salão parcialmente formado, indicado na figura com a cor rosa, desta forma resultando num salão de 22,0 (vinte e dois) metros de altura por 13,0 (treze) metros de largura.

A cor azul escura indica os pilares (verticais) de produção, que serão deixados em cada nível, e os pilares entre níveis (horizontais), que serão deixados entre cada nível. A cor azul clara indica o corpo mineralizado a ser lavrado acima e abaixo do nível em produção.

Deve-se ressaltar que antes do início de cada fase devem ser verificadas as condições de ventilação e segurança da galeria que será desenvolvida, além da verificação das condições de saneamento do teto, ou “bater choco”.

O estéril gerado pelas atividades de lavra até o 3º ano do desenvolvimento da mina subterrânea, que corresponde ao tempo de preparação da mina, será disposto na superfície, em bota-fora com bancadas de cerca de 7,5 metros de altura, bermas de cerca de 4,3 metros de largura e ângulo de face de talude de 35°, o que resulta em ângulo de cerca de 26,6° para o bota-fora. O bota-fora será implantado em áreas degradadas que no passado foram alvo de minerações clandestinas, auxiliando na recuperação destas áreas.

Depois de finalizada a preparação da mina, o estéril gerado pelas atividades de lavra será utilizado para preencher os vãos deixados pela lavra dos salões da mina subterrânea.

Eventualmente, uma pequena parcela dos subprodutos do beneficiamento pode ser disposta junto ao estéril nos vãos dos salões da lavra subterrânea.

Para os cálculos apresentados foram utilizadas as seguintes densidades: 1,6 t/m³ para os subprodutos do beneficiamento, 1,78 t/m³ para o estéril da lavra e 2,668 t/m³ para o minério de nefelina-sienito.

O desenvolvimento da lavra pode ser estudado a partir das operações unitárias que devem ser realizadas para o bom funcionamento das atividades de lavra. As operações são: perfuração e desmonte, carga dos furos com explosivo, carregamento e transporte e inspeção das condições de segurança e ventilação.

6.8.2.5.1. Perfuração e desmonte

As galerias serão executadas em frentes de 7,0 metros de altura por 7,0 metros de largura ou em frentes de 7,0 metros de altura por 13,0 metros de largura. A frente de 7,0 m x 7,0 m será executada em rampa de acesso, e a frente de 7,0 m x 13,0 m será executada nas galerias de produção e desenvolvimento, com abertura em arco elevado desmontado em plena seção.

Os furos para detonação terão 4,0 metros de profundidade, segundo o padrão de desmonte por explosivo de segurança, utilizando furos de até 51 mm de diâmetro. Serão utilizados 85 furos nas frentes de 7,0 m x 7,0 m e 145 furos nas frentes de 7,0 m x 13,0 m.

Para a formação dos salões da mina subterrânea, tanto do setor leste e como do setor oeste, o desenvolvimento será realizado em fases. Na 1ª fase será aberta uma galeria de sete metros de altura por treze metros de largura, na cota mais superior do salão. Na 2ª fase, a parte inferior (piso) dessa galeria da cota mais superior do salão, será desmontada obedecendo a configuração dos pilares, com sete metros de altura por treze metros de largura, formando um salão parcial de quatorze metros de altura e treze de largura. Após o final da 2ª fase, realiza-se o desmonte da 3ª fase. Na 3ª fase, a parte inferior (piso) desse salão parcial será “aprofundada” por mais oito metros, definindo o limite inferior do salão. Resultando num salão de 22 (vinte e dois) metros de altura por 13 (treze) metros de largura. As duas últimas fases serão abertas de forma descendente, abaixo da galeria da 1ª fase, localizada na cota mais superior do salão. Os desmontes realizados na 2ª fase e na 3ª fase tem maior eficiência, visto que nessas fases a abertura tem duas faces livres, a superior e a frontal.

A galeria final resultante destas três fases ficará apoiada sobre o pilar entre níveis, de 10 metros de espessura. O pilar entre níveis, horizontal, será a divisória entre os níveis principais de lavra.

Antes do início de cada fase, além da verificação das condições gerais da galeria, faz-se o trabalho de saneamento do teto.

Desta forma, ter-se-á o 1º nível principal da mina. Sob o pilar entre níveis, de 10 metros de espessura, será aberto um novo salão com 22 metros de altura, repetindo as fases descritas para o desenvolvimento do 1º nível principal da mina.

6.8.2.5.2. Plano de Fogo

Todos os furos receberão cargas de explosivos de segurança. Um furo de 51 mm diâmetro deverá receber uma carga de 7 kg de explosivo. Isso resultará na detonação de aproximadamente 600 kg de explosivo em uma frente de 7,0m x 7,0m e de aproximadamente 1.000kg em uma frente de 7,0 m x 13,0 m.

A furação da galeria de desenvolvimento será realizada horizontalmente, com diâmetro de 51 mm e comprimento de 4,1 metros, em malha de 1,4 x 1,44 metros (afastamento x espaçamento, respectivamente medidos: verticalmente a partir do piso da fatia já extraída acima, e medido lateralmente ao longo dos 13 metros de largura da fatia), de modo que a ação do explosivo seja contra o piso da galeria resultante da fase anterior, já extraída, totalizando a seguinte metragem:

- 5 linhas x 10 colunas x 4 m do comprimento = $5 \times 10 \times 4 = 200$ metros.
- O volume desmontado por detonação em uma fatia de 7 metros de altura será:
Largura x altura x comprimento do furo = $13 \times 7 \times 4 =$ Volume desmontado = 364 m^3 .
- E a relação entre metro perfurado e volume desmontado será da ordem de $0,55 \text{ m/m}^3$.

Todas as detonações serão executadas em seqüência temporizada a fim de garantir que as vibrações no solo sejam mantidas abaixo dos limites legais. Isso poderá ser conseguido utilizando-se retardamento furo a furo, ou sistemas programáveis de iniciação.

Todos os furos perimetrais serão por 'desmonte cuidadoso'. Com auxílio de um cordel detonante de 1,6 gramas introduzido nesses furos antes do carregamento com explosivo de segurança.

6.8.2.5.3. Detonação para Produção

A detonação para produção será executada nas bancadas ou lajes de lavra. Essas duas técnicas utilizam furos de detonação executados horizontalmente. As duas técnicas utilizarão furos de 51 a 64 mm de diâmetro, com 4 metros de profundidade. Os furos serão perfurados segundo um modelo retangular.

Os furos receberão carregamento de explosivo de segurança e serão detonados da mesma maneira que nos furos das galerias. Cada furo de 64 mm de diâmetro receberá 10,25kg de explosivo de segurança. O seqüenciamento de cada detonação seguirá um padrão que garantirá que a vibração do terreno seja mantida abaixo dos limites legais.

6.8.2.5.4. Carga dos furos com explosivos

O carregamento dos explosivos nos furos será realizado por equipamento especializado, ou vaso pressurizado, que permite uma distribuição homogênea do explosivo nos furos. O equipamento fica instalado num caminhão com braço de elevação que possui uma cesta na extremidade desse braço.

Serão usados os seguintes explosivos:

- 1) Explosivo de segurança;
- 2) Iniciador não elétrico de diversos comprimentos e tempo de retardo;
- 3) Cordel detonante; e,
- 4) Mantopim.

As razões de carga previstas são:

- 1) Rampa e galeria de desenvolvimento: 0,88 kg/tonelada;
- 2) Galeria superior do salão (1ª Fase): 0,98 kg/ tonelada; e,
- 3) Desmonte das bancadas dos salões inferiores (2ª e 3ª Fases): 0,52 kg/ tonelada.

O transporte dos explosivos e acessórios para o local de desmonte deve ocorrer em separado.

A ligação dos furos será feita com acessório tipo não elétrico, com o devido retardo entre furos, conforme o plano de fogo. Quanto aos aspectos ambientais da detonação, o planejamento bem executado com detonação furo a furo, minimizará os ruídos e sobrepressão no ar, a propagação e vibrações no solo estimada em um máximo de 5mm/s nos receptores mais próximos.

A busca permanente de melhorias no plano de fogo possibilitará melhor fragmentação da rocha, conformação da pilha após o desmonte, boa qualidade do piso e das paredes laterais (ausência de repés e saliências), além da minimização dos efeitos ambientais decorrentes da detonação por explosivo.

O desmonte será executado de acordo com o plano de fogo que deve ser disponível na mina contendo:

- disposição e profundidade dos furos, quantidade de explosivos, tipos de explosivos e acessórios utilizados, seqüência de detonação, razão de carga, volume desmontado e tempo mínimo de retorno após detonação e ventilação para limpeza dos gases;

- o desmonte será precedido de bloqueio dos acessos e toque de sirene, sendo a área de risco evacuada e vigiada. Os horários e os locais de detonação devem ser explicitados em placas visíveis por todos que tenham acesso à mina subterrânea.

Após o desmonte e antes do retorno dos trabalhadores o responsável deverá verificar as condições de dissipação dos gases e poeiras para confirmar as condições de estabilidade e eliminar os fogos falhados.

CAPÍTULO 7 – DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DO PROJETO NEFELINA

Conforme apresentado no Capítulo 2 (Metodologia), a base para este trabalho foram os quatro Relatórios Técnicos do LACASEMIN, elaborados entre 2003 e 2004. O objetivo destes relatórios foi estudar alguns dos parâmetros associados a possíveis impactos ambientais decorrentes da implantação de um empreendimento mineiro no município de Duque de Caxias - RJ. Ainda de acordo com a metodologia de trabalho, os parâmetros a serem estudados foram dois dos principais efeitos ambientais associados ao desmonte de rocha por explosivos: vibração do terreno e sobrepressão atmosférica. Houve alterações significativas na seleção do método de lavra ao longo deste período, porém a base de informações utilizada permaneceu a mesma. Alguns dados, obtidos do Relatório Ambiental Preliminar, do Plano de Pesquisa e dos Planos de Aproveitamento Econômico do Projeto Nefelina, já foram utilizados em capítulos anteriores. As informações contidas no Estudo de Impacto Ambiental abrangem estes dados e outros de interesse para o entendimento da forma como a vibração do terreno e a sobrepressão atmosférica foram estudadas. Algumas etapas da elaboração do EIA coincidiram com a elaboração dos dois primeiros relatórios do LACASEMIN e após a sua conclusão parte destas informações foram incorporadas ao último relatório do LACASEMIN. Não foi objetivo deste trabalho apresentar todas as etapas de confecção de um EIA, pois nem todas interessam no estudo dos parâmetros. As informações mais importantes para este capítulo são aquelas contidas no Diagnóstico Ambiental apresentadas juntamente com o processo de confecção do EIA.

O EIA estudado traz a descrição de uma seqüência de atividades que tiveram início em 18 de julho de 2002, quando foi protocolizado o pedido de Licença Ambiental Prévia na FEEMA (Processo 202.965/02). Na ocasião, a empresa apresentou um estudo preliminar que descrevia as principais características do empreendimento e identificava os principais impactos ambientais de uma mina prevista inicialmente para ser lavrada a céu aberto. Porém no decorrer do desenvolvimento dos estudos de viabilidade técnica e ambiental, uma outra alternativa tecnológica, a lavra subterrânea, apresentou-se como mais viável. Em 02 de abril de 2003, por meio da Portaria FEEMA nº 1862 foi criado o Grupo de Trabalho que elaborou a Instrução Técnica Específica – ITE nº 17/2003, referente ao

empreendimento de extração e beneficiamento de minério de nefelina-sienito, de interesse da empresa.

A interessada realizou estudos geológicos e tecnológicos com o objetivo de selecionar as melhores alternativas de projeto para a implantação da mina, da usina de beneficiamento e das demais instalações baseadas na sua viabilidade técnica, nos custos econômicos e financeiros e nos impactos ambientais.

Para isso, foi empregado um processo de aproximações sucessivas pelas quais os impactos do empreendimento foram sendo sucessivamente identificados e caracterizados. Ou seja, diferentes etapas foram utilizadas para se avaliar em detalhes a viabilidade ambiental do projeto proposto e encontrar soluções para evitar, reduzir ou compensar os impactos negativos, assim como medidas para potencializar os impactos positivos (se houver). Se a licença prévia – LP for concedida, após a aprovação do EIA, a empresa terá ainda que solicitar a licença de instalação – LI, documento imprescindível para o início da implantação da mina.

Conforme salientado, um estudo de impacto ambiental tem como objetivos:

- Identificar os principais aspectos ambientais relativos ao empreendimento proposto,
- Identificar os principais impactos ambientais, e
- Indicar as medidas de controle para cada um deles.

A empresa responsável pela elaboração do EIA adotou uma metodologia (SÁNCHEZ e HACKING, 2002 apud PROMINER 2003b), na qual já na preparação do EIA devem ser identificados tanto os aspectos quanto os impactos ambientais do empreendimento, relacionando-os às atividades, produtos e serviços pertinentes ao projeto de modo a integrá-los a um programa de gestão ambiental.

A Figura 53 apresenta de forma sintetizada as principais etapas do planejamento e execução do EIA, dando um foco maior à calibração do estudo para direcioná-lo às questões mais significativas ("*scoping*"), concentrando os esforços no estudo dos impactos de maior relevância, seguindo as melhores práticas internacionais de avaliação de impacto ambiental de acordo com os autores citados.

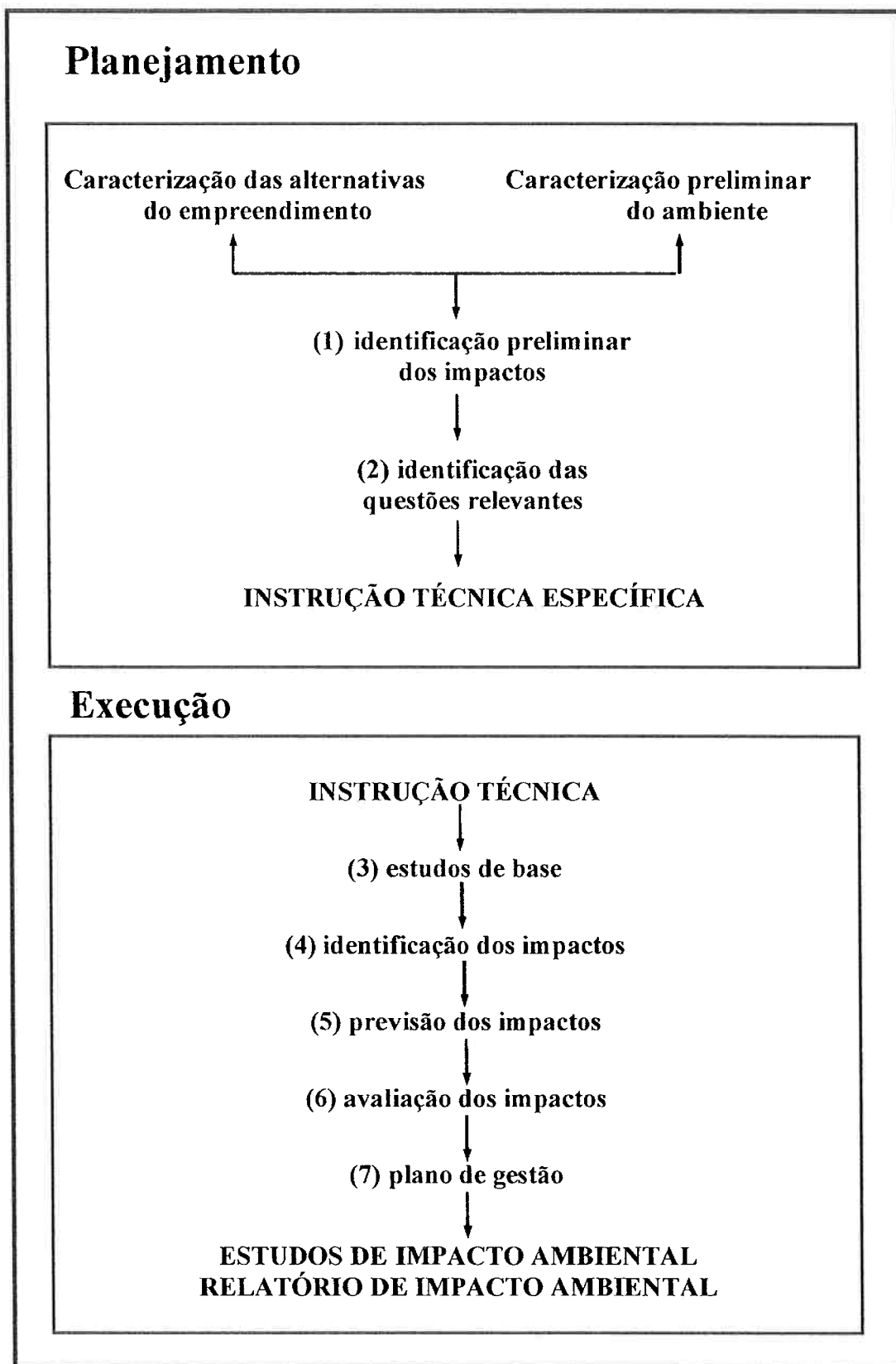


Figura 53. Metodologia de planejamento e preparação de um estudo de impacto ambiental (Sánchez, 2001 apud PROMINER 2003b).

As informações do EIA para a continuidade deste trabalho estão contidas no "Diagnóstico Ambiental" (informações mais relevantes sobre o meio físico, meio biótico e o meio antrópico), sendo parte delas apresentadas neste capítulo. As demais etapas relativas à "Análise dos efeitos e impactos ambientais" (identificação dos efeitos e impactos ambientais e a previsão e avaliação dos efeitos e impactos ambientais) e ao "Plano de gestão ambiental" (medidas mitigadoras e plano de monitoramento) foram abordadas sob o ponto de vista da vibração do terreno e da sobrepressão atmosférica nos capítulos subseqüentes.

7.1. MEIO FÍSICO

O meio físico é apresentado em detalhes no item Diagnóstico Ambiental do EIA do empreendimento (PROMINER, 2003b). O EIA é um documento que deve ser analisado em diversas instâncias por órgão ou órgãos públicos e após a sua aprovação permite-se a sua consulta pública. Neste trabalho, foram abordadas somente as características relacionadas ao estudo dos parâmetros vibração do terreno e sobrepressão atmosférica.

7.1.1. Geologia

7.1.1.1. Geologia regional

A área de estudo está situada na Baixada Fluminense e insere-se no compartimento denominado Cinturão Móvel Atlântico, embasamento que faz parte do Complexo Paraíba do Sul, que se estende desde os limites dos estados de Minas Gerais e Bahia até o litoral sul paulista, abrangendo partes dos estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo. Importantes entidades morfológicas do sudeste brasileiro, como a Serra do Mar, parte da Serra da Mantiqueira e a Baixada Fluminense fazem parte deste complexo. O termo *Paraíba*, no Rio de Janeiro, se refere essencialmente a gnaisses e migmatitos intensamente tectonizados, ao passo que o termo *Complexo* designa unidades formais constituídas de diversos tipos de rochas, de quaisquer classes ou que apresentam estruturas muito complicadas, em lugar do termo litológico (PROMINER, 2003b).

O Cinturão Móvel Atlântico é "uma faixa que se estende ao longo do litoral, correspondendo a um cinturão móvel brasileiro, onde se encontram dispostas lado a

lado, como resultado de uma tectônica compressiva, litologias das entidades mais antigas e das geradas neste ciclo” (RADAMBRASIL, 1983 apud PROMINER, 2003a). Sucessivos ciclos orogênicos, associados a diversos metamorfismos sobre as rochas produziram a intrusão de novos corpos graníticos e a metamorfose de rochas pré-existentes, falhamentos e dobramentos.

A ocorrência de gnaisses bandados, milonitos e migmatitos de idade pré-cambriana é bastante expressiva, estendendo-se por quase toda a área do compartimento, formando a unidade indivisa. Os gnaisses-granitóides, de composição predominantemente granítica, também se destacam neste compartimento, porém de maneira menos significativa e em ocorrências esparsas. As rochas charnockíticas ocorrem de forma restritiva no compartimento e, finalmente, os quartzitos, mármore, anfíbolitos e metabásicas resumem-se a lentes embutidas na unidade indivisa. Esta, por sua vez é constituída por gnaisses e migmatitos em geral. No estado do Rio de Janeiro, recebe a denominação de unidade Santo Eduardo e Itaocara. Próximo ao Rio Paraíba do Sul predominam os milonitos. Os gnaisses apresentam um bandamento marcante, com alternância de leitos claros e escuros muito contínuos e espessuras variadas, ricas em porfiroblastos (PROMINER, 2003a).

Segundo o RADAMBRASIL, a subunidade gnaisses granitóides é “expressiva em toda área de ocorrência do Complexo Paraíba do Sul, abrange uma gama de variedades litológicas orto e paraderivadas, que refletem, junto aos granitos, uma fase de granitização e granitogênese generalizada ao longo do Cinturão Móvel Atlântico, no encerramento da orogênese brasileira” (PROMINER 2003b). A subunidade rochas enderbíticas e charnockíticas ocupa o extremo nordeste da Serra do Mar, a parte setentrional do Estado do Rio de Janeiro, estendendo-se por uma faixa com cerca de 200 km até o litoral do Espírito Santo. Esta unidade intimamente associada aos gnáisses granatíferos e kinzigitos do Complexo Paraíba do Sul. A subunidade gnaisses granatíferos e kinzigitos é bastante expressiva ao longo da área de ocorrência do Complexo Paraíba do Sul, compreendendo uma faixa que vai desde as proximidades do rio Doce até a cidade do Rio de Janeiro. Também são observadas pequenas faixas que se localizam entre Mangaratiba e Três Rios.

Além do Complexo Paraíba do Sul, que constitui o embasamento do Cinturão Móvel Atlântico, identificam-se outras unidades supracrustais de idades mais novas,

rochas alcalinas e corpos graníticos intrusivos. As rochas alcalinas remontam ao Cretáceo Superior/Terciário Inferior e se apresentam em formas de diques e brechas e abrangem áreas de dimensões variadas. Dentre os corpos graníticos intrusivos destacam-se as "suítes" intrusivas Três Córregos, Ubatuba e Serra dos Órgãos (parte da Serra do Mar que se localiza nos municípios de Petrópolis, Teresópolis e adjacências), onde se insere a área de estudo. Possivelmente, as rochas graníticas teriam sido geradas em ambiente geossinclinal ou seriam fruto de uma granitogênese resultante de um choque de placas tectônicas (entre a americana com a africana), no Proterozóico Superior (CIDE, 1998 apud PROMINER 2003b).

No Cinturão Móvel Atlântico as intrusões alcalinas são observadas na porção central deste compartimento, sendo observados, sobretudo, nos municípios de Nova Iguaçu, Duque de Caxias, Rio Bonito e Cabo Frio. Especificamente na área da poligonal, ocorre uma "associação de rochas leucocráticas plutônicas e metassomáticas (fenitos), ou metamórficas, representadas por lichfielditos (albita-microclina-nefelina sienitos) e sienitos saturados e supersaturados (nordmarkitos), denominado Complexo Alcalino de Canaã. A origem das rochas alcalinas tem sido discutida por vários autores, por serem raras e por perfazerem pouco volume" (RADAMBRASIL, 1983 apud PROMINER, 2003b).

O Complexo Canaã possui em torno de 15 km², com poucos afloramentos que estão confinados às partes externas do complexo, junto aos contatos com gnaisses e migmatitos pré-cambrianos do Complexo Paraíba do Sul. O formato do corpo alcalino gerou algumas controvérsias, indo da forma tabular, com espessura entre 5m e 15m (encaixado concordantemente aos gnaisses) até uma associação de rochas ígneas, produtos metassomáticos e rochas mais antigas que escaparam ao metassomatismo, configurando-se o sienito nefelínico (de caráter foliado e bandado indistinto a rocha mais representativa do complexo). A origem e a idade das rochas alcalinas de Canaã ainda não são conhecidas. Alguns autores consideram que as rochas se formaram no final do Proterozóico, outros de idade pré-cambriana e alguns consideram-nas do Cretáceo (PROMINER, 2003b).

Na região da Serra dos Órgãos, além da "suítes" intrusivas observam-se os sedimentos quaternários aluvionares, compreendidos por depósitos fluviais, fluviomarinhos e fluviolacustres. Trata-se de sedimentos acumulados em ambientes diversos, sendo freqüentes ao longo do litoral. Os materiais que constituem os

depósitos quaternários apresentam características muito semelhantes, geralmente cascalhos, areias e siltes inconsolidados, com estratificações cruzadas e gradativas. As maiores ocorrências das aluviões localizam-se no antigo leito do rio Paraíba do Sul, em seu delta, e também no contorno da baía da Guanabara, nas proximidades da área de estudo. A Figura 54 mostra o mapa da geologia regional onde está inserido o empreendimento.

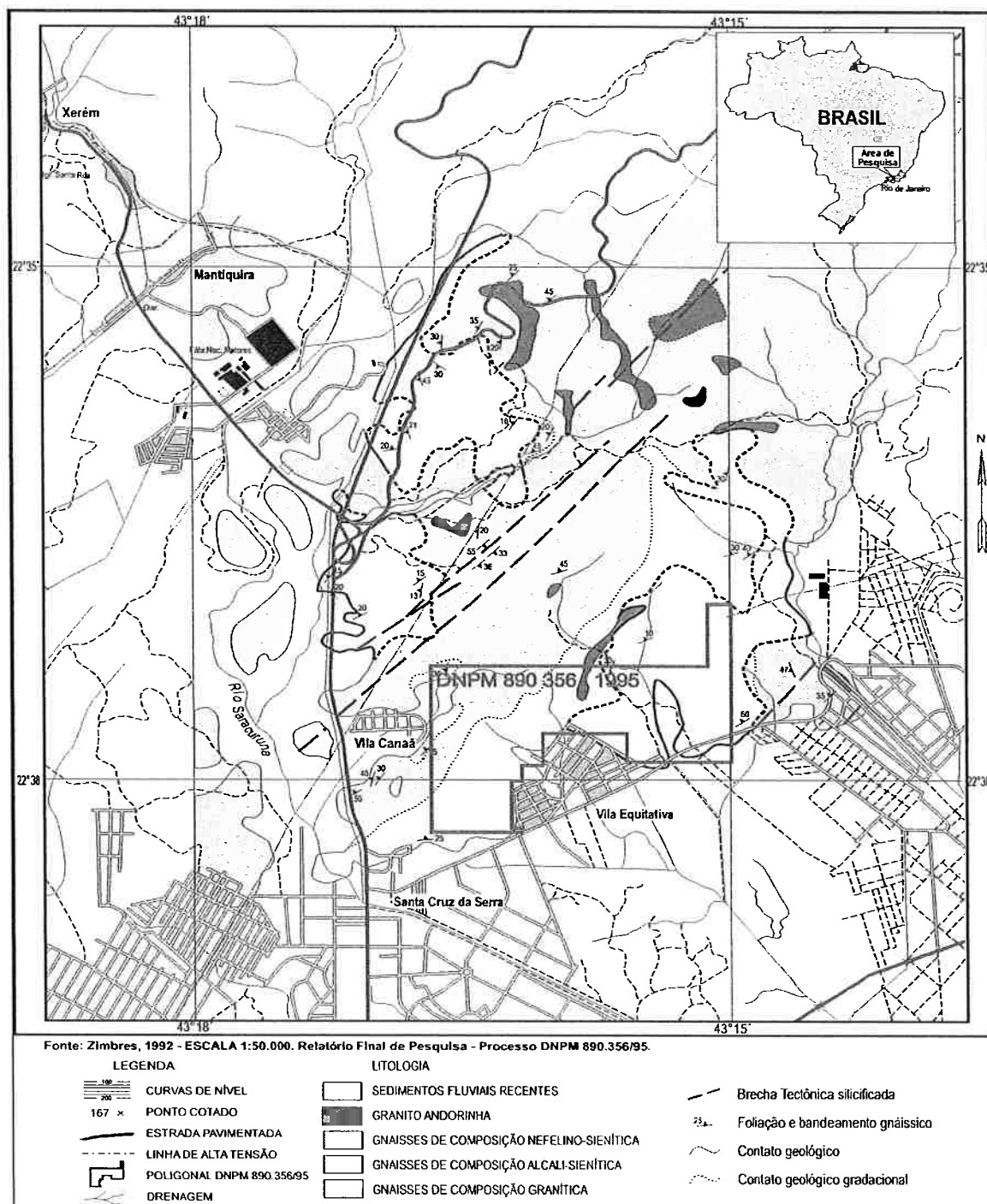


Figura 54. Geologia regional do empreendimento (PROMINER, 2003a).

7.1.1.2. Geologia local

Com relação à geologia da Fazenda do Surdo, destaca-se a presença em ambos os lados do vale dos depósitos minerais de nefelina-sienito, que ocorrem dentro das rochas pré-cambrianas gnáissico-graníticas.

A área de pesquisa engloba rochas alcalinas encaixadas em gnaisses. O maciço de nefelina-sienito é recoberto por depósitos eluvionares e coluvionares. O nefelina-sienito apresenta textura gnáissica, devido à orientação da biotita. Geologicamente, esta área é similar à jazida de Blue Mountain, no Canadá. A coluna geológica é apresentada pela Tabela 14 e sintetiza as informações obtidas (PROMINER, 2004).

Tabela 14. Coluna Geológica Regional - Complexo Alcalino de Canaã (PROMINER, 2004)

| Idade | | Litologia | Evento |
|----------------------|-----------------|---|--|
| Cenozóico | | Colúvios, aluviões e terraços com material detríticos nas baixadas. | Intemperismo físico e químico. |
| Mesozóico | | Brechas de falha e/ou fraturamentos | Soerguimento da Serra dos Órgãos |
| | | Brechas de falhas, diabásio e traquíticos. | "Rifteamento" do Atlântico |
| Paleozóico | | Granitos pós-tectônicos(?) e Pegmatitos. | Brasiliano Tectonismo, migmatização e metamorfismo. |
| Pré-cambriano | Superior | Nefelina-sienito de Canaã. | |
| | Médio | | |
| | Inferior | Granitos, gnaisses, migmatitos e sienitos. | Transamazônico Tectonismo, migmatização e granitização. |

Das mais novas às mais antigas, as rochas encontradas no depósito são: Nefelina-Sienito e rochas alcalinas relacionadas; Diabásio; Gnaisses / Granitos; Brechas; Solo e Saprolito. Uma breve descrição delas é apresentada na seqüência.

O mapa geológico representado pela Figura 55 mostra que a maior incidência de sienitos e nefelina-sienitos está localizada na parte leste da área estudada. O restante da área é ocupado por gnaisses, granitos e na região de baixada por sedimentos recentes. Cerca de 70% da área é constituída por rochas do complexo Canaã.

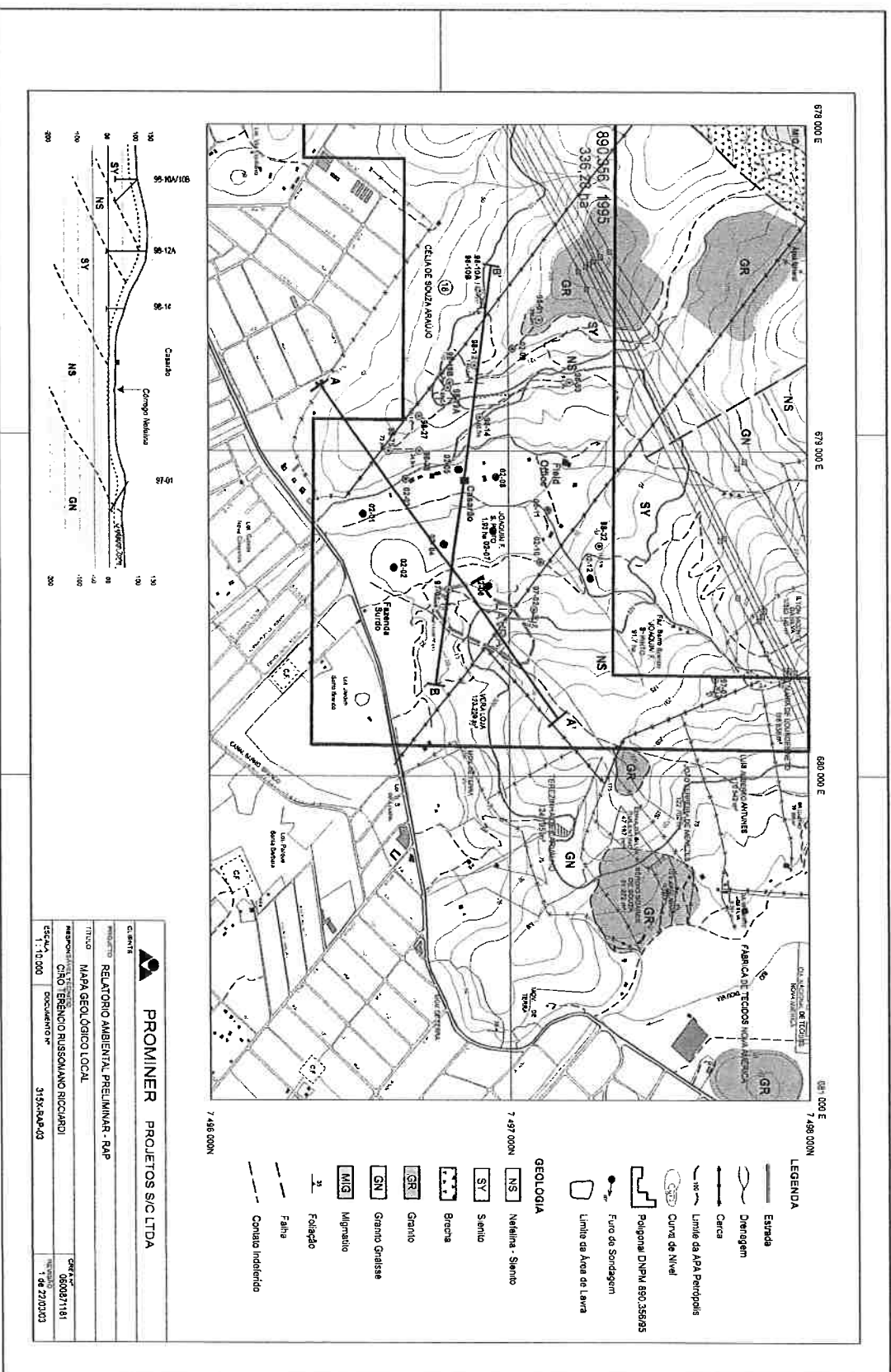


Figura 55. Geologia local do empreendimento (PROMINER, 2003a).

7.1.1.2.1. Descrição dos principais tipos litológicos

Estes tipos litológicos são apresentados com mais detalhes no Relatório de Reavaliação de Reservas e Novo Plano de Aproveitamento Econômico (PROMINER, 2004).

Aluviões, Eluviões e Coluviões: Os aluviões cobrem as calhas das drenagens. Os depósitos eluvionares e coluvionares podem chegar a dezenas de metros e mascaram a geologia principalmente na região de baixada. São constituídos de material terroso, sem textura aparente e com blocos de rocha de dimensões que podem chegar a dezena de metros. No caso, o nefelina-sienito apresenta canelura de dissolução.

Nefelina-Sienito e rochas alcalinas relacionadas: O Nefelina Sienito possui quantidades variáveis de nefelina, microclínio, ortoclásio e plagioclásio como principais componentes minerais, com quantidades menores de biotita, magnetita, calcita e pirita e apresenta traços de sodalita e cancrinita. A sua complexa história estrutural é evidenciada pela alteração hidrotermal fraca a forte, com foliações de fraca a forte, granulação média a pegmatítica e levemente acinzentado. A nefelina é caracterizada por grãos de cor marrom claro em contraste ao feldspato, de cor branca a laranja e possuem um brilho que vai de enfumaçado a vítreo. O Nefelina-Sienito é a litologia mais importante encontrada no depósito de minério da Fazenda do Surdo, ocorrendo em dois corpos distintos. Rochas alcalinas portadoras de nefelina com gradações texturais e composicionais podem ser observadas. Elas variam de tipicamente leucocráticas, nefelina-sieníticas de granulação grossa a média, até rochas sieníticas de cor cinza escuro, ricas em biotita, melanocrática, com granulação de fina até média.

Diabásio: Os diques de diabásio possuem granulação fina, cor negra a verde escura, às vezes mostrando evidências de alteração hidrotermal. Eles cortam todas as outras litologias encontradas na propriedade, ocupando falhas e fraturas e com orientação e distribuição ainda não determinadas. Existe forte tendência para a presença destes corpos junto às zonas de contato entre as rochas de nefelina-sienito e sienito, e também junto aos gnaisses graníticos encaixantes, em especial no SE do depósito leste.

Gnaisses / Granitos: Foram encontradas rochas regionais gnáissicas foliadas com grande diversificação litológica de granitóides, incluindo gnaisses, migmatitos, pegmatitos, sienitos róseos e granitos propriamente ditos. Há variação de cor, textura, tamanho de grão, caráter foliado ou não, composição mineralógica inclusive para litologias graníticas. Em sua composição este tipo de rocha é granítica, pobre em alumina, apresentando quartzo com frequência, porém a nefelina nunca é observada. Compreende a unidade de maior ocorrência dentro da área mapeada, encobrindo boa parte do corpo oeste de nefelina-sienito.

Brechas: A rocha cataclástica ou brechada, denominada brecha foi a última litologia identificada no exame do depósito, estando associada a falhas e caracterizada por fragmentos de rochas quebrados e angulares, que podem ou não ser re-cimentados com quartzo, calcita ou hematita. Aparece raramente, sendo concentrada em alguns poucos furos.

Solo e Saprolito: A zona de solo e saprolito contém muitos matacões de nefelina-sienito e de outras unidades litológicas que variam desde blocos com metro de diâmetro até blocos maiores, angulares, com vários metros de dimensão. Os solos são pouco espessos, mas permitem um crescimento de pasto e pequenas árvores na parte leste do vale. Não há afloramentos de rochas do lado oeste do vale e na maior parte da área, a unidade de solo e saprolito tem até 35 metros de espessura.

7.1.1.2.2. Características das seções geológicas

As seções geológicas são apresentadas na Figura 56, mostrando uma geometria lenticular e descontínua dos depósitos. Existem zonas estéreis entremeadas nos corpos fragmentados de nefelina-sienito e também lineamentos tectônicos fotointerpretados, com estruturas NW-SE e NE-SW. Essas estruturas encontram-se associada à presença de brechas e rochas cataclásticas de ocorrência localizada (PROMINER, 2004).

7.1.2. Geomorfologia

Os Domínios Morfoestruturais são compartimentações do relevo em sua maior grandeza que se subdividem em regiões e unidades geomorfológicas. Os Depósitos Sedimentares que tiveram origem a partir do Terciário Superior e as Faixas de Dobramentos Remobilizados que remontam ao Arqueozóico e Proterozóico são os dois Domínios que compõem o estado do Rio de Janeiro. A Serra dos Órgãos, denominação local para a Serra do Mar, tem altitude média acima dos 2.000 metros, constituindo-se, segundo Ruellan, 1944 apud PROMINER (2004) "um bloco falhado, modelado pela erosão fluvial e basculado para o norte. É um escarpamento devido a uma flexura ou a uma falha que abaixou os gnaisses e as rochas eruptivas que os penetram". A escarpa voltada para o mar é abrupta, enquanto a voltada para o interior apresenta declives suaves.

A área da mina encontra-se nos Domínios das Faixas de Dobramentos Remobilizados, que são caracterizadas pelas evidências de movimentos crustais, com marcas de falhas, deslocamentos de blocos e falhamentos e transversos, impondo um evidente controle estrutural sobre a morfologia atual, dada a extensão das linhas de falha, escarpas de grandes dimensões e relevos alinhados, coincidindo com os dobramentos originais e/ou falhamentos mais recentes, que por sua vez atuaram sobre antigas falhas (RADAMBRASIL, 1983 apud PROMINER, 2004). Ela encontra-se também na Unidade denominada Serra dos Órgãos que encontra-se entre as unidades geomorfológicas Colinas e Maciços Costeiros (sul e leste) e alinhamentos de Cristas do Paraíba do Sul (norte e oeste). Esta unidade tem formato alongado e distribui-se continuamente, no sentido sudoeste-nordeste sendo embasada por gnaisses granitóides e migmatitos, composta pelas escarpas escalonadas e festonadas e pelo seu reverso. Nesta Unidade as escarpas apresentam-se sulcadas por ravinas e rios torrenciais que as dividem em espigões que chegam até as baixadas (Figura 57).

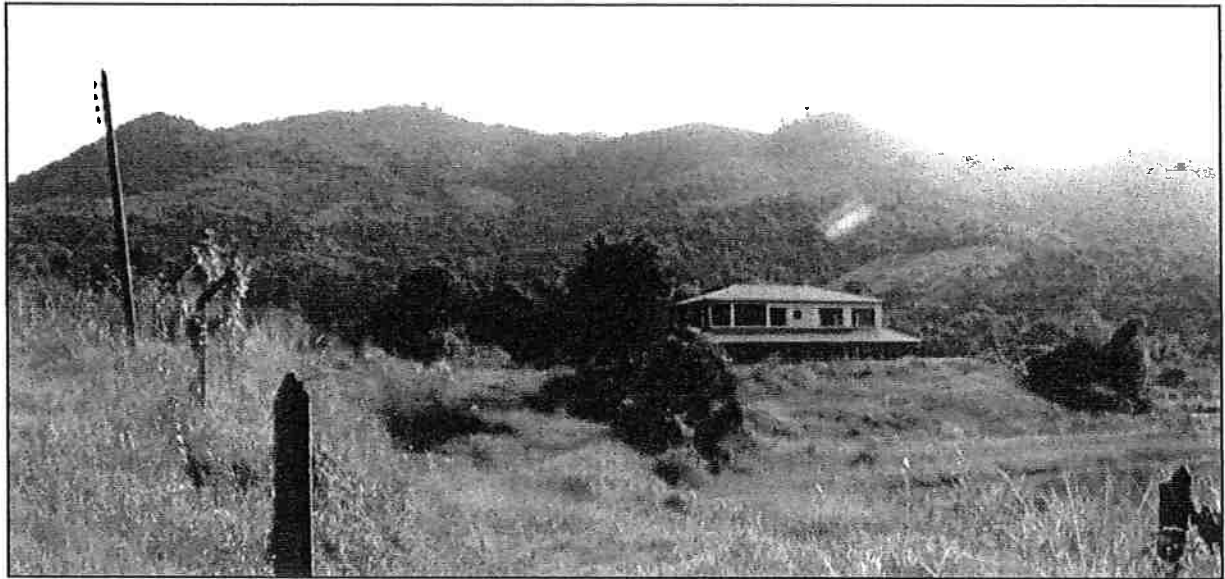


Figura 57. Unidade Serra dos Órgãos (ao fundo), embasada por gnaisses granitóides e migmatitos, nos limites de ocorrência do Complexo Alcalino de Canaã, compreendida no extremo noroeste dessa Unidade (PROMINER, 2003).

As formações florestais montanas e submontanas da região concentram-se nas escarpas e na maior parte de seus reversos, apresentando vegetação secundária e pastagens, que favorecem a atuação de processos morfogenéticos, como por exemplo, os movimentos de massas.

A Região das Colinas e Maciços Costeiros contempla a unidade geomorfológica Colinas e Maciços Costeiros, indo ao longo da faixa costeira, desde a baía de Sepetiba até a porção norte-nordeste do Estado do Rio de Janeiro. Topografia deprimida de baixa altimetria em relação às demais unidades e estrutura fraturada e dobrada caracterizam esta unidade. As altitudes locais das colinas não ultrapassam 90 m. onde predominam sedimentos areno-siltosos e/ou areno-argilosos com concentrações ferruginosas. Os movimentos de massa são bastante significativos nas colinas, devido à existência de espessos mantos de alteração enquanto que a cobertura vegetal predominante nas colinas são pastagens com a mata secundária encontrada somente em áreas mais elevadas, conforme observado na Figura 58.

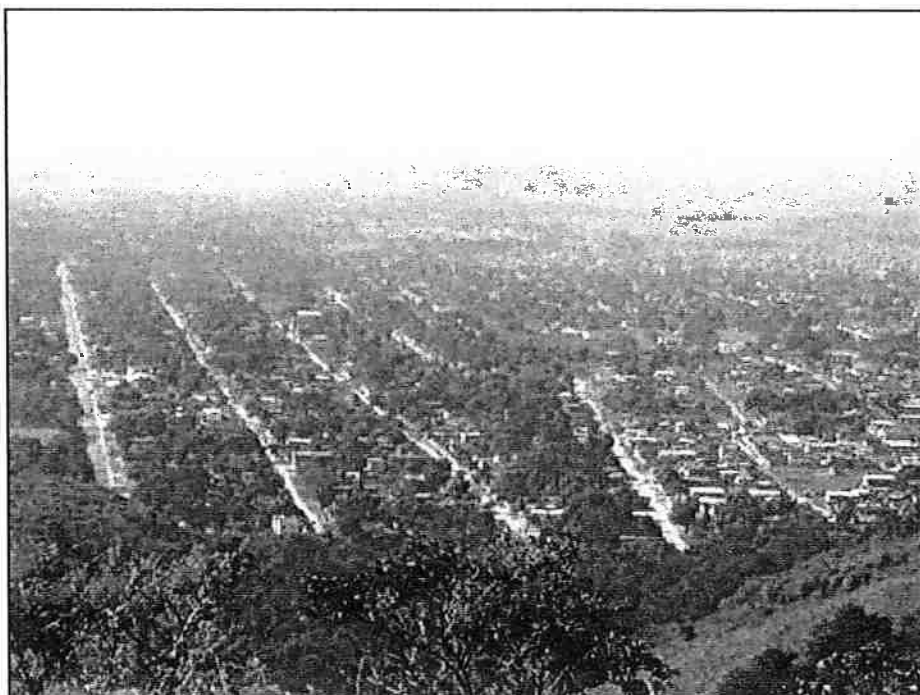


Figura 58. Feições da Unidade geomorfológica Colinas e Maciços Costeiros, nas adjacências da área de estudo (ao sul). Esta Unidade distribui-se continuamente ao longo da faixa costeira carioca. Trata-se de uma Unidade com topografia deprimida, de altimetria baixa e pouco acidentada, muito procurada para ocupação pela população, como é o caso dos bairros do Barro Branco (à esquerda), Nova Campinas (à direita) e Campos Elíseos (ao fundo) (PROMINER, 2004).

7.1.3. Clima, hidrografia e hidrogeologia

No estudo do clima de uma determinada região devem ser considerados vários fatores, divididos em duas classificações gerais:

- os fatores estáticos: latitude, a altitude, a maritimidade e o relevo
- os fatores dinâmicos: massas de ar e as correntes perturbadas do sul que provocam chuvas frontais e declínio acentuado de temperatura.

O estado do Rio de Janeiro, a despeito de sua pequena extensão, apresenta uma grande diversidade climática devido à sua localização em baixas latitudes e à presença do oceano Atlântico envolvendo a porção leste e sul do Estado. A temperatura média é influenciada pela associação relevo-altitude, que também é responsável pelo aumento da turbulência do ar, que provocam os nevoeiros, neblinas e chuvas orográficas. De acordo com PROMINER (2004) A ascensão do ar provoca aumento das precipitações e a minimização das temperaturas (a cada 100

m a temperatura cai entre 0,5°C e 1,0°C nas baixas latitudes). Ventos de leste, sudeste e nordeste sopram durante o ano todo e devido ao fato do estado se encontrar no centro de Alta Pressão Subtropical as temperaturas médias e a umidade relativa do ar são mais ou menos elevadas, apresentando invariavelmente tempo bom, com céu azul e limpo. Chuvas ocasionais frontais e queda na temperatura ocorrem eventualmente.

“O relevo e o clima são os principais fatores a influir na hidrografia do Estado do Rio de Janeiro, respondendo não só pelo regime de seus rios, mas também pelo perfil longitudinal dos mesmos e pela disposição e forma das redes hidrográficas” (CIDE, 1998 apud PROMINER, 2004). Christofolletti, 1980 apud PROMINER (2004) afirma que a área já sofreu uma intensa atividade tectônica, onde se observa o predomínio de rochas ígneas e metamórficas pré cambrianas, datadas do Arqueozóico e Proterozóico. A presença de dois tipos de rede de drenagem, a retangular e a dendrítica esta relacionada a estas rochas. A primeira ocorre em áreas submetidas a movimentos tectônicos, em linhas de fratura e falhas, sendo, portanto primordial o condicionamento estrutural na definição da rede de drenagem. A drenagem dendrítica, por sua, vez desenvolve-se tipicamente sobre rochas de resistência uniforme ou em estruturas sedimentares horizontais. Este tipo de drenagem também é designada como arborescente, pois os tributários do rio principal distribuem-se em todas as direções sobre a superfície do terreno.

Uma grande preocupação em empreendimentos deste porte é a possível descaracterização do fluxo subterrâneo das águas, podendo prejudicar os regimes de fluxo, as reservas hídricas subterrâneas e a sua qualidade ambiental. Em termos hidrogeológicos, a área é constituída por dois sistemas distintos: os aquíferos fraturados, constituídos pelas rochas cristalinas, caracterizados pelo acúmulo de água no interior de suas fraturas (decorrentes de esforços tectônicos por elas sofridos) e os aquíferos porosos constituídos pelos sedimentos colúvio-aluvionares e pelas coberturas de solo que recobrem as rochas cristalinas, em áreas de relevo mais plano). Os dois sistemas descritos constituem sistemas freáticos onde a circulação e acúmulo da água são condicionados pela gravidade ao passo que a recarga ocorre por toda extensão da área, com os fluxo direcionados pela topografia. A abertura de minas subterrâneas nas colinas à leste e à oeste da Fazenda do Surdo, segundo a PROMINER (PROMINER, 2003b), não provocará modificação

significativa no relevo local. Além do que, a localização das minas será no interior de maciços rochosos que não apresentam potencialidade de influir nos aquíferos subterrâneos. As áreas de colina/morro sobrejacentes às extrações possuem alta declividade, sendo constituídas por rochas cristalinas fraturadas com pouca capacidade de acumulação de água subterrânea.

7.1.4. Níveis de Ruído

O conceito de poluição sonora compreende os níveis de ruído emitidos por uma fonte de poluição sonora que se sobrepõem aos níveis de ruído de fundo já presentes no local (devido às condições físicas locais e aos níveis de atividade humana), e que causam incômodo às pessoas. (LACASEMIN, 2003). Embora o ruído ambiental não faça explicitamente parte deste trabalho, alguns desdobramentos de seu estudo foram aplicados sendo, portanto, necessária a referência (ainda que de forma sintética) a ele na caracterização do meio físico. Estudos de previsão da magnitude e de monitoramento futuro aplicados ao ruído possuem elementos em comum com o estudo da sobrepressão atmosférica e da vibração por incorporarem o conceito de "receptor sensível mais próximo", ou seja, aquele que está mais próximo da divisa com a propriedade do empreendimento.

As operações realizadas em uma mineração que são consideradas fontes de emissão de ruído são as atividades de preparação das frentes de lavra (abertura de acessos, remoção do estéril, carregamento e transporte até a área de disposição de estéril), a lavra (perfuração, desmonte e carregamento), manuseio do material até a planta do beneficiamento (britagem, rebitagem e pilhas) e as atividades do beneficiamento (alimentação e estocagem em silo, alimentação do secador, secagem e despoeiramento de finos, moagem, alimentação do sistema de classificação e o sistema de classificação).

Conforme a Norma ABNT NBR 10.151, o nível de critério de avaliação para ambientes externos é definido pelos valores apresentados na Tabela 15.

Tabela 15. Níveis de ruído limite para ambientes externos - dB(A) (BRASIL, 2000)

| Tipo de Áreas | Diurno | Noturno |
|--|--------|---------|
| Áreas de sítios e fazendas | 40 | 35 |
| Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas | 50 | 45 |
| Área mista, predominantemente residencial | 55 | 50 |
| Área mista, com vocação comercial e administrativa | 60 | 55 |
| Área mista, com vocação recreacional | 65 | 55 |
| Área predominantemente industrial | 70 | 60 |

Os pontos escolhidos para o monitoramento de ruído também podem ser utilizados no monitoramento sismográfico. Segue-se a sua descrição (IRAMINA et al., 2004) e apresentação na Figura 59:

- Bairro Parque Equitativa: Está localizado à sudoeste do futuro empreendimento e apresenta ruas bastante tranqüilas, com baixo volume de tráfego interno (Figura 60).
- Bairro Barro Branco: Está localizado a sul e sudeste do futuro empreendimento e possui ruas com intenso trânsito de pessoas e tráfego local mais intenso que no bairro Parque Equitativa.
- Área interna da empresa na Fazenda do Surdo;
- Vila Canaã: Bairro situado 2,4 km a oeste da portaria da Fazenda do Surdo. Muito provavelmente, após o início das atividades mineiras este bairro não sofrerá influência do ruído gerado nas dependências do empreendimento, representando uma área com níveis de ruído de referência

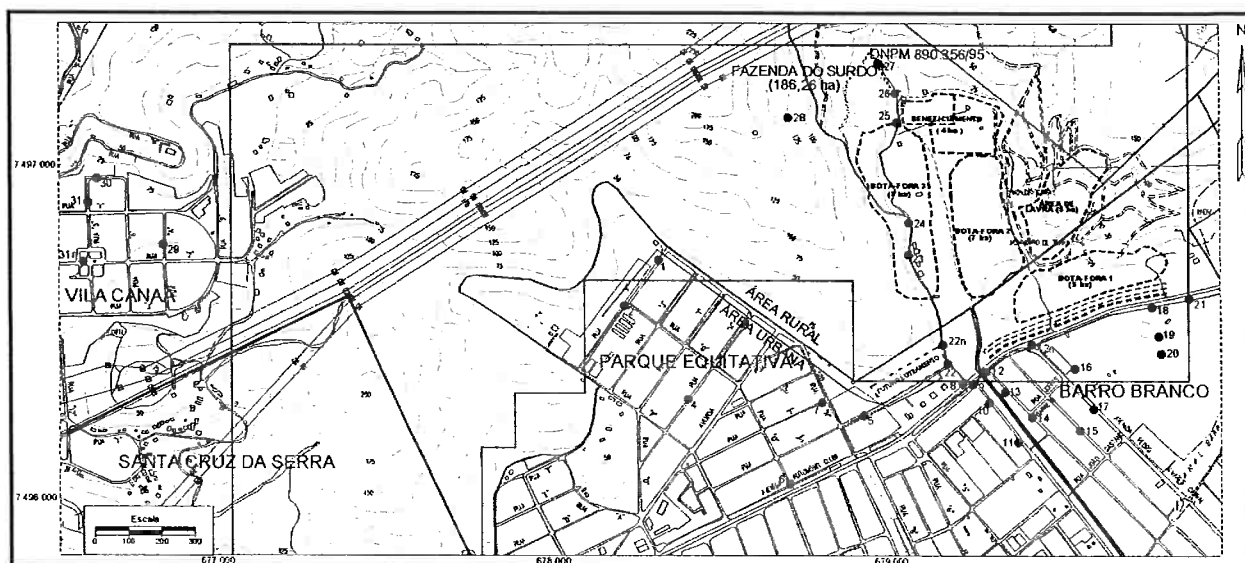


Figura 59. Mapa de localização dos Pontos de Medição de Ruído e aplicados aos estudos de vibração do terreno e sobrepressão atmosféricas (IRAMINA et al., 2004).



Figura 60. Ponto de ruído monitorado no Parque Equitativa, na Rua Francisco Acha (IRAMINA et al., 2004).

7.1.5. Vibração do terreno e sobrepressão atmosférica

A primeira coisa que se associa ao estudo dos níveis de vibração e de sobrepressão atmosférica gerados no desmonte de rocha por explosivos é a sua medição. Para tanto, utilizam-se sismógrafos de engenharia locados em pontos internos, próximo ao local de desmonte, e externos, nas residências mais próximas ao limite da propriedade do empreendimento. O segundo passo é comparar estes limites obtidos com algumas normas ou padrões vigentes em nível local, regional ou nacional, de modo a estar em conformidade com a norma mais restritiva. Isto está baseado no conceito de poluição (matéria ou energia lançada num ambiente que ultrapassa algum limite estabelecido)

Os limites máximos admissíveis para vibração de terreno e sobrepressão atmosférica são definidos pela norma brasileira ABNT-9653/05, que preconiza os limites admissíveis para danos estruturais. Nesta norma, a velocidade de partícula não deve exceder entre 15 mm/s e 50 mm/s (baseado na frequência monitorada) e a sobrepressão atmosférica, por sua vez, não deve exceder 134 dB(L).

Existe como referência para limites de níveis de vibração para incômodo da população a norma da CETESB-D7.013 - Mineração por Explosivos (SÃO PAULO, 1992), válida apenas para o estado de São Paulo. Esta norma estabelece como 3,0 mm/s o limite para a componente vertical da velocidade de partícula e 4,2 mm/s para a resultante das três direções de velocidade de partícula. Para a sobrepressão atmosférica ela limita em 128 dB(L).

Não há medições dos níveis de vibração do terreno e sobrepressão atmosférica nas áreas de entorno da Mineração Duque de Caxias Ltda. uma vez que ainda não há atividades de desmonte de rocha no local. Isto tornou o estudo um pouco mais complexo, pois se houvesse detonações de uma produção em escala poder-se-ia simplesmente medir os níveis de vibração do terreno e sobrepressão atmosférica e compará-los a alguma norma de modo a ajustar o plano de fogo a níveis aceitáveis. O objetivo do estudo foi fazer uma avaliação teórica dos efeitos da detonação de explosivos sobre a vibração e sobrepressão e fornecer elementos ao EIA que permitissem uma melhor compreensão destes fenômenos e demonstrar que as estimativas seguiram um método científico e confiável.

7.2. MEIO BIÓTICO

Existe uma infinidade de informações a respeito do meio biótico que são relevantes a outros estudos que compõem um EIA de um empreendimento deste tipo e porte, porém foram apresentadas somente as informações relevantes sobre o meio biótico que possam de alguma forma estar relacionados à vibração do terreno e à sobrepressão atmosférica.

7.2.1. Flora Regional

A vegetação da região onde se pretende implantar o empreendimento é representada pela Floresta Ombrófila Densa da Mata Atlântica, uma das florestas tropicais mais ameaçadas de extinção devido às constantes agressões ou ameaças de destruição dos habitats nas suas variadas tipologias e ecossistemas associados.

7.2.2. Flora do empreendimento

A Floresta Ombrófila Densa, em diferentes estágios de regeneração, caracteriza a vegetação da Fazenda do Surdo e adjacências, estando presente nos locais que sofreram maior pressão antrópica (ocupação humana, criação de animais domésticos e desenvolvimento de atividades agropecuária e piscicultura). A vegetação da floresta remanescente ocorre de forma isolada, principalmente nas cotas mais elevadas e encostas íngremes. Nas cotas mais baixas os vestígios da passagem de gado pelo local são visíveis pela escassez da regeneração e pela compactação do solo nos locais mais planos e úmidos.

“Os remanescentes de mata ciliar mais preservados estão situados no sítio Alto Panorama e apresentam espécies pioneiras e secundárias como o capixingui (*Croton sp.*), guaçatonga (*Trema micrantha.*), embaúba (*Cecropia sp.*), aroeira (*Schinus terebinthifolius*), angico (*Anadermonthera sp.*) e o ingá (*inga sp.*). A camada de serrapilheira é fina e pouco decomposta. Os indivíduos apresentam diâmetro máximo de 10cm e não há ocorrência de remanescentes arbóreos emergentes. Na porção sudoeste da Fazenda do Surdo ocorrem áreas úmidas, formadas a partir de barramentos situados ao longo dos rios e córregos, que constituem os pequenos açudes utilizados para piscicultura. A vegetação é caracterizada por gramíneas, ciperáceas e ervas hidrófilas comuns a estes ambientes e espécies arbustivas como

a cruz-de-malta (*Ludwigia sp.*), o assa-peixe (*Vernonia polyanthes*), sendo estas de grande valor colonizador. A sudeste da Fazenda do Surdo a empresa estará recuperando uma área que abrange taludes erodidos em função da atividade de antigas saibreiras além de atividades agropecuárias, causando a exposição do solo. A vegetação que atualmente caracteriza a área é composta por gramíneas e será retaludada e revegetada com mudas de espécies nativas da região, bem como a recomposição da mata ciliar do córrego da Fazenda do Surdo. As atividades de recuperação tiveram início em 2003 com o plantio de cerca de 2.000 mudas ao sul da Fazenda do Surdo” (PROMINER, 2004).

O local da implantação da lavra, do beneficiamento e infra-estrutura a vegetação apresenta-se totalmente descaracterizado devido a espécies cultivados por antigos moradores da fazenda. Planeja-se executar o projeto com um planejamento ambiental prévio, ocupando as áreas antrópicas para implantação da infra-estrutura, beneficiamento e área de lavra, preservando a vegetação remanescente e recuperando as áreas degradadas ou que apresentam riscos ambientais, além da implantação de medidas mitigadoras, minimizando os impactos ambientais do Projeto Nefelina.

7.3. MEIO ANTRÓPICO

Assim como no caso do meio biótico foram abordados somente informações relevantes que estejam associadas à vibração do terreno e à sobrepressão atmosférica.

7.3.1. Perfil sócio-econômico regional

O município de Duque de Caxias faz parte da Região Metropolitana do Rio de Janeiro – RMRJ. Trata-se do segundo maior aglomerado urbano do Brasil, compreendendo os municípios de Belford Roxo, Guapimirim, Itaboraí, Itaguaí, Japeri, Magé, Mangaratiba, Maricá, Nilópolis, Niterói, Nova Iguaçu, Paracambi, Queimados, Rio de Janeiro, São Gonçalo, São João de Meriti, Seropédica e Tanguá.

7.3.2. O município de Duque de Caxias

O município de Duque de Caxias possui 442 km² de extensão e faz limites com os municípios de Miguel Pereira (norte), Petrópolis (nordeste), Nova Iguaçu (oeste), Magé (leste), Belford Roxo e São João do Meriti (sudoeste). Atualmente o município está dividido em 4 distritos: Duque de Caxias, Campos Elísios, Imbariê e Xerém. A área de estudo está inserida no Distrito de Imbariê.

7.3.3. Estudos sócio-econômicos

Segundo município em importância econômica no Estado, Duque de Caxias concentra um importante parque industrial, com destaque para as indústrias química, metalúrgica, mobiliária, mecânica e de produtos alimentícios. Apesar disso, trata-se de uma cidade-dormitório, apresentando uma população predominante de baixa renda que desempenha atividades no setor terciário, na cidade do Rio de Janeiro. A Refinaria de Duque de Caxias e a Fábrica Nacional de Motores (extinta) deram início à transformação do município, atraindo outras indústrias ligadas à produção de gás e produtos químicos. Desde o final da década de 80 observa-se que o setor secundário, com sucessivas quedas de empregabilidade, vem perdendo espaço para o setor terciário (comércio e prestação de serviço) que apresenta maior potencial em termos de alocação de mão-de-obra (PROMINER, 2003).

7.3.4. Uso do solo

Atualmente as áreas planas, como as várzeas dos rios e as áreas ocupadas por relevo constituído por morrotes do tipo meia-laranja encontram-se ocupadas quase que totalmente. A ferrovia e a rodovia exerceram papéis fundamentais no processo de ocupação inicialmente através da Rio-Petrópolis e a BR 040, no eixo norte sul e depois através da estrada Rio-Magé (BR 116) e a avenida Automóvel Clube, sua paralela ao norte. Estes dois fatores refletem os índices de ocupação do município (PROMINER, 2003).

Basicamente, Duque de Caxias se divide em duas grandes zonas:

- Habitacional: compreendendo quase todo o Distrito de Duque de Caxias, metade dos Distritos de Campos Elísios (porção norte) e Imbariê (porção sul) e bairros isolados do Distrito de Xerém.
- Industrial: compreendendo basicamente duas áreas, a da Refinaria Duque de Caxias e adjacências, na porção sul do Distrito de Campos Elísios; e a outra compreendida entre os rios Capivari e Calandoé e a BR-040.

Observam-se dois “vazios”: no parque industrial da Refinaria de Duque de Caxias e segundo representado pelo polígono formado pelo canal do rio Iguaçu, avenida Presidente Kennedy, BR 040 e o canal Sarapuí.

Nas áreas mais acidentadas, correspondentes à Serra dos Marcondes e à Serra das Estrelas, no Distrito de Xerém, encontra-se a Reserva Biológica do Tinguá. Em Imbariê, acima da cota 100m encontra-se a APA Petrópolis.

Conforme apresentado na Tabela 16 o uso e ocupação do solo em Duque de Caxias é bastante diversificado.

Tabela 16. Uso e Ocupação do solo em Duque de Caxias em 1998 (Prefeitura de Duque de Caxias apud PROMINER, 2003)

| Usos | Área (ha) | % |
|------------------|---------------|------------|
| Floresta | 14.320 | 32,4 |
| Capoeira | 707 | 1,6 |
| Capoeirinha | 1.370 | 3,1 |
| Mangue | 1.105 | 2,5 |
| Várzea | 8.133 | 18,4 |
| Campo inundável | 1.193 | 2,7 |
| Campo antrópico | 4.553 | 10,3 |
| Pastagem | 486 | 1,1 |
| Área edificada | 11.183 | 25,3 |
| Indústria | 796 | 1,8 |
| Mineração/solo | 221 | 0,5 |
| Aterro sanitário | 133 | 0,3 |
| Total | 44.200 | 100 |

As Figuras 61 a 64 mostram exemplos de ocupação do solo e de construções.



Figura 61. Avenida Automóvel Clube, via que liga a BR-040 à localidade denominada Inhomirim, no município de Magé. Esta avenida passa em frente à área onde se pretende implantar o empreendimento (PROMINER, 2004).

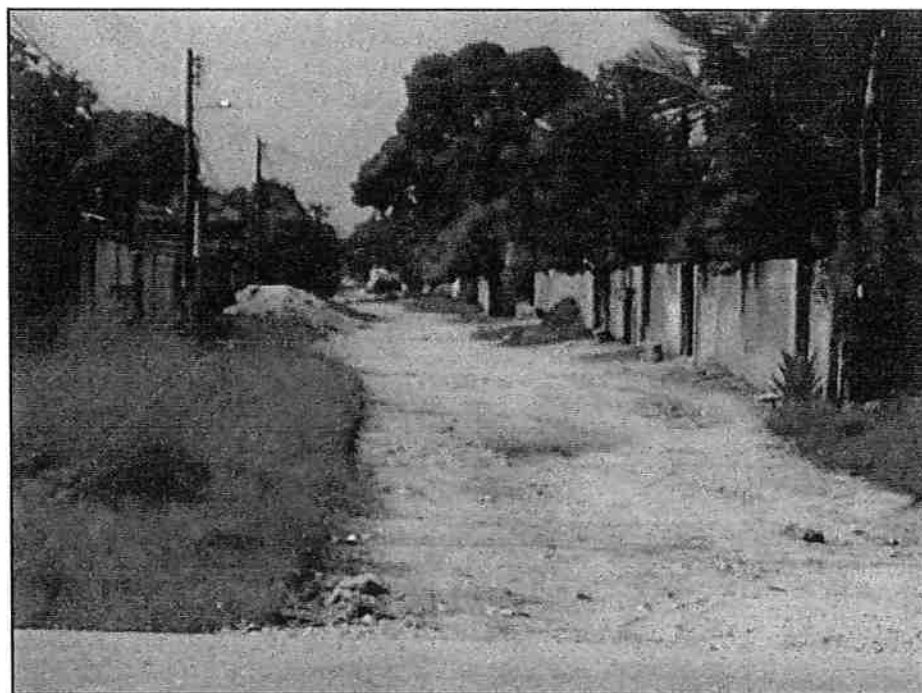


Figura 62. Uma das ruas não pavimentadas, no loteamento Barro Branco. Este loteamento é constituído por residências típicas de auto-construção, porém, nem todos os lotes estão ocupados (PROMINER, 2004).



Figura 63. Avenida Pedro Álvares Cabral, principal via pavimentada do loteamento Barro Branco, por onde circulam os ônibus que servem ao bairro (PROMINER, 2004).

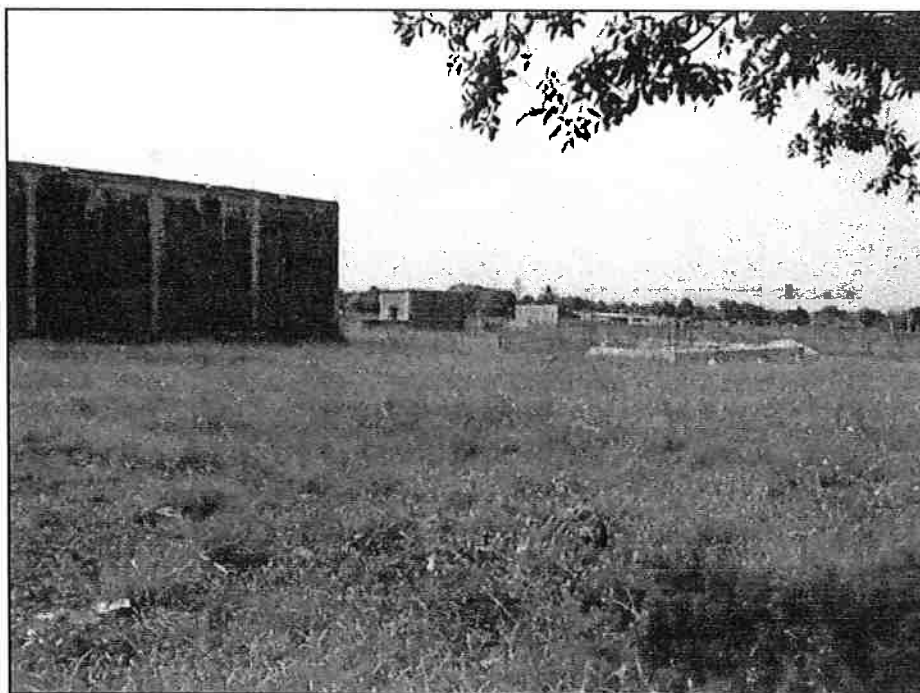


Figura 64. Loteamento Residencial Bosque dos Ipês, onde se percebem as primeiras residências que estão sendo construídas. Este loteamento situa-se ao lado do loteamento Barro Branco (PROMINER, 2004).

7.3.5. A comunidade e o Projeto Nefelina

Nos processos de implantação de projetos como o Nefelina a participação ativa da comunidade é muito importante para o estabelecimento de uma convivência positiva. Assim a discussão sobre a implantação, seus benefícios e eventuais desconfortos assim como salientar o uso sustentável do ambiente mostrou-se bastante saudável. Houve a apresentação para a comunidade local que se manifestou sobre os impactos ambientais como o aumento do tráfego de veículos, emissões de material particulado, vibração, nível de ruído, contaminação das águas dos poços, alteração do nível freático, bem como a preservação das florestas. Foram apresentadas as justificativas para o projeto e ações a serem tomadas em caso de aprovação como controle e monitoramento.

A apresentação do Projeto Nefelina não ficou restrita aos adultos da comunidade, sendo também apresentado às crianças, em uma linguagem mais acessível. Foram realizados passeios à Fazenda do Surdo, com os estudantes da Escola Municipal do Barro Branco e do Colégio REAJ do bairro da Taquara, com os alunos acompanhados pelas professoras das escolas em que estudam e por funcionários da empresa. Foi efetuada uma trilha que passa ao lado de onde será realizada a lavra e que terminou no escritório da empresa onde os alunos receberam informações sobre o Projeto Nefelina. Nesta ocasião, os alunos também puderam verificar no laboratório uma experiência real que sintetiza todo o processo industrial que será realizado na futura fábrica.

CAPÍTULO 8 – ESTUDO DA VIBRAÇÃO DO TERRENO E SOBREPRESSÃO ATMOSFÉRICA NO EIA DO PROJETO NEFELINA

Este capítulo contém os resultados dos estudos contidos nos quatro relatórios do LACASEMIN, que forneceram as informações sobre a vibração do terreno e a sobrepressão atmosférica contempladas no EIA do Projeto Nefelina. Trata-se da continuidade dos estudos feitos no Capítulo 7 (onde foram levantadas as informações de base) na qual foram feitas as considerações e análise necessárias ao estudo dos parâmetros ambientais.

8.1. CARACTERIZAÇÃO DOS POLUENTES GERADOS NO DESMONTE DE ROCHA

Como se sabe, a mineração tem importância para a história da humanidade, fornecendo um grande número de bens minerais, matérias primas e insumos, que são imprescindíveis ao progresso e desenvolvimento das civilizações. Todavia, as atividades de mineração podem gerar poluentes, ocasionando impactos ambientais tanto no meio interno a mina como no meio externo. Conforme observado no Capítulo 4, pode-se resumir os principais problemas ambientais decorrentes da detonação de explosivos para o desmonte de rocha em: emissão de gases tóxicos, emissão e propagação de vibrações do terreno e sobrepressão atmosférica, ultra-lançamento e escorregamento de taludes.

No estudo para a implementação e operação da mina foram considerados a vibração do terreno e a sobrepressão atmosférica como sendo os principais parâmetros ambientais associados a uma detonação de explosivos a serem estudados, de acordo com estudos preliminares e o consenso obtido pelas equipes técnicas envolvidas (LACASEMIN, PROMINER e a interessada). Dos parâmetros restantes, o material particulado chegou a ser considerado no estudo para a implantação da mina a céu aberto, sendo mais tarde considerada como não significativo juntamente como os demais por se optar por uma mina subterrânea.

8.1.1. Vibração do terreno e sobrepressão atmosférica

A necessidade de se ocupar novos espaços resultou na convivência mútua e diária entre o homem da cidade e a mineração. A existência de uma comunidade ao redor das minerações implica o controle de efeitos ambientais indesejáveis, criando assim uma maior complexidade para a operação da mineração em áreas urbanas.

As operações de lavra subterrânea da empresa foram projetadas para utilizar explosivos para o desmonte da rocha. Trata-se de serviços procuram atender às restrições legais existentes quanto a este tipo de operação sendo, portanto, necessário um pessoal bem treinado e com experiência para o projeto e implementação de planos de fogo adequados a estas restrições.

As soluções envolvendo as detonações estão cada vez mais fundamentadas nos aspectos técnicos e ambientais, porém as soluções de âmbito sócio-econômico e político tendem a ser significativas em situações que envolvem EIA e conseqüentemente audiência pública. Em termos de engenharia, se houver precauções apropriadas e procedimentos de segurança, então os desmontes por explosivos podem ser seguros. Eles devem ser planejados e executados de modo a mitigar:

- O risco de danos a estruturas próximas e lesões às pessoas e aos animais;
- O incômodo às pessoas que moram e/ou trabalham próximas à área de detonação.

Todas as fontes de vibração do terreno e sobrepressão atmosférica estão associadas à construção e operação da mina subterrânea. Como foram basicamente duas situações bastante distintas para a escolha do método de lavra (a céu aberto e subterrânea), para cada uma delas foram identificadas três atividades onde seriam utilizados explosivos para o desmonte de rocha, de acordo com os Relatórios do LACASEMIN (IRAMINA et al., 2003a, 2003b, 2003c e 2004):

Lavra a céu aberto

- A abertura da rampa de acesso à mina e outras estradas para a comunicação entre as atividades projetadas;
- A abertura das rampas para produção, transporte e comunicação entre os diversos níveis de bancadas; e

- A produção das bancadas para a produção.

Lavra subterrânea

- A abertura da rampa de acesso à mina subterrânea;
- A abertura das galerias e travessas para produção, transporte e comunicação entre os painéis e realces; e
- A produção das frentes de lavra similares às bancadas à céu aberto do método escolhido (chamada de “underhand room and pillar” ou pilar e salão com níveis descendentes).

8.2. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL

O diagnóstico ambiental da área de influência do projeto deve apresentar uma descrição completa e análise dos recursos ambientais e suas interações antes da implantação do projeto, considerando o meio físico, o biológico e o sócio-econômico, já apresentados no Capítulo 7.

8.2.1. Área de influência

A área de influência adotada para este estudo tem como base a área de influência proposta no Relatório Ambiental Preliminar do processo DNPM 890.356/95 (PROMINER, 2003). De acordo com IRAMINA et al (2004) adotou-se um raio de 2,5 km tendo como centro um ponto localizado dentro do empreendimento, inicialmente dentro da cava a céu aberto e, posteriormente, a partir opção pela lavra subterrânea, junto ao emboque da rampa de acesso à mina subterrânea (primeiro na mina oeste e depois na leste).

8.2.2. Diagnóstico ambiental da área de influência – meio físico

Como parâmetros do meio físico podem ser citados o subsolo, as águas, o ar e o clima, destacando os recursos minerais, a topografia, os tipos e aptidões do solo, os corpos de água, o regime hidrológico, as correntes marinhas e as correntes atmosféricas. Parte deles foi abordada no capítulo anterior e neste item eles foram novamente abordados para se estabelecer qual a sua relação com a vibração do terreno e a sobrepressão atmosférica.

8.2.2.1. Ruído

O estudo do ruído ambiental e a sua relação com o meio físico podem ajudar na compreensão da sobrepressão atmosférica e a sua relação com o meio físico. O conceito de poluição sonora compreende os níveis de ruído emitidos por uma fonte de poluição sonora que se sobrepõem aos níveis de ruído de fundo já presentes no local (devido às condições físicas locais e aos níveis de atividade humana), e que causam incômodo às pessoas próximas.

O ruído sofre grande influência da meteorologia, uma vez que a atenuação do ruído em função da distância das fontes geradoras até o receptor sofre influência do relevo e das condições atmosféricas. Para frequências superiores a 4.000 Hz há atenuação de aproximadamente 1 dB(A) para cada 65m de distância. Para as frequências mais baixas a atenuação é menor (IRAMINA et al. 2004).

Um aumento na umidade relativa do ar promove um pequeno acréscimo na atenuação do ruído com a distância para frequências mais elevadas.

Segundo Down e Stocks (1978) a velocidade do som diminui com a diminuição da temperatura, e por este motivo a propagação do som é afetada pela temperatura atmosférica. Normalmente, para o período diurno, são encontradas maiores temperaturas próximas à superfície terrestre, e a diminuição da temperatura com o aumento da altitude. Nesta condição atmosférica ocorre a difração do som em direção às maiores altitudes, favorecendo a atenuação do ruído. Já inversões térmicas, mais frequentes no período noturno, favorecem a propagação próxima à superfície terrestre. Quanto aos ventos, em situações normais há o aumento da velocidade com o aumento da altitude. Embora com menor influência que a temperatura, ventos contrários favorecem a dispersão do ruído com a distância.

O método de referência para este agente é balizado por normas, uma vez que o nível de ruído é medido pela quantificação de alguns parâmetros específicos que representam a energia sonora recebida pelo ponto receptor. Portanto é necessária a realização de um programa de monitoramento de ruído objetivando sua avaliação em termos de energia equivalente.

O método adotado para as medições (utilizando um medidor de nível sonoro ou decibelímetro) é o recomendado pela ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) através da norma NBR 10151 de junho de 2000, a qual estabelece um método recomendando tipo, calibração, procedimentos de medição e precauções para evitar a invalidação de medições.

Para a análise com relação às normas legais, as principais referências são os padrões legais de ruído estabelecidos pelas normas federais que são a Portaria no. 092 do Ministério do Interior de 19 de junho de 1980 e a Resolução CONAMA no. 001 de 08/03/90 e as normas técnicas para ruído que são estabelecidas pelas Normas ABNT NBR 10151 de dezembro de 1987 e NBR 10.152 de dezembro de 1987. A NBR 10.151 é citada na resolução CONAMA 001, além do Decreto-Lei Nº 112, de 12 de agosto de 1969 e o Decreto Nº 6.097, de 05 de abril de 1973.

8.2.1.2 Vibração do terreno e sobrepressão atmosférica

Quando uma carga explosiva é detonada dentro de um furo, em um maciço rochoso, além da esperada fragmentação da rocha gerada pela onda de choque, gera-se também, a partir desta mesma onda, vibração do terreno e vibração do ar. Ambos os efeitos são subprodutos inevitáveis de qualquer detonação em subsuperfície. A energia gerada para a vibração do terreno e do ar é uma energia desperdiçada, e a quantidade desta energia desperdiçada é variável e depende de uma série de fatores e também da interpretação dos diversos autores. ESTON (1998) afirma que a vibração do terreno e a sobrepressão atmosférica correspondem a 97,2% de toda a energia utilizada de forma indesejada transmitida ao maciço rochoso.

Em regiões próximas à área de detonação, altas vibrações do terreno podem causar danos às edificações e outros tipos de estruturas devido aos esforços dinâmicos superarem a resistência dos materiais. Uma edificação pode sofrer danos mesmo a uma longa distância, porém, a razão pela qual as pessoas reclamam das detonações está na resposta estrutural dos edifícios dada à passagem da onda transiente representada pela vibração do terreno. Todas as reclamações de detonações ocorrem em função da intensidade com que as construções vizinhas às áreas de detonações vibram, e não do quanto vibra o terreno.

Os três principais fatores que determinam o quanto uma edificação vibra são:

- Amplitude da velocidade de vibração de partícula do terreno;
- Tempo de duração do fenômeno da vibração;
- Frequência da vibração e frequência natural das construções.

Existem dois problemas associados à vibração do ar decorrente de uma detonação: a sobrepressão atmosférica e o ruído. Estes dois fenômenos já foram abordados no capítulo 5 de modo que as principais causas de uma sobrepressão atmosférica são:

- O pulso de pressão do ar;
- O pulso de pressão da rocha;
- O pulso da liberação de gás;
- O pulso da liberação do tamponamento

A sobrepressão atmosférica possui vários aspectos em comum aos abordados no item 8.2.2.1. apresentando o mesmo comportamento com relação a relevo e condições climáticas, e neste caso, as condições meteorológicas no momento da detonação influem de forma decisiva nos resultados. Parâmetros meteorológicos como nuvens baixas, direção dos ventos e inversões térmicas devem ser considerados.

Na transmissão de uma onda elástica, a deformação é diretamente proporcional à velocidade de vibração de partícula e é nisto que se baseia o método de referência. Como regra geral, o dano estrutural tem relação com a deformação, é admissível que se use a velocidade máxima de vibração de partícula como parâmetro para quantificar os efeitos das vibrações de terreno (ESTON, 1998).

Após a constatação das leis que governam a propagação de uma onda sísmica num maciço rochoso, deve-se estimar o nível máximo de vibração que uma estrutura pode suportar com relação ao local de detonação. A decisão de quais os critérios ou limites de segurança que devem ser adotados é um assunto bastante delicado e que exige conhecimento dos mecanismos presentes no fenômeno da detonação e da resposta estrutural.

A norma brasileira ABNT NBR-9653 “Guia para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações em áreas urbanas” de novembro de 1986 e

revisada em 2005 fixa uma metodologia para reduzir os riscos inerentes ao desmonte de rocha com uso de explosivos em minerações. Para isto, estabeleceu parâmetros a um grau compatível com a tecnologia disponível para a segurança das populações vizinhas. Ela define parâmetros de referência como a velocidade de vibração de partícula resultante, suas componentes (longitudinal, transversal e vertical), distância escalonada e o nível de sobrepressão atmosférica. Especifica ainda alguns procedimentos que devem ser adotados para o monitoramento sismográfico como o local de monitoramento, a forma de fixação, tipo de instrumento e suas especificações. A norma preconiza os limites admissíveis para danos estruturais. De forma resumida estabelece que 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 e também que os limites para velocidade de vibração de partícula de pico acima dos quais podem ocorrer danos induzidos por vibrações do terreno sejam aqueles apresentados na Tabela 17 e na Figura 65.

Tabela 17. Valores estabelecidos pela NBR-9653/2005 (BRASIL, 1986 e 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) | |

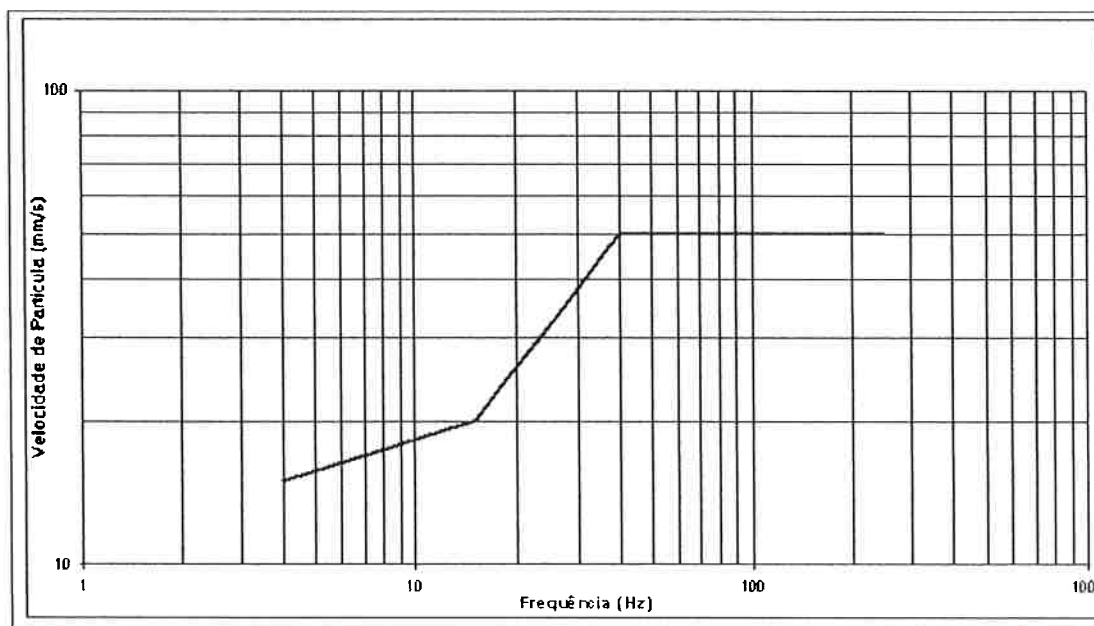


Figura 65 – Representação gráfica dos limites de velocidade de vibração de partícula de pico por faixas de frequência (BRASIL, 2005).

Esta norma estabelece ainda que o nível de sobrepressão atmosférica não seja superior a 134 dBL. Vale lembrar, apenas como referência dos limites estabelecidos pela CETESB: 4,2 mm/s para vibração e 128 dB(L) para a sobrepressão (SÃO PAULO, 1992).

Para se conduzir o estudo das vibrações, os seguintes requisitos são necessários:

- Um sistema sismográfico que detecte e registre o movimento do terreno;
- Um sistema computadorizado que analise o sinal registrado.

Como sensores de vibração de terreno, os mais utilizados são os sismógrafos de engenharia e os sismógrafos de aceleração ou simplesmente acelerômetros. Os sismógrafos de engenharia são os mais populares, uma vez que a velocidade de partícula se tornou o parâmetro mais aceito para se correlacionar as vibrações com os danos produzidos pelas detonações. Para a correta operação e interpretação dos dados dos sismógrafos de engenharia devem ser considerados os parâmetros operacionais (acoplamento e calibração) e os parâmetros de monitoramento (escolha do local de instalação, tempo de monitoramento, sensibilidade, distância, etc.).

Em termos ideais, segundo SISKIND (2000), as medidas de propagação devem ser feitas com um arranjo de sismógrafos espaçados logaritmicamente e posicionados em uma reta sobre uma determinada direção da detonação (bancada desmontada). Esta aproximação é a melhor para a caracterização mais precisa do local, sendo um procedimento necessário quando se estuda o efeito do desmonte de rocha no controle de vibrações do terreno. Em locais onde um arranjo linear não pode ser feito, pode-se monitorar locais fixos ao longo de uma série de detonações, desde que haja uma variação considerável nas medidas de distância escalonada, uma vez que uma pequena variação irá formar um agrupamento que será útil somente para a previsão da vibração dentro de uma faixa bastante limitada. Neste caso, a equação de propagação não poderá ser estimada em função da confiabilidade estatística, que será pobre. Para um levantamento deste tipo, JIMENO et. al. (1995) recomendam que se monitorem de 8 a 10 detonações (com um sensor) e em diferentes distâncias (distâncias escalonadas variáveis).

Em situações críticas, a medição direta da vibração no local em questão é mais recomendável do que previsões baseadas em uma nuvem de pontos plotados. Em termos práticos, estes pontos plotados são bastante úteis para comparações entre locais e técnicas de desmonte, desde que não sejam extrapolados exageradamente.

O uso de níveis de fundo ("background") em estudos preliminares seria muito importante tanto para a vibração do terreno como para a sobrepressão atmosférica relacionados ao desmonte de rocha por explosivos, porém não foi possível executar nenhum tipo de desmonte de rocha no local do empreendimento.

8.3. ANÁLISE DOS EFEITOS E IMPACTOS AMBIENTAIS

8.3.1 Identificação dos efeitos e impactos ambientais

8.3.1.1. Vibração do terreno

A resposta estrutural desempenha um papel crítico na percepção de pessoas em estruturas na vizinhança de uma área de detonação. Outros fatores críticos são a sua tolerância e a reação à vibração, de modo que o seu conhecimento tem grande importância na compreensão da reclamação das pessoas.

Quando uma onda de vibração atravessa uma estrutura, esta é afetada pela ação sobre as suas fundações e pelos movimentos para cima e para baixo, para frente e para trás e para os lados causados pela onda.

Estas ações criam rapidamente tensões e deformações no edifício. Uma vez que as placas de gesso e outros materiais similares são os mais fracos, elas tendem a sofrer deformações que irão resultar em fissuras nas paredes e tetos. As fissuras nas paredes têm a tendência de formar um ângulo aproximado de 45° com a superfície do piso. As vibrações excessivas irão causar, primeiro, o alargamento de fissuras pré-existentes e depois o surgimento de novas fissuras.

8.3.1.1.1. Níveis de danos associados à vibração do terreno

A reclamação mais comum da população a respeito de uma detonação é a probabilidade de dano a um edifício. Com o aumento da severidade da vibração decorrente da detonação, existe uma seqüência para a ocorrência de danos conforme apresentado no Capítulo 5 (item 5.2.4.2) que variam de pó saindo das rachaduras até danos maiores e mais severos como o colapso do edifício, mas que normalmente se concentram entre danos mínimos e intermediários. Os efeitos associados aos níveis de vibração também foram apresentados neste item, variando de imperceptível (menor do que 1 mm/s) a danos permanentes na própria rocha (600 mm/s) conforme apresentado na Tabela 2 deste item.

8.3.1.1.2. Resposta humana às vibrações decorrentes de detonações

Para um melhor entendimento da resposta humana às vibrações podem ser observados na Figura 25 do item 5.2.4.3 do Capítulo 5 os resultados de um trabalho experimental do USBM (United States Bureau of Mines), onde as vibrações de um desmonte tornam-se intoleráveis para os humanos em níveis consideravelmente abaixo dos níveis relacionados a danos estruturais. O resultado mostra que as reclamações ocorrem freqüentemente devido à resposta humana e não devido às situações que possam oferecer perigo à pessoa ou estrutura.

8.3.1.2. Sobrepressão atmosférica

Conforme apresentado no item 5.3.3. do Capítulo 5 dificilmente a extensão do dano provocado por níveis elevados de sobrepressão atmosférica supere o de uma

janela quebrada. A probabilidade de dano aumenta com a extensão da área envidraçada.

8.3.1.2.1. Níveis de danos associados à sobrepressão atmosférica

Felizmente para uma maioria esmagadora de eventos, os níveis de danos físicos provocados por sobrepressões atmosféricas chegam no máximo como janelas quebradas. Existem os danos psicológicos associados a sustos, preocupação, aborrecimento e, logicamente, reclamações. Conforme observado na Figura 27 do item 5.3.3. do Capítulo 5 é preciso um nível bastante elevado para gerar danos cosméticos.

8.3.1.2.1. Incômodos associados à sobrepressão atmosférica

A Figura 27 do item 5.3.3. do Capítulo 5 apresenta uma escala com os níveis de incômodos associados a diversas fontes. De acordo com Rosenthal e Morlock (1987) os incômodos decorrentes de detonação são subjetivos, não existindo nenhum “número” que possa quantificar estes incômodos. Os danos imaginários decorrentes da sobrepressão atmosférica devido à natureza altamente perceptível do seu efeito sonoro são extremamente comuns. Considerando o aborrecimento provocado pelo estrondo da detonação, pode-se dizer que se a sobrepressão puder ser mantida a 120 dBL ou abaixo, então muito provavelmente as reclamações não serão significativas.

8.3.1.2.3. Efeitos da sobrepressão atmosférica

As ondas sonoras viajam da fonte para o receptor através de vários meios. Em ambientes externos elas viajam pela atmosfera e são afetadas por reflexões no solo e vegetação, turbulência e gradiente do vento, temperatura do ar, etc., onde a amplitude e o espectro assim como a duração do som são afetados. Neste caso, o som será atenuado pela absorção do ar, névoas, chuvas, barreiras como paredes e edifícios, e pelos efeitos do solo. O som do ambiente interno pode viajar através do ar e da estrutura dos edifícios e ser modificado pelo isolamento das paredes e janelas, pelo tempo de reverberação do espaço e o desenho e a superfície dos materiais no ambiente.

Para o meio ambiente físico o ruído geralmente apresenta efeitos desprezíveis, entretanto para os seres vivos e, principalmente, para o homem, o ruído pode ter

uma série de efeitos fisiológicos e psicológicos. Os efeitos sobre o homem podem variar de perturbações durante o sono, perda da atenção ou dificuldades de comunicação até stress e danos no sistema auditivo.

ASTETE e KITAMURA apud GANIME (1998) dividem os efeitos nocivos do ruído sobre o homem em quatro grupos:

a) Efeitos sobre o sistema auditivo: Segundo GANIME (1998), níveis de ruído elevados podem ocasionar surdez temporária, surdez permanente ou um trauma acústico. A surdez temporária é causada por curta exposição a níveis de ruído elevados. A acuidade auditiva diminui apenas temporariamente, retornando ao seu estado normal após repouso em local silencioso. A surdez permanente é provocada por exposição freqüentes e duradouras a níveis de ruído intensos, superiores a 85 dB(A), ocasionando lesão no órgão de Corti, interno ao ouvido. O trauma acústico é causado por exposição a níveis de ruído muito elevados, como tiros e explosões, levando à perfuração do tímpano.

b) Efeitos extra-auditivos: COHEN apud GANIME (1998) subdivide as reações do organismo ao ruído em:

- Reações generalizadas à tensão;
- Aceleração dos batimentos cardíacos (taquicardia), estreitamento dos vasos sanguíneos (vasoconstrição) e aumento na tensão muscular.
- Desordens físicas;
- Exposições mais prolongadas ao ruído podem levar a alterações das funções intestinal e cardiovascular e também a queda de resistência a doenças infecciosas e na função reprodutora.
- Dificuldades mentais e emocionais;
- Irritabilidade, fadiga e mal-ajustamento.
- Outros problemas.

c) Efeitos sobre o rendimento do trabalho: O ruído pode gerar um decréscimo no rendimento do trabalho. Ruídos intermitentes ou de impacto têm efeitos mais intensos sobre o rendimento do trabalho que os ruídos contínuos.

d) Efeitos sobre a comunicação: A influência do ruído sobre a comunicação oral é um de seus efeitos mais notados. O ruído, principalmente aquele compreendido entre as faixas de 500 a 2000 Hz pode provocar o mascaramento da voz, causando dificuldade no entendimento.

8.4. PREVISÃO E AVALIAÇÃO DOS EFEITOS E IMPACTOS AMBIENTAIS

8.4.1. Ruído

8.4.1.1. Parâmetros que influenciam o ruído

a) Índice de reflexão do ângulo sólido: Está relacionado à presença de barreiras físicas e a distância destas em relação à fonte;

b) Divergência geométrica (distância): Quando o som é irradiado por uma fonte em uma atmosfera homogênea e sem distúrbios, longe de qualquer superfície absorvente ou refletiva, ele é irradiado como ondas esféricas. Quando a distância entre a fonte e o receptor dobra, a amplitude das ondas cai pela metade, o que corresponde a uma queda de 6 dB;

c) Atenuação pela absorção do ar: À medida que o som se propaga pela atmosfera, sua energia é gradualmente convertida em calor, ou o som é absorvido por inúmeros processos moleculares no ar, chamado de absorção do ar e que pode ser dada pela fórmula:

$$\boxed{\text{Atenuação} = \frac{\alpha d}{1000}} \quad (7), \text{ onde}$$

α = coeficiente de atenuação do ar em dB/km

d = distância entre a fonte e o receptor em metros

A propagação do som próximo ao solo para distâncias horizontais próximas a 100m é basicamente independente das condições atmosféricas. Portanto, a atenuação pelo ar pode ser negligenciada para pequenas distâncias, exceto para

freqüências superiores a 5000 Hz. Os parâmetros que influenciam na absorção do som pelo ar são (IRAMINA et al., 2004):

- Temperatura: A temperatura possui efeito substancial sobre a atenuação em altas freqüências e longas distâncias através da absorção do ar;
- Umidade relativa: A influência da umidade relativa sobre a propagação do som pode ser observada pelo fato de que à medida que a umidade aumenta, a atenuação do som diminui (quando a temperatura é constante), em outras palavras, menor quantidade de energia é absorvida pela atmosfera quando a umidade é alta. Por exemplo, a uma distância de 244m, a 30° C e 56 % de umidade resulta em uma atenuação de 1,55 dB para um som de 1000 Hz;
- Freqüência: A atenuação do som devido à absorção do ar depende fortemente da freqüência do som. Por exemplo, numa freqüência de 4000 Hz a uma distância de 244 m, a 20o C e 80% de umidade resulta em uma atenuação de 5,25 dB. De um modo geral sons de baixas freqüências tendem a se propagar para distâncias maiores do que as ondas de alta freqüência.

d) Velocidade e direção do vento: A velocidade e a direção do vento pode também ter um efeito considerável sobre o nível sonoro em campo aberto. Como as velocidades do vento e do som são dependentes da direção, sabe-se que a propagação do som é mais rápida com o vento e mais devagar contra o vento. A velocidade do vento diminui com a diminuição da altitude por causa da maior fricção da corrente de ar próxima ao solo devido à presença de vegetação e de edifícios. Portanto, à medida que a altitude aumenta, aumenta também a velocidade de propagação na direção do vento e diminui na direção contrária à do vento.

e) Efeitos sazonais do clima (verão vs. inverno).

f) Atenuação pela superfície: A atenuação do nível de pressão sonora pode ocorrer a grandes distâncias em função da interferência entre a onda refletida na superfície e a onda direta. Isto é especialmente verdadeiro no caso da propagação do som sobre campos abertos e planos quando a fonte e/ou o receptor estão em baixas elevações. O decréscimo é particularmente mais perceptível em faixas de freqüência entre 200 e 600 Hz, mas determinação da atenuação pela superfície é um processo bastante complicado em função interação com as características

atmosféricas e das características de direção das fontes e que para simplificar pode ser representada por único fator.

g) Atenuação pela vegetação: A dispersão do som em função da presença de troncos, galhos e gramas em conjunto com a atenuação pela superfície tem influência sobre a propagação do som. O efeito combinado destes elementos pode ser representado na forma de um fator de atenuação adicional e a magnitude deste efeito depende do tipo e da densidade da vegetação, do comprimento do traçado e da frequência.

h) Atenuação devido à presença de áreas construídas: Prédios, complexos industriais e obstáculos criados pelo homem podem, por reflexão, dispersão e absorção causar atenuação. Ao mesmo tempo, os prédios provocam distúrbios no desenvolvimento de interferências próximas à superfície e conseqüentemente nos efeitos meteorológicos e da superfície. Esta atenuação deve ser subtraída no cômputo geral da atenuação global.

i) Uso de barreiras específicas: Deve-se levar em consideração também a atenuação por barreiras finitas especialmente construídas para esta finalidade. A densidade da superfície deve ser superior a 10 kg/m^2 , sendo calculado para isto a distribuição da energia que passa pelas laterais e por cima destas barreiras.

j) Efeito do horário: período diurno vs. noturno.

8.4.1.2. Previsão da magnitude do ruído

A previsão da propagação de ruído pode ser feita por diversos métodos, mas em todos eles existe uma seqüência em comum, a saber (IRAMINA et al., 2003a):

- a) Determinar os níveis de potência sonora da fonte;
- b) Calcular a atenuação atmosférica total para um determinado ambiente através do cálculo individual de atenuação das componentes *ki* que representam:
 - O espalhamento geométrico (distância);
 - Enclausuramentos;
 - Barreiras;
 - Absorção do ar;

- Efeitos do vento;
- Efeitos do gradiente de temperatura;
- Efeitos da superfície;
- Proteção por vegetação e edifícios.

c) Calcular o nível de pressão sonora resultante em um ponto de um determinado ambiente através de uma fórmula do tipo:

$$L_p = \sum_{\text{todas as fontes}}^{\log} \left[L_w - \sum^{\text{arit}} (k_i) \right] \quad (8)$$

No entanto, a complexidade de previsão está invariavelmente associada ao número de componentes de atenuação k_i presentes no cálculo e à complexidade dos algoritmos utilizados para se calcular individualmente estes fatores.

O método mais simples é baseado apenas no espalhamento geométrico, indicando valores de atenuação de 4 a 6 dB a cada distância dobrada. É um modelo simples, e por isso mesmo muito limitado.

Para a maioria dos cálculos em situações reais pode-se levar em consideração todos os fatores que influenciam na propagação do ruído, mas isto pode ser feito de forma simplificada. Para isso, existem diversos métodos de previsão, e entre os mais importantes podemos citar os métodos desenvolvidos pela OCMA (Oil Companies Material Association da Grã-Bretanha), pela CONCAWE (Oil Companies's International Study Group for Conservation of Clean Air and Water) e pela norma alemã através do draft VDI 274 "Outdoor Sound Propagation". (LACAEMIN, 2004). Muitos outros países e empresas desenvolveram os seus próprios métodos, mas a maioria é baseada na equação (8) mostrada acima.

Para este estudo foi utilizado o modelo da OCMA para a estimativa de ruído a uma determinada distância. As Especificações de Procedimento NWG-1/2/3 Parte 3 (TONIN, 1984) contêm as recomendações para o cálculo de níveis sonoros. Neste método, o nível de pressão sonora em um ponto do ambiente é calculado de acordo com seguinte fórmula:

$$L_p = \sum_{\text{todas as fontes}}^{\log} (L_w - k_1 - k_2) \quad (9)$$

onde L_w = nível de potência sonora da fonte com referência a 10^{-12} watts;
 $k_1 = 10 \log (4 D^2) - 3 \text{ dB} + \text{atenuação atmosférica}$;
 $k_2 = \text{efeitos da superfície} + \text{efeitos de proteção por barreiras} + \text{efeitos meteorológicos}$;
 D = Distância da fonte ao receptor

Para este método, os valores de k_1 e k_2 podem ser obtidos através das Figuras 66 a 68.

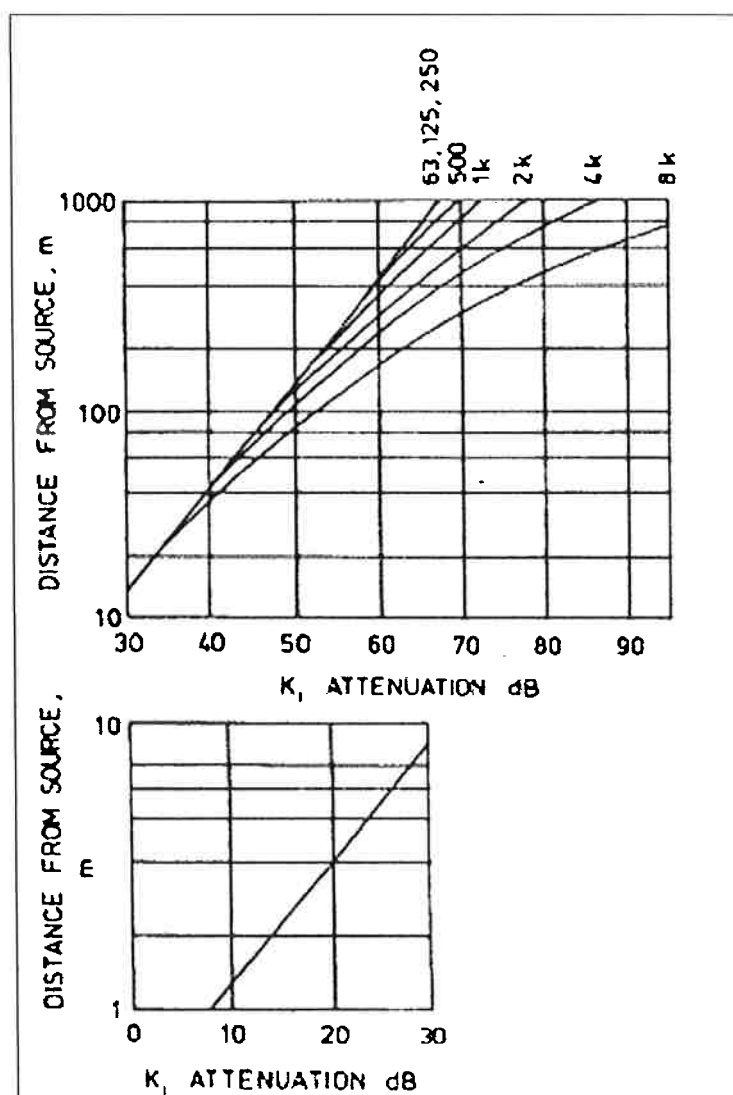


Figura 66. Algoritmo da OCMA para a determinação da atenuação k_1 em função da distância e da absorção do ar (TONIN, 1984).

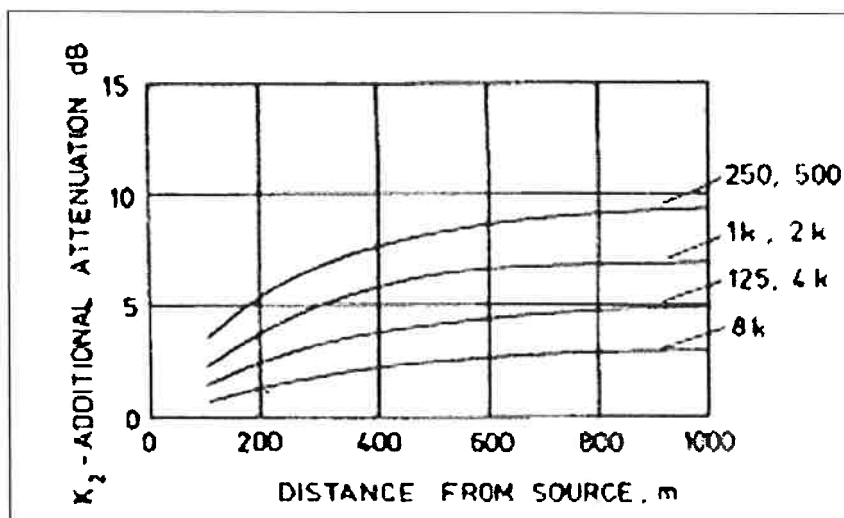


Figura 67. Algoritmo da OCMA para a determinação da atenuação da superfície k_2 no caso de proteção mínima (ausência de barreiras) (TONIN, 1984).

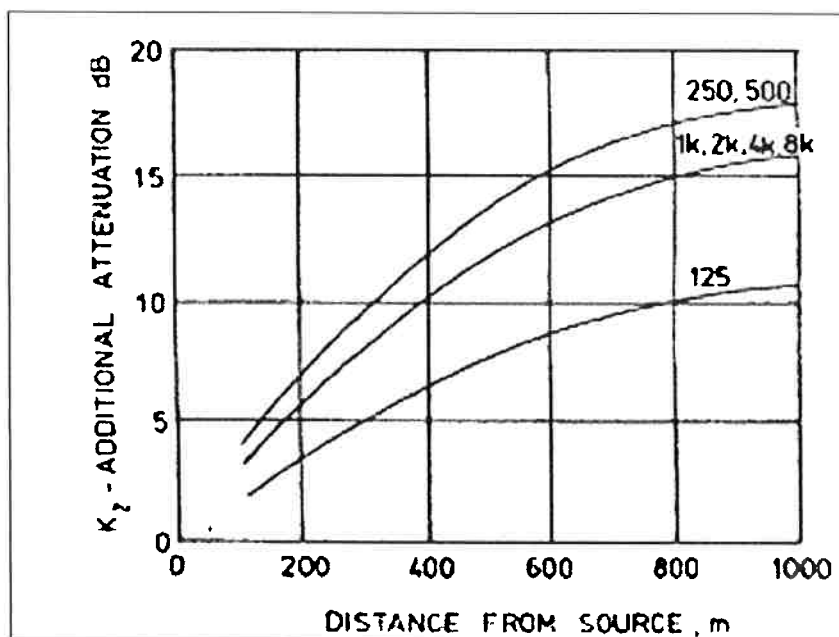


Figura 68. Algoritmo da OCMA para a determinação da atenuação da superfície k_2 no caso de proteção significativa (presença de barreiras) (TONIN, 1984).

Quando se deseja obter uma estimativa para ruído contínuo ambiental (provocada por máquinas e outras atividades) existe uma dificuldade, pois os fabricantes de equipamentos, com certa frequência, evitam fornecer o nível de potência sonora em função da dificuldade em termos de laboratório e da falta de pessoal especializado e

instrumentação necessários para se obter as especificações de níveis de potência sonora.

Normalmente, utiliza-se um método aproximado, onde se especifica o nível de pressão sonora a uma determinada distância do equipamento. A prática mais comum consiste em se assumir a fonte sonora irradiando uniformemente sobre uma superfície plana refletiva como o piso (BISTAFA, 1996).

Deste modo, deve-se especificar o nível de pressão sonora em faixa de oitava a 0,9 m do equipamento, a uma altura de 1,5 m do piso. A partir destas condições, os níveis de potência sonora por faixa de oitavas podem ser obtidos a partir da seguinte relação (BISTAFA, 1996):

$$L_p = L_w - 7dB \quad (10)$$

onde L_p = nível de pressão sonora na faixa de oitavas em dB
 L_w = nível de potência sonora em faixa de oitavas em dB

A partir de uma relação contendo as fontes operando na lavra tanto a céu aberto como subterrânea, algumas fontes do beneficiamento não enclausuradas e dos equipamentos operando na área de disposição de estéril, utilizando o método da OCMA, e utilizando a relação dada pela equação (9), foram estabelecidas algumas estimativas com relação aos pontos receptores sensíveis (IRAMINA et al. 2003b e 2004).

A metodologia aplicada baseou-se em dados de literatura e dados experimentais para os equipamentos similares que resultaram num valor médio logaritmicamente equivalente e calculado para uma distância padronizada de 1 m. Outra condição de simplificação foi a adoção da hipótese de que as fontes operavam na forma de um tom puro na faixa central de 1000 Hz. Com isto, pode se fazer uma estimativa dos níveis de pressão sonora para os pontos receptores sensíveis situados a distância variadas da mina utilizando-se a relação dada pelas equações 9 e 10 e pelos fatores k_1 e k_2 obtidos pelos gráficos das Figuras 67, 68 e 69. Esta metodologia aplicada ao ruído ambiental também contribuiu para o estudo da sobrepressão nos itens subseqüentes.

8.4.2. Vibração do terreno

8.4.2.1. Parâmetros que influenciam a vibração do terreno

Os efeitos da propagação e da geologia mudam as características de amplitude e frequência das vibrações do terreno à medida que elas passam do local da detonação para o local de medição. A influência mais importante é a dissipação da vibração com o aumento da distância da fonte (IRAMINA, 2002).

Outros efeitos da propagação são as perdas de energia por meio de absorção e dispersão e a formação de ondas de superfície. Em geral, os parâmetros com maior influência sobre as amplitudes de vibrações são a distância e a carga máxima por espera. As frequências de vibração do terreno são também influenciadas pela distância e pela geologia (IRAMINA, 2002).

A magnitude das vibrações decresce rapidamente com o aumento da distância se o capeamento está presente, pois uma grande parte da energia será usada para superar a fricção entre as partículas e também para deslocá-las.

Como apresentado no item 5.2.2.1.6. do Capítulo 5, a vibração pode ser afetada por:

- Carga máxima por espera;
- Características geomecânicas do maciço;
- Distância ao local da detonação;
- Razão de carregamento;
- Tipos de explosivos;
- Tempo de retardo;
- Parâmetros geométricos do plano de fogo;
- Diâmetro do furo;
- Altura da bancada ou avanço da frente de lavra subterrânea;
- Afastamento e espaçamento
- Subfuração
- Tamponamento

- Inclinação do furo;
- Cargas descompartimentadas;
- Tamanho da detonação.

Na prática, a velocidade de vibração de partícula, que é o parâmetro que melhor representa a vibração do terreno, depende fundamentalmente de duas grandezas principais: a massa da carga explosiva detonada, e a distância entre os pontos de detonação e o ponto de estudo; podendo ser estabelecida matematicamente a partir de dados dos sismógrafos de engenharia.

8.4.2.2. Previsão da magnitude

A grande variação nas condições geométricas e geológicas dos locais desmontados faz com que as previsões de vibração sejam obtidas por relações estatísticas empíricas, desenvolvidas em função da observação de desmontes realizados, podendo-se assim correlacionar a velocidade de vibração de partícula a danos estruturais.

Dentre as muitas relações empíricas postuladas entre as malhas do plano de fogo e a velocidade de vibração, a mais usada é aquela que correlaciona a velocidade de partícula com a distância escalonada ("scaled distance"), definida pela função $D / Q^{1/2}$, onde D é a distância radial ao ponto de detonação e Q é a massa da carga máxima por espera detonada. O United States Bureau of Mines (USBM) e outros autores estabelecem que a velocidade de partícula máxima V_p pode ser relacionada com a distância escalonada pela seguinte relação (IRAMINA, 2002 e IRAMINA et al., 2004):

$$V_p = k \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-b} \quad (11)$$

onde

- V_p = velocidade de partícula de pico
- D = distância da detonação ao ponto de medição
- Q = carga máxima por espera (peso)
- k = fator do local

b = fator do local

Os fatores k e b são constantes que devem ser determinadas estatisticamente por medições em cada local de desmonte.

Conhecida a amplitude da velocidade de partícula, pode-se prever as circunstâncias de perigo para a estabilidade das estruturas vizinhas, utilizando-se as relações empíricas entre intensidade de vibrações e os danos físicos a elas atribuídas. Usando-se estas relações no sentido inverso, pode-se obter as cargas máximas por espera a serem detonadas de modo que as vibrações excessivamente altas não sejam geradas.

O primeiro passo para se conhecer a magnitude da vibração que se propaga pelo maciço rochoso onde está localizada a Mineração Duque de Caxias seria realizar uma série de monitoramentos sismográficos dos testes de detonações. Estes testes consistiriam de furos carregados de explosivos e depois detonados no local da futura mina ou próxima a ela, desde que dentro do maciço. Deste modo seriam simuladas as cargas máximas por espera iguais a uma detonação de bancada normal (produção) e uma detonação de avanço de uma galeria (abertura das vias e produção para o método de mineração do tipo pilar e salão). Com os inúmeros pontos de monitoramento (cerca de 30 ou mais) espalhados em distâncias variadas ao redor do local de detonação, teríamos diversas distâncias escalonadas que poderiam ser utilizadas na elaboração de uma equação para o comportamento da vibração. Esta metodologia permitiria o estabelecimento de uma aproximação para a ordem de grandeza da vibração, embora ela faça uma homogeneização para todas as direções de amortecimento da vibração, ou seja, considera o comportamento igual em todas as direções. É muito pouco provável que este seja o verdadeiro comportamento da vibração.

Devido à impossibilidade de aplicação desta metodologia para este estudo, havia a necessidade de se estabelecer um outro tipo de ferramenta para a estimativa da magnitude da vibração.

A nefelina-sienito da mineração está encaixada num maciço granítico, o que permitiu que se adotasse uma hipótese de que este mineral teria propriedades geomecânicas similares aos do granito. Dados da interessada (IRAMINA et al.,

2003a) indicaram que os dados experimentais obtidos de medições em granito serviriam como valores de referência para esta etapa do estudo e considerados, portanto, como uma forma de aproximação. Como os estudos foram feitos ao longo de dois anos e houve alterações significativas na escolha dos métodos de lavra, o mesmo ocorreu com a metodologia de estimativa da vibração. Assim foram feitas três estimativas, apresentadas na seqüência.

8.4.2.2.1. Estimativa para lavra a céu aberto com desmonte por bancadas.

Conforme apresentado anteriormente, a primeira opção para a lavra da nefelina-sienito foi a abertura de uma cava em meia encosta com desmonte por bancadas. Para esta situação, foram utilizadas 5 equações carga-distância como uma primeira aproximação para a magnitude da vibração, apresentadas na Tabela 18 (IRAMINA et al., 2003a).

Tabela 18. Equações carga-distância utilizadas para a previsão da magnitude.

| Equação | Observação |
|---|--|
| $V_p = 714,4 \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-1,6}$ | A V_p é dada em [mm/s], sendo adotada pela interessada em sua mina de nefelina-sienito nos Estados Unidos. Trata-se de uma equação genérica adotada pelo USBM (KONYA, 1995); |
| $V_p = 432,3 \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-1,3461}$ | A V_p é dada em [mm/s], obtida em uma pedreira de granito na cidade de São Paulo (IRAMINA, 2002); |
| $V_p = 399,95 \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-1,40}$ | A V_p é dada em [mm/s], obtida para desmonte de granito para construção na Índia (TRIPATHY, 2002); |
| $V_p = 528,9 \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-1,2059}$ | A V_p é dada em [mm/s], sendo esta equação obtida a partir de 8 sismógrafos alinhados em uma só direção de uma pedreira de granito na cidade de São Paulo (IRAMINA, 2002). |
| $V_p = 1140 \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-1,6}$ | A V_p é dada em [mm/s], Sugerida pela Australian Standards, na ausência de medições no local, como uma primeira aproximação e em condições médias conduzidas para uma bancada em mina (SCOTT, 1996). |

Para a simulação do comportamento da vibração foram fornecidos alguns elementos sobre o plano de fogo projetado para a operação de lavra e outros relacionados ao empreendimento. Destes, os mais importantes são a carga máxima por espera - CME (25 / 31,25 / 36 kg, dependendo da escolha do tipo de explosivo e da altura da bancada) e a distância (270 m da construção residencial mais próxima). Com estes dados pode-se obter a distância escalonada e utilizá-la nestas equações

empíricas para se obter uma ordem de grandeza para a vibração do terreno, conforme apresentado na Tabela 19.

Tabela 19. Valores estimados de velocidade de vibração de partículas segundo algumas equações empíricas levantadas (IRAMINA et al., 2003a).

| Equação | Velocidade Estimada p/ CME=25 kg (mm/s) | Velocidade Estimada p/ CME=31,25 kg (mm/s) | Velocidade Estimada p/ CME=36 kg (mm/s) | Observação |
|---|---|--|---|-----------------|
| $V_p = 714,4 \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-1,6}$ | 1,21 | 1,44 | 1,62 | Obteve-se VpMáx |
| $V_p = 432,3 \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-1,3461}$ | 2,01 | 2,34 | 2,57 | Obteve-se VpR |
| $V_p = 399,95 \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-1,40}$ | 1,50 | 1,76 | 1,94 | Obteve-se VpMáx |
| $V_p = 528,9 \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-1,2059}$ | 4,31 | 4,93 | 5,37 | Obteve-se VpR |
| $V_p = 1140 \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-1,6}$ | 1,93 | 2,30 | 2,58 | Obteve-se VpMáx |

Observação: Para esta tabela e as dos demais itens relacionados à vibração considerar:

CME = Carga Máxima por Espera

Vp = Velocidade de vibração de partícula em mm/s

Q = Carga em kg

D = Distância em m

VpMáx= Máxima componente de velocidade de pico de vibração de partícula

VpR= Velocidade de vibração de partícula resultante

8.4.2.2.2. Estimativa para lavra subterrânea na Mina Oeste.

Para a simulação do comportamento da vibração foram fornecidos alguns elementos sobre o plano de fogo projetado para a operação de lavra e outros relacionados ao empreendimento. Conforme já apresentado no Capítulo 7, foram projetadas três situações onde seriam utilizados diferentes planos de fogo para o desmonte de rocha (IRAMINA et al., 2003b):

a) Abertura da galeria de encosta para o acesso à mina subterrânea, cuja seção transversal projetada era 7 m por 7m ou 13 m por 7 m;

b) Abertura das galerias pilotos para o desmonte das câmaras superiores: avanço e alargamento, cuja seção inicial projetada era de 6,0 m por 5,5 m chegando depois a 13 m de largura;

c) Desmonte das câmaras inferiores, similar à lavra por bancadas a céu aberto: Serão três bancadas com altura de 5,5 m.

De todos os parâmetros indicados e fornecidos pelos dados do projeto e obtidos no Plano de Aproveitamento Econômico do projeto (PAE, 2003 apud IRAMINA et al., 2003a), como a malha, diâmetro dos furos, etc, os de maior importância são a carga máxima por espera adotada para cada situação e a distância mínima para as construções residenciais no entorno do empreendimento e com os quais pôde-se obter a distância escalonada.

Foram utilizadas 9 equações carga-distância como uma primeira aproximação para a magnitude da vibração (IRAMINA et al., 2003b). São apresentadas equações empíricas da literatura tanto para a céu aberto como para em subsolo que servem como uma primeira estimativa e também equações reais obtidas a partir de dados experimentais na abertura de vias subterrâneas, operação de mina subterrânea e uma pedreira de granito a céu aberto. As equações utilizadas para este estudo são apresentadas na Tabela 20, na seqüência.

Tabela 20. Equações carga-distância utilizadas para a previsão da magnitude na Mina Oeste.

| Equação | Observação |
|---|---|
| $V_p = 714,4 \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-1,6}$ | A velocidade de partícula V_p é dada em [mm/s], sendo esta a equação adotada pela interessada em sua mina de nefelina sienito nos Estados Unidos. Trata-se de uma equação genérica adotada pelo USBM (KONYA, 1995); |
| $V_p = 399,95 \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-1,40}$ | A V_p é dada em [mm/s], obtida para desmonte de granito a céu aberto para construção na Índia (TRIPATHY, 2002); |
| $V_p = 399,9 \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-1,1047}$ | A V_p é dada em [mm/s], obtida com 8 sismógrafos alinhados em uma direção de uma pedreira de granito a céu aberto na cidade de São Paulo (IRAMINA, 2002). |
| $V_p = 1140 \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-1,6}$ | V_p em [mm/s]. Sugerida pela Australian Standards na ausência de medições no local, como uma primeira aproximação e em condições médias conduzidas para uma bancada em mina a céu aberto (SCOTT, 1996). Esta é uma equação muito similar à da Du Pont onde houve somente um ligeiro decréscimo no valor de k (1143 no caso da Du Pont contra 1140 desta equação). |
| $V_p = 161,87 \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-1,1221}$ | V_p em [mm/s]. Esta equação foi obtida a partir da regressão de dezenas de valores medidos na abertura de um túnel ferroviário em área urbana na cidade de Belo Horizonte – MG. Os dados constam dos relatórios emitidos ao cliente. (ESTON e IRAMINA, 1992 e 1993). |
| $V_p = 145 \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-0,88}$ | V_p em [mm/s]. Esta equação foi obtida a partir da regressão de dezenas de valores medidos na abertura de um túnel que faz parte de uma usina hidrelétrica no estado de Minas Gerais (SOARES e IRAMINA, 2001). |
| $V_p = 435,8 \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-1,7}$ | V_p em [mm/s]. Estas duas equações foram obtidas para a escavação de uma galeria dentro de uma montanha de granito pertencente ao NORAD (Centro de operações de combate da força aérea norte-americana). Duas aproximações diferentes foram obtidas a partir de 2 fórmulas diferentes de distância escalonada (SNODGRASS e SISKIND, 1979). |
| $V_p = 2157,1 \left(\frac{D}{\sqrt[3]{Q}} \right)^{-2,04}$ | |
| $V_p = 700 \left(\frac{Q^{0,8}}{D^{1,6}} \right)$ | V_p em [mm/s]. Esta equação é indicada pelo autor como uma primeira estimativa para desmontes de rocha subterrâneos na ausência de dados experimentais que possibilitem o levantamento da equação do comportamento da vibração. (PAGE; ROBERTSON, 1987). |

Assim, com as equações empíricas levantadas pôde-se estimar uma ordem de grandeza para a vibração do terreno, conforme apresentado na Tabela 21.

8.4.2.2.3. Estimativa para lavra subterrânea na Mina Leste.

Para a simulação do comportamento da vibração foram fornecidos alguns elementos sobre o plano de fogo projetado para a operação de lavra e outros relacionados ao empreendimento. Conforme observado, existem três situações onde

serão utilizados diferentes planos de fogo para o desmonte de rocha (PROMINER, 2004):

- a) Abertura da galeria de encosta para o acesso à mina subterrânea, cuja seção transversal terá 7 m por 7m ou 13 m por 7 m, com um avanço médio de 4,0 m;
- b) Abertura das galerias pilotos para o desmonte das câmaras superiores: avanço e alargamento, cuja seção inicial será de 6,0 m por 5,5 m chegando depois a 13 m de largura, com um avanço médio de 4,0 m;
- c) Desmonte das câmaras inferiores, similar à uma operação de lavra por bancadas a céu aberto, sendo que a altura média destas bancadas de 4,0 m.

De todos os parâmetros indicados e fornecidos pelos dados do projeto (capítulo 7) como a malha, diâmetro dos furos, etc, os de maior importância são a carga máxima por espera adotada para cada situação e a distância mínima para as construções residenciais no entorno do empreendimento e com os quais pode-se obter a distância escalonada.

Embora as alterações de projeto tenham sido significativas quanto à localização da mina, passando de uma mina no corpo oeste para duas minas (leste e oeste) iniciando pelo leste, o projeto para a lavra sofreu poucas alterações com relação aos elementos de plano de fogo, permitindo-se que adotasse as mesmas equações utilizadas no item anterior.

Assim, com as equações empíricas levantadas pôde-se estimar uma ordem de grandeza para a vibração do terreno, conforme apresentado na Tabela 22.

Tabela 21. Valores estimados para a velocidade de vibração de partícula na Mina Oeste, de acordo com algumas equações (IRAMINA et al., 2003b)

| Equação | Vibração estimada para a detonação na abertura da rampa de acesso, cuja distância (D) à construção mais próxima é de 335 m, com 3 valores de carga máxima por espera projetados. Em mm/s. | | | Vibração estimada para a detonação das galerias de produção, cuja distância (D) à construção mais próxima é de 345 m, com 3 valores de carga máxima por espera projetados. Em mm/s. | | | Vibração estimada para a detonação nas bancadas de produção, cuja distância (D) à construção mais próxima é de 330 m, com 3 valores de carga máxima por espera projetados. Em mm/s. | | | Tipo de velocidade de partícula calculada |
|--|---|-------|-------|---|-------|-------|---|-------|-------|---|
| | 10 kg | 20 kg | 40 kg | 10 kg | 20 kg | 40 kg | 10 kg | 20 kg | 40 kg | |
| $V_p = 714,4 \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-1,6}$ | 0,41 | 0,72 | 1,25 | 0,39 | 0,68 | 1,19 | 0,42 | 0,73 | 1,28 | Vp Max (componente) |
| $V_p = 399,95 \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-1,10}$ | 0,58 | 0,95 | 1,54 | 0,56 | 0,91 | 1,48 | 0,60 | 0,97 | 1,58 | Vp Max (componente) |
| $V_p = 399,9 \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-1,1047}$ | 2,32 | 3,40 | 4,98 | 2,24 | 3,29 | 4,82 | 2,36 | 3,45 | 5,07 | Vp R (Resultante) |
| $V_p = 1140 \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-1,6}$ | 0,66 | 1,14 | 1,98 | 0,62 | 1,09 | 1,90 | 0,67 | 1,17 | 2,04 | Vp Max (componente) |
| $V_p = 161,87 \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-1,1021}$ | 0,86 | 1,28 | 1,88 | 0,83 | 1,23 | 1,82 | 0,88 | 1,29 | 1,91 | Vp R (Resultante) |
| $V_p = 145 \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-0,88}$ | 2,40 | 3,25 | 4,41 | 2,33 | 3,017 | 4,30 | 2,43 | 3,29 | 4,47 | Vp R (Resultante) |
| $V_p = 2157,1 \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-2,04}$ | 0,07 | 0,12 | 0,19 | 0,07 | 0,11 | 0,18 | 0,07 | 0,12 | 0,19 | Vp Max (componente) |
| $V_p = 435,8 \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-1,7}$ | 0,16 | 0,28 | 0,51 | 0,15 | 0,27 | 0,49 | 0,16 | 0,29 | 0,52 | Vp Max (componente) |
| $V_p = 700 \left(\frac{Q^{0,3}}{D^{1,6}} \right)$ | 0,40 | 0,70 | 1,22 | 0,38 | 0,67 | 1,17 | 0,41 | 0,72 | 1,25 | Vp Max (componente) |

Tabela 22. Valores estimados para a velocidade de vibração de partícula na Mina Leste, de acordo com algumas equações (IRAMINA et al., 2004)

| Equação | Vibração estimada para a detonação na abertura da rampa de acesso, cuja distância (D) à construção mais próxima é de 284 m, com 3 valores de carga máxima por espera projetados. Em mm/s. | | | Vibração estimada para a detonação das galerias de construção mais próxima é de 290 m, com 3 valores de carga máxima por espera projetados. Em mm/s. | | | Vibração estimada para a detonação nas bancadas de produção, cuja distância (D) à construção mais próxima é de 297 m, com 3 valores de carga máxima por espera projetados. Em mm/s. | | | Tipo de velocidade de partícula calculada |
|---|---|-------|-------|--|-------|-------|---|-------|-------|---|
| | 10 kg | 20 kg | 40 kg | 10 kg | 20 kg | 40 kg | 10 kg | 20 kg | 40 kg | |
| $V_p = 714,4 \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-1,6}$ | 0,54 | 0,93 | 1,62 | 0,52 | 0,90 | 1,57 | 0,54 | 0,93 | 1,62 | Vp Max (componente) |
| $V_p = 399,95 \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-1,40}$ | 0,74 | 1,20 | 1,94 | 0,72 | 1,16 | 1,89 | 0,69 | 1,12 | 1,83 | Vp Max (componente) |
| $V_p = 399,9 \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-1,1047}$ | 2,78 | 4,08 | 5,98 | 2,72 | 3,98 | 5,84 | 2,65 | 3,88 | 5,69 | Vp R (Resultante) |
| $V_p = 1140 \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-1,6}$ | 0,85 | 1,49 | 2,59 | 0,83 | 1,44 | 2,50 | 0,80 | 1,38 | 2,41 | Vp Max (componente) |
| $V_p = 161,87 \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-1,11231}$ | 1,04 | 1,54 | 2,27 | 1,02 | 1,50 | 2,21 | 0,99 | 1,46 | 2,16 | Vp R (Resultante) |
| $V_p = 145 \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-0,88}$ | 2,77 | 3,76 | 5,10 | 2,72 | 3,69 | 5,00 | 2,66 | 3,61 | 4,90 | Vp R (Resultante) |
| $V_p = 2157,1 \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-2,04}$ | 0,22 | 0,45 | 0,92 | 0,21 | 0,43 | 0,88 | 0,20 | 0,41 | 0,84 | Vp Max (componente) |
| $V_p = 435,8 \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-1,17}$ | 0,21 | 0,38 | 0,68 | 0,20 | 0,36 | 0,65 | 0,19 | 0,35 | 0,63 | Vp Max (componente) |
| $V_p = 700 \left(\frac{Q^{0,18}}{D^{1,6}} \right)$ | 0,52 | 0,91 | 1,59 | 0,51 | 0,88 | 1,54 | 0,49 | 0,85 | 1,48 | Vp Max (componente) |

8.4.2.2.4. Uniformização dos valores obtidos de velocidade de vibração de partícula

Existem diferenças entre as equações utilizadas nos itens 8.4.2.2.1 a 8.4.2.2.3, pois umas se referem à máxima componente e outras à resultante, sendo necessária, portanto, uma padronização dos valores. Procurou-se obter para todas as situações a velocidade resultante, baseada no que é preconizada pela norma da ABNT (9653), a partir da máxima componente obtida pela equação, dada pela soma vetorial das 3 componentes. Considerando que o pior caso ocorre quando as 3 componentes possuem o mesmo valor, ou seja, $V_{pMáx} = V_p L = V_p T = V_p V$, sendo que todas ocorreram exatamente num dado instante igual para elas, foi calculada uma velocidade resultante virtual como sendo:

$$V_p R = \sqrt{\left((V_p L)^2 + (V_p T)^2 + (V_p V)^2 \right)} = \sqrt{3V_p^2} \quad (12)$$

Portanto, de acordo com as equações utilizadas nas três situações, foram obtidas as estimativas da variação da velocidade de vibração de partícula baseada na velocidade resultante padronizada e calculada para as distâncias e cargas projetadas. Os resultados estão contidos na Tabela 23.

Tabela 23. Valores estimados de vibração de terreno para as três situações projetadas, após a padronização para a velocidade resultante.

| Situação | CME (kg) | D (m) | Variação da velocidade de vibração de partícula (mm/s) |
|---|-------------|----------|--|
| 1 - Bancadas a céu aberto | 25 | 270 | 2,09 a 4,31 |
| | 31,25 | 270 | 2,50 a 4,93 |
| | 36 | 270 | 2,80 a 5,37 |
| 2 – a) Subterrânea – Mina Oeste Abertura da rampa de acesso, adotada para a distância mínima de 335 m | 10 | 335 | 0,28 a 2,40 |
| | 20 | 335 | 0,48 a 3,40 |
| | 40 | 335 | 0,88 a 4,98 |
| 2 – b) Subterrânea – Mina Oeste Detonação para a abertura de galerias de desenvolvimento, adotada para a distância mínima de 345 m | 10 | 345 | 0,26 a 2,33 |
| | 20 | 345 | 0,47 a 3,29 |
| | 40 | 345 | 0,85 a 4,82 |
| 2 – c) Subterrânea – Mina Oeste Detonação nas bancadas de produção, adotada para a distância mínima de 330 m; | 10 | 330 | 0,28 a 2,43 |
| | 20 | 330 | 0,50 a 3,45 |
| | 40 | 330 | 0,90 a 5,07 |
| 3 – a) Subterrânea – Mina Leste Abertura da rampa de acesso, adotada para a distância mínima de 284 m | 10 | 284 | 0,21 a 2,78 |
| | 20 | 284 | 0,38 a 4,08 |
| | 40 | 284 | 0,68 a 5,98 |
| 3 – b) Subterrânea – Mina Leste Detonação para a abertura de galerias de desenvolvimento, adotada para a distância mínima de 290 m | 10 | 290 | 0,20 a 2,72 |
| | 20 | 290 | 0,36 a 3,98 |
| | 40 | 290 | 0,65 a 5,84 |
| 3 – c) Subterrânea – Mina Leste Detonação nas bancadas de produção, adotada para a distância mínima de 297 m; | 10 | 297 | 0,19 a 2,66 |
| | 20 | 297 | 0,35 a 3,88 |
| | 40 | 297 | 0,63 a 5,69 |

8.4.3. Sobrepressão atmosférica

8.4.3.1. Parâmetros que influenciam a sobrepressão atmosférica

Este assunto já foi abordado no item 5.3.2. do Capítulo 5.

8.4.3.2. Previsão da magnitude

Assim como para a vibração, foram adotadas algumas equações carga-distância para se estimar o nível de sobrepressão atmosférica dada em pressão. Uma diferença neste caso é com relação à distância escalonada, representada

por $D/Q^{1/3}$, onde D é a distância ao ponto de medição e Q é a carga máxima por espera.

8.4.3.2.1. Estimativa para lavra a céu aberto com desmonte por bancadas

Foram utilizadas, neste caso, as equações apresentadas na Tabela 24 (IRAMINA et al., 2003b).

Tabela 24. Equações empíricas para estimativa da sobrepressão atmosférica em detonações de bancada.

| Equação | Observação |
|--|--|
| $P = 536,45 \left(\frac{D}{\sqrt[3]{Q}} \right)^{-0,794}$ | P em [Pa]. Esta equação foi obtida por SISKIND et. al (1993) para uma detonação de bancada. |
| $P = 879,59 \left(\frac{D}{\sqrt[3]{Q}} \right)^{-0,711}$ | P em [Pa]. Esta equação foi obtida por STACHURA et. al (1988) para uma detonação de bancada. |

A Tabela 25 apresenta as aproximações obtidas para as mesmas condições de plano de fogo numa lavra a céu aberto e adotadas para a estimativa da vibração (item 8.3.3.2.1). Neste caso, considerou-se a menor distância ao receptor sensível como sendo de 270 m.

Tabela 25. Valores estimados de sobrepressão atmosférica (SPL) obtidos com 2 equações empíricas para a distância mínima de 270 m.

| Equação | Sobrepressão atmosférica (Lp) estimada a para cada carga máxima por espera (Pa e dBL) | | | Observação |
|--|---|-------------------------------|-------------------------------|------------|
| | Carga máxima por espera (CME) | | | |
| | 25 kg | 31,25 kg | 36 kg | |
| $P = 536,45 \left(\frac{D}{\sqrt[3]{Q}} \right)^{-0,794}$ | P=14,76 Pa ou Lp=117,4 dBL | P=15,66 Pa ou Lp=117,9 dBL | P=16,25 Pa ou Lp=118,2 | |
| $P = 879,59 \left(\frac{D}{\sqrt[3]{Q}} \right)^{-0,711}$ | P=35,23 Pa ou Lp=124,9 dBL | P=37,14 Pa ou Lp=125,4 dBL | P=38,40 Pa ou Lp=125,7 dBL | |

Onde

CME = Carga Máxima por Espera

P = Sobrepressão atmosférica em Pa

Lp= Sobrepressão atmosférica em dBL

Q = Carga em kg

D = Distância em m

(adotados para todas as demais tabelas de sobrepressão atmosférica)

8.4.3.2.2. Estimativa para lavra subterrânea na Mina Oeste

A geometria complexa tende a amplificar os níveis de sobrepressão. As ondas da detonação não podem se espalhar de acordo com o modelo esférico ou hemisférico como ocorre na superfície, pois elas são forçadas pelas aberturas da escavação e impelidas a se propagar por reflexão pela galeria.

Para a implantação e operação da mina subterrânea foram identificadas três fontes de sobrepressão atmosférica (IRAMINA et al., 2003b):

a) abertura da rampa de acesso: considera-se que os desmontes são do tipo a céu aberto para os primeiros 100 metros de escavação e considera-se que o comportamento da propagação da sobrepressão atmosférica seja similar à detonação de bancadas a céu aberto;

b) abertura da rampa de acesso após os 100 metros iniciais: a partir deste ponto considera-se que a sobrepressão atmosférica passa a se comportar de modo similar àquelas produzidas por desmontes subterrâneos;

c) abertura de galerias e travessas e detonações nas bancadas de produção do método pilar e salão: as fontes de sobrepressão atmosférica estão semi-enclausuradas e o ruído e a onda de choque viajam através das aberturas chegando até a superfície pela rampa de acesso. A partir deste ponto considera-se a atenuação da sobrepressão atmosférica de acordo com o modelo empregado para o ruído ambiental com os fatores de atenuação associados à distância e presença de barreiras.

Foram utilizadas, neste caso, as equações apresentadas na Tabela 26.

Tabela 26. Relação de equações utilizadas no cálculo das estimativas de previsão (IRAMINA et al., 2003b).

| Equação | Observação |
|--|---|
| $P = 536,45 \left(\frac{D}{\sqrt[3]{Q}} \right)^{-0,794}$ | P em [Pa]. Esta equação foi obtida por SISKIND et. al (1993) para uma detonação de bancada. |
| $P = 879,59 \left(\frac{D}{\sqrt[3]{Q}} \right)^{-0,711}$ | P em [Pa]. Esta equação foi obtida por STACHURA et. al (1988) para uma detonação de bancada. |
| $P = 4630000 \left(\frac{D}{\sqrt[3]{Q}} \right)^{-2,15}$ | P em [Pa]. Esta equação foi levantada para detonações monitoradas ao longo das galerias de uma mina subterrânea, cujo método de lavra adotado era o pilar e salão. (OLSON; FLETCHER, 1975) |
| $P = 346 \left(\frac{D}{\sqrt[3]{Q}} \right)^{-0,854}$ | P em [psi]. Esta equação foi obtida a partir de um gráfico gerado com dados de detonações de tipos diferentes de explosivos em minas subterrâneas. Todos apresentaram um comportamento semelhante, o que levou os autores a adotar uma única equação para o comportamento da sobrepressão atmosférica. Os valores foram medidos em áreas internas à mina (MAINIERO; WEISS, 1995). |

Uma primeira etapa para a estimativa dos níveis de sobrepressão atmosférica foi estabelecer que a fonte de ruído impulsivo corresponderia ao local do emboque da rampa de acesso. Neste caso, a rampa de acesso canalizaria todas as ondas de choque produzidas pelas diversas atividades de detonação, pois estas ondas de choque ou seriam produzidas neste local (no caso da abertura da rampa) ou então obrigatoriamente passariam por este ponto (aberturas de galerias e travessas e abertura da própria rampa a uma determinada distância do emboque) a despeito do fato delas viajarem ao longo do maciço rochoso. Deste modo, as duas equações (a de OLSON e de MAINIERO) foram inicialmente utilizadas para fazer a transposição da fonte original (a uma certa distância dentro da rampa) para o emboque da rampa de acesso, conforme apresentado na Tabela 27.

Tabela 27. Aproximação para uniformização da fonte de sobrepressão atmosférica a partir de detonações subterrâneas na Mina Oeste (IRAMINA et al., 2003b).

| Sobrepressão atmosférica (em dBL e Pa) para a detonação na abertura da rampa de acesso estimada para um ponto situado no emboque da rampa para 3 distâncias da frente de desmonte e 3 cargas máximas por espera | | | | |
|---|-------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Equação para mina subterrânea | D (m) | CME (kg) | | |
| | | 10 kg | 20 kg | 40 kg |
| $P = 4630000 \left(\frac{D}{\sqrt[3]{Q}} \right)^{-2,15}$ | 100 m | 155,6 dBL (1208,5 Pa) | 159,9 dBL (1986,0 Pa) | 164,2 dBL (3263,8 Pa) |
| | 200 m | 142,7 dBL (272,3 Pa) | 147,0 dBL (447,5 Pa) | 151,3 dBL (735,4 Pa) |
| | 300 m | 135,1 dBL (113,9 Pa) | 139,4 dBL (187,1 Pa) | 143,74 dBL (307,6 Pa) |
| $P = 346 \left(\frac{D}{\sqrt[3]{Q}} \right)^{-0,854}$ | 100 m | 186,2 dBL (40864,3 Pa) | 187,9 dBL (49778,0 Pa) | 189,6 dBL (60636,0 Pa) |
| | 200 m | 181,1 dBL (22608,1 Pa) | 182,8 dBL (27539,6 Pa) | 184,5 dBL (33546,8 Pa) |
| | 300 m | 178,1 dBL (15991,3 Pa) | 179,8 dBL (19479,4 Pa) | 181,5 dBL (23728,4 Pa) |

A Tabela 28, por sua vez, apresenta os valores estimados para 3 pontos situados à menor distância do empreendimento e que podem ser considerados como os receptores sensíveis mais próximos que sofrerão a influência da sobrepressão atmosférica gerada pelas detonações na mina subterrânea, agora canalizadas para uma única fonte (emboque da rampa).

As distâncias consideradas foram de 578 m entre o emboque da rampa de acesso e o Parque Equitativa, 720 m entre o emboque da mesma rampa e o Parque Equitativa junto à Av. Automóvel Clube e 760 m para o Bairro Barro Branco. A Figura 69 apresenta a localização destes pontos.

Tabela 28. Sobrepressão atmosférica estimada para os pontos receptores sensíveis mais próximos da Mina Oeste (IRAMINA et al., 2003b).

| Equação usada | D (m) | CME (kg) | | | Observação |
|--|-------|----------|-------|-------|-------------|
| | | 10 kg | 20 kg | 40 kg | |
| $P = 536 \left(\frac{D}{\sqrt[3]{Q}} \right)^{-0,794}$ | 578 | 110 | 111,6 | 113,2 | Céu aberto |
| | 720 | 108,5 | 110,1 | 111,7 | Céu aberto |
| | 760 | 108,1 | 109,7 | 111,3 | Céu aberto |
| $P = 879 \left(\frac{D}{\sqrt[3]{Q}} \right)^{-0,711}$ | 578 | 118,3 | 119,8 | 121,2 | Céu aberto |
| | 720 | 117,0 | 118,4 | 119,8 | Céu aberto |
| | 760 | 116,6 | 118,1 | 119,5 | Céu aberto |
| $P = 4630000 \left(\frac{D}{\sqrt[3]{Q}} \right)^{-2,15}$ | 578 * | 86,6 | 90,9 | 95,2 | Subterrânea |
| | 720 * | 89,6 | 93,9 | 98,2 | Subterrânea |
| | 760 * | 89,1 | 93,4 | 97,7 | Subterrânea |
| $P = 346 \left(\frac{D}{\sqrt[3]{Q}} \right)^{-0,854} (**)$ | 578 * | 117,2 | 118,9 | 120,6 | Subterrânea |
| | 720 * | 120,2 | 121,9 | 123,6 | Subterrânea |
| | 760 * | 119,7 | 121,4 | 123,1 | Subterrânea |

* Para estes cálculos foi utilizada a mesma metodologia de atenuação para o ruído ambiental apresentada no item 8.4.1.2. (Previsão da magnitude) deste relatório. O valor calculado representa uma estimativa dos níveis de sobrepressão atmosférica a uma determinada distância a partir de um outro valor estimado por uma das duas equações para minas subterrâneas. O que se fez neste caso foi a transposição da fonte do local exato onde ocorreu a detonação para o emboque da rampa de acesso, calculado na Tabela 28. A partir daí foi utilizado o mesmo procedimento adotado para o ruído ambiental (IRAMINA et al., 2003b), resumido a seguir.

Sabemos que $L_p = L_w - k_1 - k_2$, e também que:

$L_w = L_p$ (fonte) + 7 dB;

k_1 = obtido na Figura 67;

k_2 = obtido nas Figuras 68 (no caso das distâncias de 729 e 760 m) ou 69 (para a distância de 578 m em função de estar protegido por barreiras);

D = Distância da fonte ao receptor

Outra forma de simplificação adotada foi o de considerar uma única frequência para a sobrepressão atmosférica, onde se utilizou o valor de 250 Hz.

Temos ainda que:

Q = Carga em kg ou lb (* dependendo da equação)

D = Distância em m ou pés (* dependendo da equação)

Um exemplo desta metodologia é o valor obtido para a equação e mostrado na Tabela 29.

Tabela 29. Exemplo de cálculo de ruído utilizado para a metodologia adotada.

| Equação utilizada | $P = 4630000 \left(\frac{D}{\sqrt[3]{Q}} \right)^{-2,15}$ |
|-------------------|--|
|-------------------|--|

Para uma distância de 578 m, e uma carga máxima por espera de 10 kg e considerando-se que o pior caso seria o trabalho na rampa a uma distância de 100 m do emboque, obteve-se o valor de 155,6 dBL no emboque. A partir deste momento o emboque passa a ser a fonte de ruído e deve percorrer uma distância de 578 m para chegar até o receptor sensível mais próximo. Assim o cálculo seria:

$L_p = L_w - k_1 - k_2$, ou seja, $L_p = L_w (=155,6+7) - k_1(= 62) - k_2(= 14) = 86,6$ dBL, com k_1 e k_2 obtidos nos gráficos das Figuras 66 e 68, respectivamente

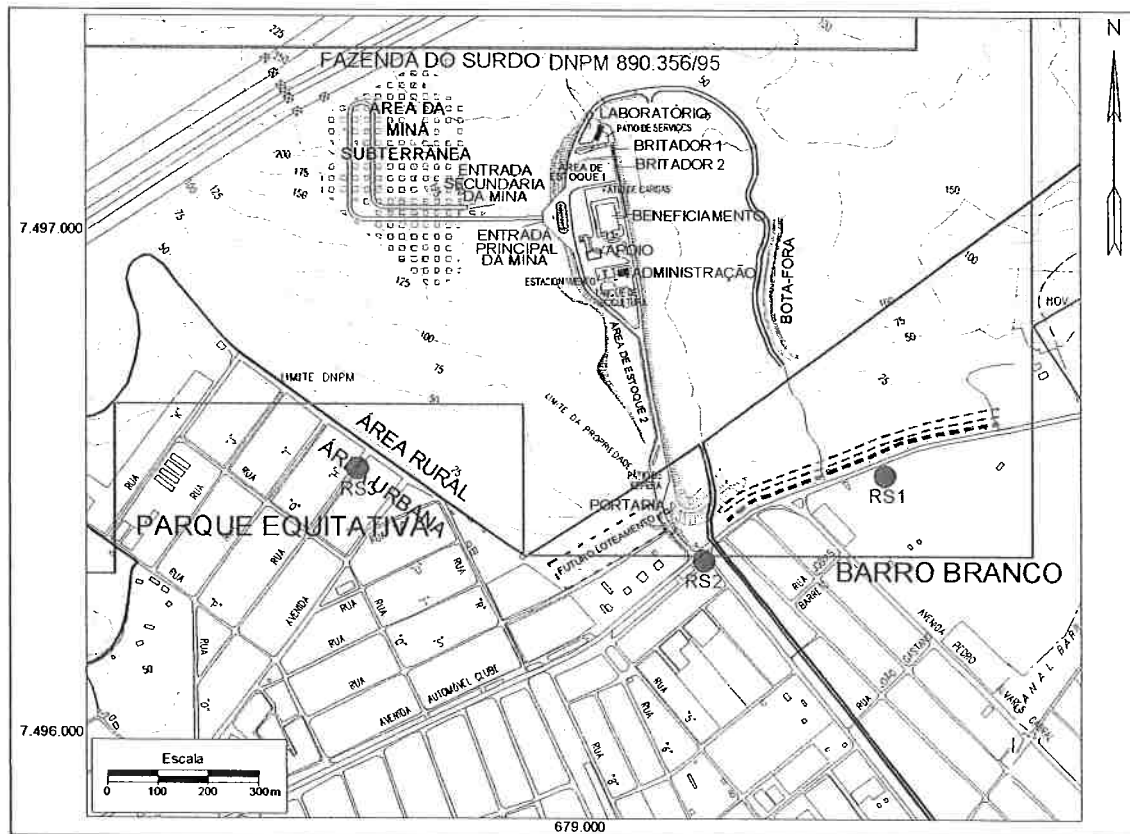


Figura 69. Localização dos pontos receptores sensíveis mais próximos para a Mina Oeste (IRAMINA et al., 2003b)

8.4.3.2.3. Estimativa para lavra subterrânea na Mina Leste

O mesmo procedimento adotado para a estimativa da Mina Oeste foi adotado para a Mina Leste (IRAMINA et al., 2004). Assim, as equações empregadas nos cálculos das estimativas são as mesmas da Tabela 28 do item anterior.

Foi novamente utilizada a etapa para a estimativa dos níveis de sobrepressão atmosférica estabelecendo como a fonte geradora principal o emboque da rampa de acesso à Mina Leste. Deste modo, as duas equações (a de OLSON e de MAINIERO) foram utilizadas novamente para fazer a transposição da fonte original para o emboque da rampa de acesso, conforme apresentado na Tabela 30.

Tabela 30. Aproximação para uniformização da fonte de sobrepressão atmosférica a partir de detonações subterrâneas na Mina Leste (IRAMINA et al., 2004).

| Sobrepressão atmosférica (em dBL e Pa) estimada para a detonação na abertura da rampa de acesso em um ponto situado no emboque da rampa, simulando-se 3 distâncias da frente de desmonte e 3 cargas máximas por espera | | | | | | |
|--|-------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--|--|
| Equação para mina subterrânea | D (m) | CME (kg) | | | | |
| | | 10 kg | 20 kg | 40 kg | | |
| $P = 4630000 \left(\frac{D}{\sqrt[3]{Q}} \right)^{-2,15}$ | 100 m | 155,6 dBL (1208,5 Pa) | 159,9 dBL (1986,0 Pa) | 164,2 dBL (3263,8 Pa) | | |
| | 200 m | 142,7 dBL (272,3 Pa) | 147,0 dBL (447,5 Pa) | 151,3 dBL (735,4 Pa) | | |
| | 300 m | 135,1 dBL (113,9 Pa) | 139,4 dBL (187,1 Pa) | 143,74 dBL (307,6 Pa) | | |
| $P = 346 \left(\frac{D}{\sqrt[3]{Q}} \right)^{-0,854}$ | 100 m | 186,2 dBL (40864,3 Pa) | 187,9 dBL (49778,0 Pa) | 189,6 dBL (60636,0 Pa) | | |
| | 200 m | 181,1 dBL (22608,1 Pa) | 182,8 dBL (27539,6 Pa) | 184,5 dBL (33546,8 Pa) | | |
| | 300 m | 178,1 dBL (15991,3 Pa) | 179,8 dBL (19479,4 Pa) | 181,5 dBL (23728,4 Pa) | | |

A Tabela 31, por sua vez, apresenta os valores estimados para 3 pontos situados à menor distância do empreendimento e que podem ser considerados como os receptores sensíveis mais próximos que sofrerão a influência da sobrepressão atmosférica gerada pelas detonações na mina subterrânea, agora canalizadas para uma única fonte (emboque da rampa).

As distâncias consideradas, conforme IRAMINA et al. (2004), foram de 316 m entre o Bairro Barro Branco e emboque da rampa de acesso (ponto S1), 466 m entre o emboque desta rampa e o Parque Equitativa junto à Av. Automóvel Clube

(ponto S2), e 750 m entre esta rampa e o Parque Equitativa (ponto S3). A Figura 70 apresenta a localização destes pontos.

Tabela 31. Sobrepressão atmosférica estimada para os pontos receptores sensíveis mais próximos da Mina Leste (IRAMINA et al., 2004)

| Sobrepressão atmosférica L_p (em dBL) estimada em 3 pontos situados na comunidade ao redor do empreendimento tendo como fontes a detonação do tipo a céu aberto no emboque da rampa de acesso e a influência dos desmontes subterrâneos a partir do emboque da mesma rampa. | | | | | |
|---|-------|----------|--------|--------|-------------|
| Equação usada | D (m) | CME (kg) | | | Observação |
| | | 10 kg | 20 kg | 40 kg | |
| $P = 536 \left(\frac{D}{\sqrt[3]{Q}} \right)^{-0,794}$ | 316 | 114,16 | 115,75 | 117,35 | Céu aberto |
| | 466 | 111,48 | 113,08 | 114,67 | Céu aberto |
| | 750 | 108,20 | 109,79 | 111,39 | Céu aberto |
| $P = 879 \left(\frac{D}{\sqrt[3]{Q}} \right)^{-0,711}$ | 316 | 122,05 | 123,48 | 124,91 | Céu aberto |
| | 466 | 119,65 | 121,08 | 122,51 | Céu aberto |
| | 750 | 116,72 | 118,14 | 119,57 | Céu aberto |
| $P = 4630000 \left(\frac{D}{\sqrt[3]{Q}} \right)^{-2,15}$ | 316 * | 94,61 | 98,91 | 103,21 | Subterrânea |
| | 466 * | 88,72 | 93,02 | 97,32 | Subterrânea |
| | 750 * | 81,50 | 85,80 | 90,10 | Subterrânea |
| $P = 346 \left(\frac{D}{\sqrt[3]{Q}} \right)^{-0,854} (**)$ | 316 * | 125,21 | 126,91 | 128,61 | Subterrânea |
| | 466 * | 119,32 | 121,02 | 122,72 | Subterrânea |
| | 750 * | 112,10 | 113,80 | 115,50 | Subterrânea |

* A mesma metodologia de cálculos empregada no item anterior também foi aplicada aqui.

Sabendo que: k_1 = obtido na Figura 66; k_2 = obtido na Figura 68, considerando a presença de barreiras (IRAMINA et al., 2004); Adotou-se um valor único para a frequência da sobrepressão (250 Hz).

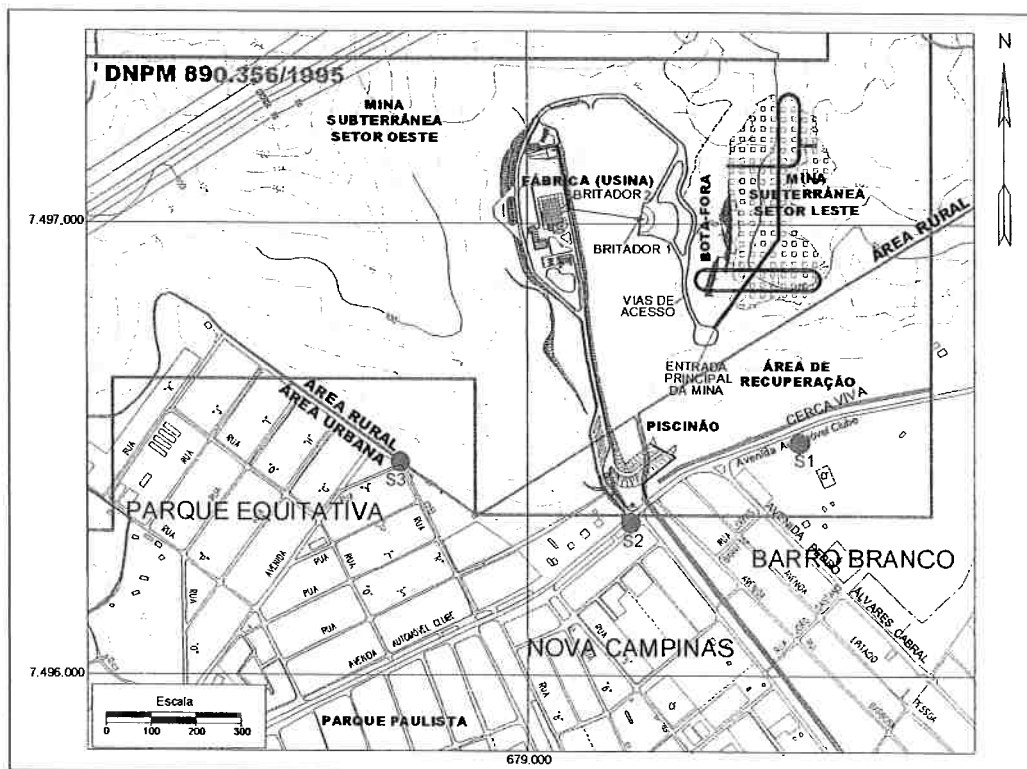


Figura 70. Mapa com a localização dos pontos receptores sensíveis mais próximos com relação à implantação da Mina Subterrânea Leste (IRAMINA et al., 2004).

CAPÍTULO 9 – VIBRAÇÃO DO TERRENO E SOBREPRESSÃO ATMOSFÉRICA NO PLANO DE GESTÃO AMBIENTAL

As atividades que envolvem a extração de recursos naturais podem induzir eventos sísmicos e a liberação para o ambiente de outras formas de energia, como a sobrepressão atmosférica. Como a população tende a se concentrar ao redor destas extrações aumenta a probabilidade de que cresçam também o número e a severidade de danos induzidos por estes eventos, de modo que e as compensações para os danos por eles causados devem ser feitas por quem os provocou. Isto já ocorre, por exemplo, nos Estados Unidos, onde o responsável por um dano sísmico muitas vezes é obrigado a reparar o prejuízo causado (IRAMINA, 2002).

Existem vários aspectos legais que podem ser atribuídos aos danos causados por vibrações do terreno e sobrepressão atmosférica como, por exemplo, invadir ou ultrapassar alguma propriedade (“trespass”), estando sujeita à responsabilidade legal estrita, negligência ou incômodo. Estes dois parâmetros podem ser considerados muitas vezes como uma ultrapassagem análoga à uma invasão física ou então vistos como poluição (uma forma de energia que ultrapassa algum limite estabelecido). Se por um lado a mina do Projeto Nefelina não contribui significativamente para o agravamento dos grandes problemas ambientais do planeta – como chuvas ácidas, aumento do buraco na camada de ozônio, efeito estufa e aquecimento global com o aumento dos níveis dos oceanos – ela pode ser responsável por diversos danos e incômodos às populações que vivem no seu entorno.

A mineração provoca reações ambíguas, pois a despeito de sua importância socio-econômica, por suprir produtos e garantir a sobrevivência de muitos, possui um alto índice de rejeição por diversos setores da sociedade devido ao seu potencial em degradar o meio ambiente. Idealmente, para que estes impactos tivessem pouco efeito sobre as pessoas, a lavra e o processamento dos minérios deveriam ocorrer somente a grandes distâncias dos núcleos urbanos, das estradas, rios, etc.

Um Sistema de Gestão Integrada de Segurança e Meio Ambiente é caracterizado por uma política e uma ferramenta de gerenciamento de informações e se baseia no sistema de Gestão Ambiental, que pode ser descrito como uma “*estrutura*

organizacional, responsabilidade, práticas, procedimentos, processos e recursos para o desenvolvimento, implementação, obtenção, revisão e manutenção da política de meio ambiente” (SZWILSKI, 2000). É um conceito mais amplo, que engloba a gestão ambiental como sendo “um conjunto de medidas de ordem técnica e gerencial que visam assegurar que o empreendimento seja implantado, operado e desativado em conformidade com a legislação ambiental e outras diretrizes relevantes, a fim de minimizar os riscos ambientais e os impactos adversos, além de maximizar os efeitos benéficos” (SÁNCHEZ, 2006).

Ainda de acordo com o autor, uma das funções da avaliação de impacto ambiental é auxiliar no planejamento da gestão ambiental das ações e iniciativas, pois ao se estudar as interações entre a ação proposta e o meio ambiente, pode-se fazer recomendações com o objetivo de reduzir os impactos negativos, destacar os positivos (se houver) e estabelecer as diretrizes de procedimento. O plano de gestão ambiental resultante de uma avaliação de impactos cuidadosa para um projeto novo torna-se muito valioso à medida que apresenta um potencial para efetivar um desenvolvimento sustentável.

Como componentes de um plano de gestão ambiental, Sánchez (2006) afirma que basicamente existem dois:

a) Medidas mitigadoras: conjunto de ações a serem executadas com o objetivo de se reduzir os impactos negativos de um empreendimento, ou seja, prever quais são os principais impactos negativos e buscar meios para se evitar que ocorram, ou então reduzir a sua magnitude;

b) Plano de monitoramento: descrição dos procedimentos a serem adotados quando ocorrer a implantação, operação e desativação do empreendimento com o objetivo de constatar, baseado em algum sistema de indicadores predefinidos, se os impactos previstos ocorreram de fato e de que modo o empreendimento está lidando com eles (comparação com padrões legais ou outras condicionantes).

Além destes dois componentes, outras medidas podem ser incorporadas a este plano de gestão, sendo as mais freqüentes as medidas compensatórias e as medidas de valorização dos impactos benéficos. Para este trabalho foram considerados as medidas mitigadoras e o plano de monitoramento.

Para os parâmetros ambientais ruído, vibração do terreno e sobrepressão atmosférica foram sugeridas a adoção de medidas mitigadoras e planos de monitoramento. Estes foram estruturados na seqüência e devem constar do plano de gestão ambiental baseado nas políticas da empresa.

9.1. MEDIDAS MITIGADORAS

As medidas ideais de controle são aquelas que visam reduzir, coletar, capturar ou reter os poluentes ainda na fonte, ou seja, antes que estes poluentes cheguem ao receptor. A seguir são apresentadas sugestões de medidas mitigadoras para os parâmetros analisados neste estudo para cada fase do empreendimento.

Como têm uma causa comum, optou-se, em algumas ocasiões, por fazer a análise de ambos os parâmetros de forma conjunta.

9.1.1. Fase de Implantação

Durante a implantação do empreendimento haverá situações onde serão necessárias atividades de corte, decapeamento e remoção de solo para dar início à operação de implantação do empreendimento. Nesta etapa poderá haver a necessidade de remoção de alguns matacões e o uso de explosivos surge como uma alternativa. Se houver a necessidade de remoção deste material, sugere-se o uso de métodos alternativos como martelos rompedores ou “drop ball” para evitar o incômodo provocado pela sobrepressão atmosférica no caso da utilização de explosivos.

9.1.2. Fase de Operação

9.1.2.1. Vibração do terreno

Para controlar o nível de vibração a uma determinada distância, é necessário limitar a carga de explosivos detonada por retardo (carga máxima por espera). Esta verdadeira correlação entre intensidade da vibração e a carga máxima somente poderá ser obtida por meio de levantamentos de equação carga-distância no local da detonação. Com esta expressão poderá se estimar as cargas que deverão gerar um dado nível de vibração a uma dada distância, ou estimar o nível de vibração

conhecendo-se as cargas e a distância. Se a carga em um furo for maior do que o permitido, então, ou furos menos profundos devem ser perfurados ou uma carga menor deve ser usada.

O controle da carga máxima por espera pode ser feito também com os seguintes procedimentos:

- Evitar o excesso de carga, controlando o diâmetro correto do furo, prevendo ou procurando cavidades e vazios por onde os explosivo possa penetrar e aumentar a razão de carregamento do furo;
- Uso de um sistema de retardamento (do tipo furo a furo) para evitar sobreposição dos trens de ondas. O intervalo de retardo entre as cargas ou os furos de modo a assegurar que não exista interferência da vibração produzida por uma carga em outra deve ser no mínimo de aproximadamente 15 a 20 ms.
- Uso de um tamponamento adequado (calculado muitas vezes como múltiplos do diâmetro do furo);
- Evitar as subfurações em excesso, pois isto implica maior confinamento do explosivo, porém utilizando sempre uma razão de carregamento adequada.

Além destas medidas, pode-se adotar medidas com relação ao desenho do plano de fogo como afastamentos adequados, uso de inclinações e subfurações para evitar a formação de repés e escolha do melhor local para a iniciação da detonação, no caso de desmonte em bancadas subterrâneas ou a céu aberto. Para a abertura de galerias devem ser adotados pilões com furos vazios de grande diâmetro para a criação de uma face livre que otimizam o uso de explosivos. Tempos de retardo para abertura de túneis e galerias normalmente variam de múltiplos de 25 ms. O arranjo da malha de avanço deve assegurar que os retardos sejam suficientemente longos para garantir a não interferência entre os furos, mas por outro lado eles não podem excessivamente longos, pois isto influi no tempo total da detonação. Detonações com duração inferior a 1 segundo provocam menos reclamações do que detonações longas (com duração de alguns segundos) (IRAMINA et al., 2004);

Outra medida bastante eficiente é passar um comunicado à população vizinha avisando-a dos dias e horários programados para as detonações e seguir à risca

este cronograma. Se ela for avisada antecipadamente, a possibilidade de reclamações tende a ser minimizada.

9.1.2.2. Sobrepressão atmosférica

Alguns dos procedimentos adotados para o controle da sobrepressão atmosférica e/ou ruído já fazem parte dos procedimentos para controle da vibração. São procedimentos do tipo:

- Evitar a detonação de explosivos que não estejam confinados;
- Evitar o excesso de carga, controlando o diâmetro correto do furo, prevendo ou procurando cavidades e vazios por onde os explosivo possa penetrar e aumentar a razão de carregamento do furo;
- Uso de um tamponamento adequado;
- Uso de um sistema de retardamento (do tipo furo a furo) para evitar sobreposição da sobrepressão atmosférica;
- Utilizar um sistema de tubos de choque (do tipo nonel, brinel, exel, etc.) para o acionamento dos explosivos;
- Otimizar a fragmentação do desmonte primário, através de técnicas adequadas, para se evitar o desmonte secundário por explosivos, o chamado "fogacho" , que resulta em uma série (chegando a dezenas ou mesmo centenas) de detonações menores, sendo uma das principais fontes de reclamação por parte da população vizinha;
- Passar um comunicado à população avisando-a dos dias e horários programados para as detonações. Isto pode evitar os sustos e diminuir as reclamações;
- Deixar as janelas abertas (de edifícios localizados muito próximos) para diminuir a área envidraçada exposta à onda de choque;
- Evitar detonações quando as condições climáticas estiverem adversas (inversões térmicas, tempo nublado, ventos com direção desfavorável, etc.);

- Uso de coberturas vegetais ao redor da mina para o amortecimento da onda sonora, ou mesmo barreiras sonoras a partir de áreas de disposição de estéril;
- Para a mina subterrânea, um procedimento bastante eficiente é o uso de uma barreira no emboque da rampa de acesso para amortecer a passagem do som e da onda de choque. Este tipo de barreira pode ser composto de material de descarte como pneus comuns e partes de correias transportadoras e a sua disposição seria feita de modo a preencher toda a face da seção do emboque da rampa de acesso. Este arranjo é simples e pode ser instalado por meio de ganchos e/ou cabos fixados no teto da abertura com uma certa antecedência ao horário de detonação;
- Ainda para a mina subterrânea pode-se mudar a disposição do emboque da rampa de acesso, fazendo com que ela fique virada para a direção N-NW, em direção às linhas de alta tensão ou então inserir uma barreira próxima a ela para que absorva parte da onda de choque da detonação.

9.1.3 Fase de Desativação

Na fase de desativação não haverá mais desmontes e, portanto, não serão necessárias medidas mitigadoras. Deve-se somente atentar para o fato de que os taludes remanescentes podem deslizar e provocar tremores com magnitudes perceptíveis. Medidas como a suavização da inclinação final, redução da altura das bancadas, revegetação e vistorias sistemáticas tendem a minimizar estas ocorrências.

9.2 PLANO DE MONITORAMENTO

9.2.1. Fase de Implantação

Durante a fase de implantação do empreendimento, independentemente dos métodos considerados para a lavra (subterrânea ou a céu aberto), ela não estará operando e, portanto, não há necessidade de monitoramentos sismográficos sistemáticos. No entanto recomenda-se que sejam executados os seguintes estudos:

9.2.1.1. Monitoramento sismográfico de furos isolados

Uma série de monitoramentos sismográficos para testes de detonações com furos ou bancadas carregadas de explosivos pode simular o efeito que terão as cargas máximas por espera iguais às que serão adotadas na abertura da rampa e nas bancadas de produção. Com estas medições poderia se obter a ordem de grandeza da velocidade de vibração de partícula e da sobrepressão atmosférica em pontos da comunidade.

9.2.1.2. Vistoria prévia

Antes do início de qualquer trabalho de desmonte de rocha sugere-se que faça uma vistoria prévia em algumas das casas da comunidade. O objetivo destas inspeções é o de documentar dados sobre as condições estruturais destas casas antes das operações de desmonte por explosivos. Muitas construções apresentam trincas e fissuras em locais despercebidos, o que leva muitas vezes os ocupantes a atribuir à detonação a causa destas rachaduras.

A primeira vantagem destas vistorias advém do fato dos moradores das casas próximas à mineração tomarem conhecimento sobre as condições reais de suas moradias. A pré-existência de trincas, fissuras ou rachaduras indica que a origem destas imperfeições não está ligada a eventos sísmicos. Sabe-se que a vibração é um entre os vários fenômenos que podem causar trincas e fissuras, sendo ela muitas vezes apenas a desencadeadora de eventos visíveis de um processo de instabilidade que pode ser atribuído a estes fenômenos (como por exemplo, o recalque do terreno em função do peso da estrutura ou de alterações no nível freático; variações térmicas; materiais não apropriados; erros de cálculo; infiltrações, etc.). KONYA (1995) cita uma lista de dezenas de fenômenos que podem ser a causa do aparecimento de fissuras nas construções. A segunda vantagem consiste no fato da documentação ser utilizada em ocasiões onde se pode corroborar ou contestar reclamações de danos decorrentes da vibração do terreno.

O procedimento de vistoria utilizado na descrição das condições deve ser sistemático e bastante detalhado, onde se deve anotar todos os defeitos visíveis, documentando-os inclusive por meio de fotos. Recomenda-se enviar uma via do registro de cada casa ao seu respectivo proprietário ou morador.

9.2.2 Fase de Operação

Durante a fase de operação sugere-se a adoção de um plano de monitoramento sismográfico inserido no modelo de gestão ambiental. Para estes dois parâmetros, o modelo de gestão deve considerar:

a) Os aspectos ambientais: Propagação de vibração em excesso pelo terreno e de sobrepressão atmosférica;

b) A previsão de impactos:

- Danos materiais em estruturas vizinhas
- Incômodo à população

c) Os requisitos legais a serem obedecidos:

- Norma NBR-9653 da ABNT;
- Padrões de poluição (vibração e sobrepressão atmosférica) estaduais, se houver;
- Padrões da CETESB (apenas como referência para o incômodo).

d) Os requisitos internos: levar em consideração a frequência da vibração baseando-se em outras normas (USBM, OSM – Office of Surface Mining dos EUA, norma DIN, etc);

e) Os objetivos:

- controlar o excesso de vibração do terreno e da sobrepressão atmosférica;
- evitar reclamações sobre danos e incômodos

f) As metas:

- Assegurar atendimento aos requisitos legais e critérios internos;
- Obedecer ao planejamento indicado por ferramentas como os monitoramentos sistemáticos, equações carga-distância e mapa de iso – velocidades *.

g) Os prazos: início imediato

h) Os custos envolvidos:

- Monitoramento sistemático, no primeiro ano para todas as detonações;
- Levantamento de equações carga-distância para a nefelina-sienito a partir de monitoramentos específicos;
- Utilização de novos explosivos e acessórios, se necessário;
- Alterações nos planos de fogo tanto para a abertura da rampa de acesso e galerias de desenvolvimento como para os desmontes de produção em bancada em função dos resultados dos monitoramentos;
- Possibilidade de levantamento de um mapa de iso – velocidades *, observar as tendências do comportamento e evitar a ocupação de terrenos com potencial de reclamações a partir de monitoramentos específicos;

i) As responsabilidades:

- Alta direção
- Engenharia
- Produção

Os monitoramentos sismográficos sistemáticos devem ser realizados na fase de operação baseados inicialmente nos requisitos legais como a Norma da ABNT (NBR-9653). Os locais de monitoramento devem ser escolhidos levando-se em consideração as construções mais próximas dos limites de propriedade da Mineração Duque de Caxias. Sugere-se a escolha de alguns dos pontos utilizados no monitoramento de ruído próximos ao limite da propriedade (IRAMINA et al., 2003a, 2003b, 2003c e 2004, SCHRAGE, 2005) e que podem ser observados na Tabela 32 e no mapa da Figura 71. A escolha dos pontos independe das alternativas propostas para os métodos de lavra uma vez que qualquer que seja a localização da mina (a céu aberto ou subterrânea) ela ficará restrita ao corpo mineralizado, não interferindo na escolha dos pontos de monitoramento que devem ser, preferencialmente, aqueles situados nas proximidades da divisa do empreendimento com a comunidade. Nesta etapa do monitoramento os resultados obtidos em pontos localizados fora dos limites da propriedade devem estar rigorosamente em conformidade com a norma da ABNT, o que implica que sejam realizados monitoramentos de todos os desmontes. Sugere-se que os monitoramentos sejam

executados com pelo menos dois sensores instalados em 2 dos 10 pontos sugeridos na Tabela 32 a cada detonação. Quanto maior o número de sismógrafos utilizados, mais confiáveis serão os resultados.

Tabela 32. Localização dos pontos de monitoramento sismográficos propostos.

| Ponto | Local | Coordenadas UTM |
|--------------------------------------|--|--------------------|
| Área interna (empreendimento) | | |
| S1 | Próximo à área da mina subterrânea | 23K 679480 7496714 |
| S2 | Próximo ao piscinão para contenção das águas | 23K 679401 7496540 |
| S3 | Junto à portaria | 23K 679234 7496390 |
| Área externa (comunidades) | | |
| S4 | Bairro Barro Branco, junto à Av. Automóvel Clube | 23K 679921 7496597 |
| S5 | Bairro Barro Branco, junto à Av. Automóvel Clube | 23K 679713 7496550 |
| S6 | Bairro Barro Branco | 23K 679291 7496294 |
| S7 | Bairro Nova Campinas | 23K 679100 7496087 |
| S8 | Parque Equitativa | 23K 678911 7496251 |
| S9 | Parque Equitativa | 23K 678725 7496449 |
| S10 | Parque Equitativa | 23K 678313 7496353 |

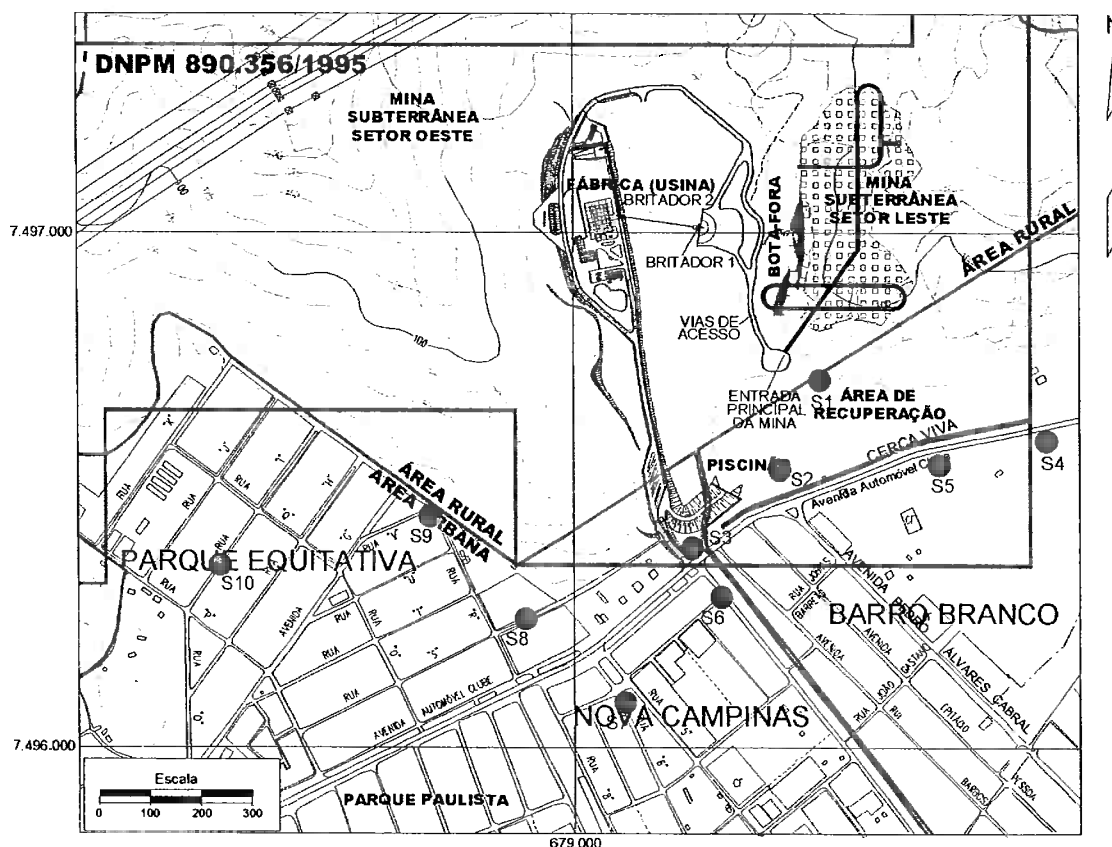


Figura 71. Localização dos pontos sugeridos para o programa de monitoramento sismográfico (IRAMINA et. al, 2004)

Outros pontos mais distantes podem ser escolhidos para se prevenir contra eventuais reclamações de incômodo. Sugere-se ainda que se façam algumas medições em pontos localizados dentro dos limites da propriedade da mina com o objetivo de se obter dados relativos a distâncias escalonadas menores. Com um número razoável de pontos medidos (30 ou mais) e com distâncias escalonadas diversas pode-se elaborar uma equação de carga-distância para o maciço rochoso.

Pode-se, então, fazer uso de ferramentas mais sofisticadas como a elaboração de um mapa de iso-velocidades baseado no comportamento da vibração obtido em várias direções. Este comportamento para cada direção pode ser obtido a partir de equações levantadas a partir de 8 ou mais pontos alinhados que irão captar uma única detonação.

Neste mapa de contorno das vibrações da detonação medidas pelos sismógrafos as linhas de contorno conectam as áreas nas quais as amplitudes de vibração são

iguais. Mapas obtidos de diversas detonações dentro de uma mina ou pedreira mostram que enquanto a amplitude da vibração do terreno em um local em particular irá variar de detonação para detonação, a taxa na qual a amplitude da vibração do terreno varia é constante. Isto significa que se a geologia em uma localidade em particular tende a atenuar a vibração rapidamente, ela o fará de modo consistente, não importando se a vibração for maior ou menor. De modo similar, se a geologia tende a ressonar, amplificar ou perpetuar as vibrações do terreno, ela o fará tanto para os níveis de vibração altos como para os baixos (IRAMINA, 2002). As taxas de atenuação de vibração fazem com que a velocidade de partícula de pico em uma localidade em particular aumente ou decresça relativamente à sua vizinhança de modo previsível. Por causa desta taxa na qual as vibrações são atenuadas de modo constante para uma localidade em particular, a forma dos contornos de iso-velocidade pode ser usada para identificar as tendências na vibração que o terreno apresenta, o que fará com que o mapa se torne uma ferramenta poderosa de planejamento para a Mineração.

9.2.3. Fase de Desativação

Além do uso de explosivos para a remoção do minério, grandes aberturas na rocha podem provocar deslizamento de taludes e subsidências de blocos subterrâneos, que podem resultar em tremores. Segundo um estudo de 1988, realizado pelo Serviço Geológico Britânico, cerca de 25 % de todos os terremotos registrados podem estar de alguma forma ligados à mineração de carvão daquele país (IRAMINA, 2002).

Recomendou-se, portanto, que fosse executado um plano de monitoramento da estabilidade de taludes de modo a evitar que estes venham a escorregar, monitorando-os com sismógrafos de engenharia se houver indícios de movimentação dos taludes.

CAPÍTULO 10 – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Baseado nas informações fornecidas pelos relatórios técnicos do LACASEMIN e pelos Relatório Preliminar Ambiental, Plano de Aproveitamento Econômico, Relatório de reavaliação de Pesquisa e Estudo de Impacto Ambiental, foram obtidas estimativas de magnitude dos parâmetros vibração do terreno e sobrepressão atmosférica. A consistência destes resultados é discutida nos itens seguintes.

10.1. RESUMO DAS ESTIMATIVAS OBTIDAS COM OS MODELOS APLICADOS.

10.1.1. Vibração do terreno

10.1.1.1. Primeira alternativa: cava em meia encosta

Os valores estimados para as vibrações do terreno devido às detonações nas bancadas da cava em meia encosta, para três possibilidades de carga máxima por espera, são apresentados na Figura 72. Estes valores foram ainda comparados com as normas da ABNT (NBR-9653, 15 mm/s) e da CETESB (4,2 mm/s).

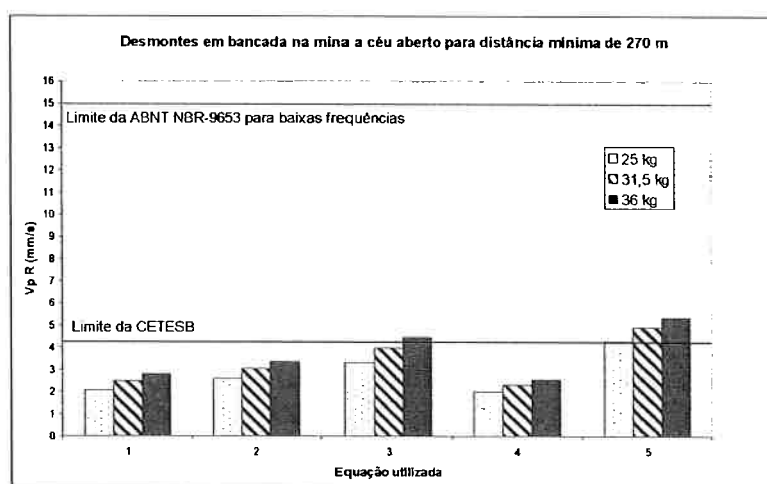


Figura 73. Valores estimados para a vibração do terreno em um desmorte a céu aberto com 3 cargas máximas por espera.

10.1.1.2. Segunda alternativa: mina subterrânea no setor oeste

As Figuras 73, 74 e 75 apresentam, respectivamente, os valores estimados para as vibrações do terreno devido às detonações nas operações de abertura da rampa de acesso, abertura de galerias e desmontes de bancadas na Mina Oeste, para três possibilidades de carga máxima por espera. Estes valores foram ainda comparados com as normas da ABNT (NBR-9653, 15 mm/s) e da CETESB (4,2 mm/s).

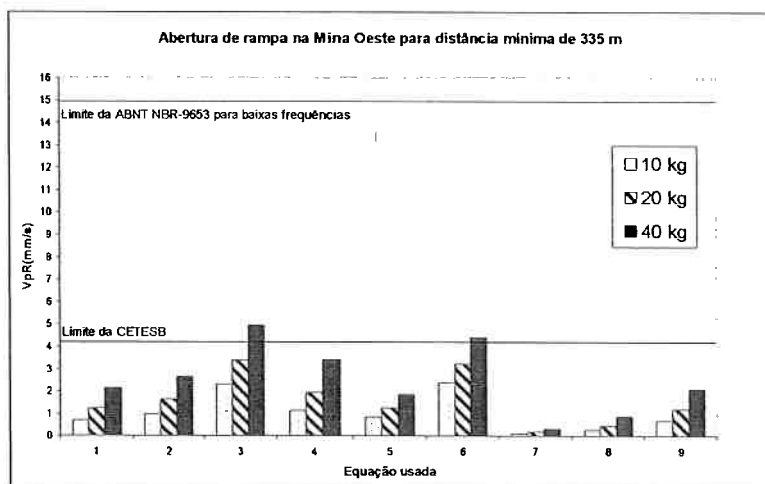


Figura 73. Valores estimados para a vibração do terreno na abertura da rampa de acesso na Mina Subterrânea Oeste com 3 cargas máximas por espera.

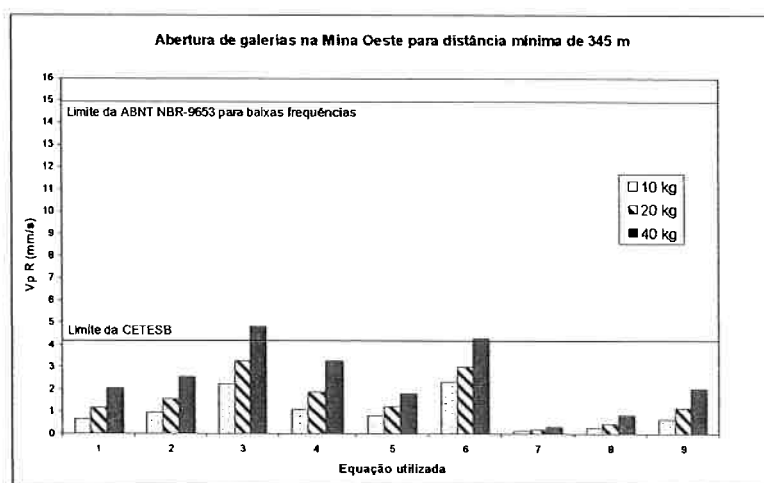


Figura 74. Valores estimados para a vibração do terreno na abertura de galerias na Mina Subterrânea Oeste com 3 cargas máximas por espera.

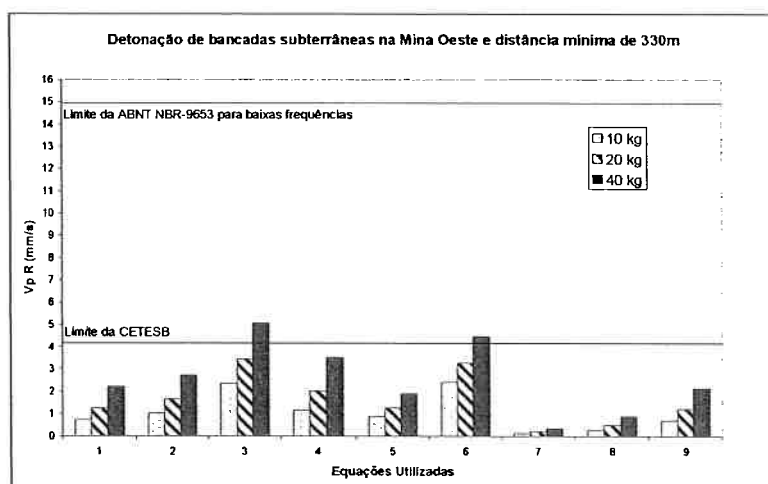


Figura 75. Valores estimados para a vibração do terreno na detonação de bancadas na Mina Subterrânea Oeste com 3 cargas máximas por espera.

10.1.1.3. Terceira alternativa: duas minas subterrâneas e com o início pela Mina Leste

As Figuras 76, 77 e 78 apresentam, respectivamente, os valores estimados para as vibrações do terreno devido às detonações nas operações de abertura da rampa de acesso, abertura de galerias e desmontes de bancadas na Mina Leste, para três possibilidades de carga máxima por espera. Estes valores foram ainda comparados com as normas da ABNT (NBR-9653, 15 mm/s) e da CETESB (4,2 mm/s).

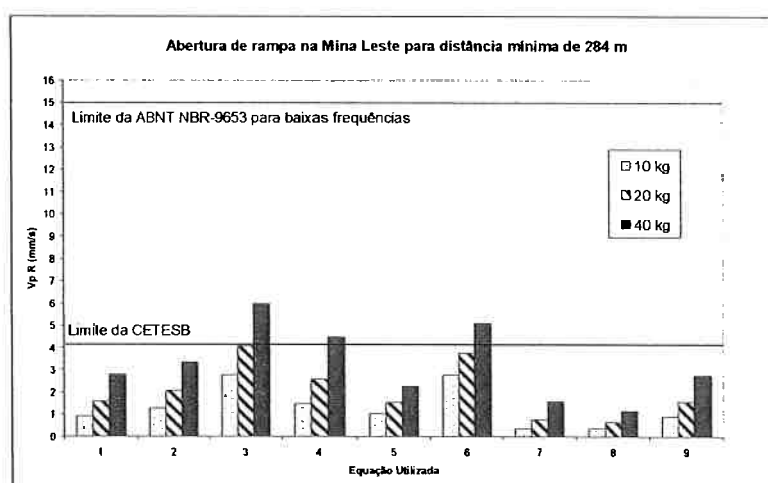


Figura 76. Valores estimados para a vibração do terreno na abertura da rampa de acesso na Mina Subterrânea Leste com 3 cargas máximas por espera.

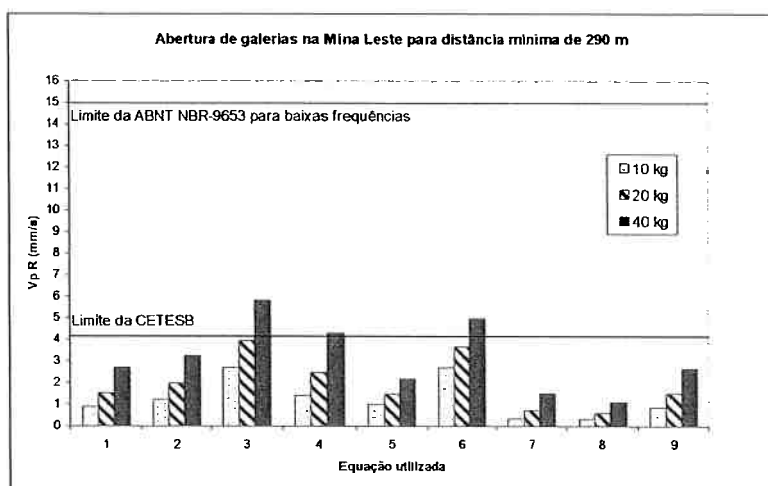


Figura 77. Valores estimados para a vibração do terreno na abertura de galerias na Mina Subterrânea Leste com 3 cargas máximas por espera.

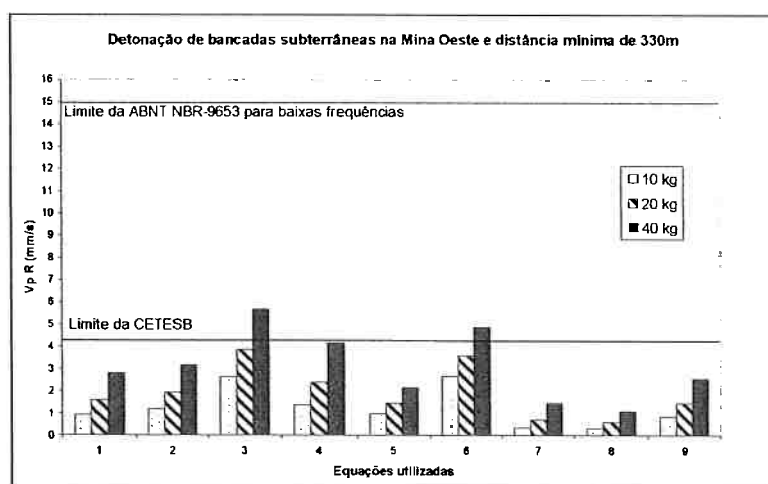


Figura 78. Valores estimados para a vibração do terreno na detonação de bancadas na Mina Subterrânea Leste com 3 cargas máximas por espera.

10.1.2. Sobrepressão atmosférica

10.1.2.1. Primeira alternativa: cava em meia encosta

Os valores estimados para a sobrepressão atmosférica devido às detonações nas bancadas da cava em meia encosta, para três possibilidades de carga máxima por espera, são apresentados na Figura 79. Estes valores foram ainda comparados com as normas da ABNT (NBR-9653, 134 dBL) e da CETESB (128 dBL).

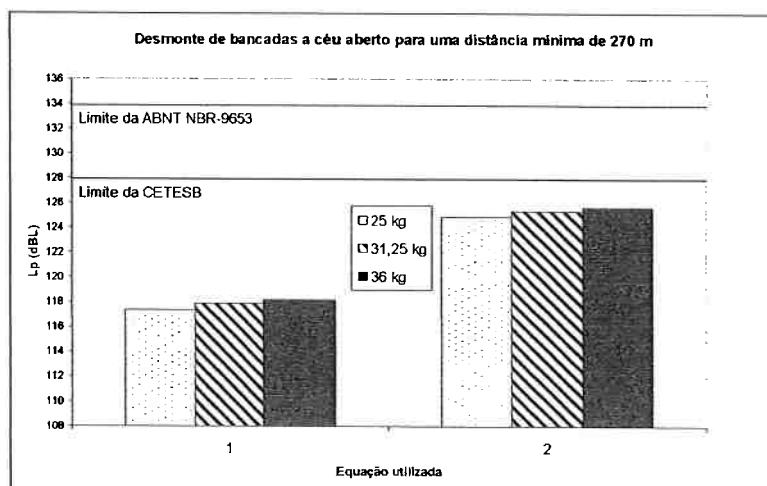


Figura 79. Valores estimados para a sobrepressão atmosférica de um desmorte a céu aberto com 3 cargas máximas por espera.

10.1.2.2. Segunda alternativa: mina subterrânea no setor oeste

A Figura 80 apresenta os valores estimados para sobrepressão atmosférica devido às detonações nas operações da Mina Oeste, para três possibilidades de carga máxima por espera. Estes valores foram ainda comparados com as normas da ABNT (NBR-9653, 134 dBL) e da CETESB (128 dBL).

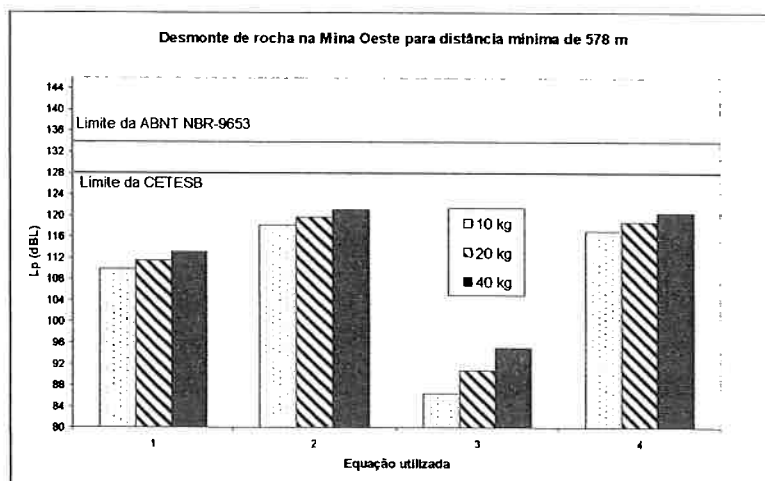


Figura 80. Valores estimados para a sobrepressão atmosférica de um desmorte na Mina Subterrânea Oeste com 3 cargas máximas por espera.

10.1.2.3. Terceira alternativa: duas minas subterrâneas e com o início pela Mina Leste

A Figura 81 apresenta os valores estimados para sobrepressão atmosférica devido às detonações nas operações da Mina Leste, para três possibilidades de carga máxima por espera. Estes valores foram ainda comparados com as normas da ABNT (NBR-9653, 134 dBL) e da CETESB (128 dBL).

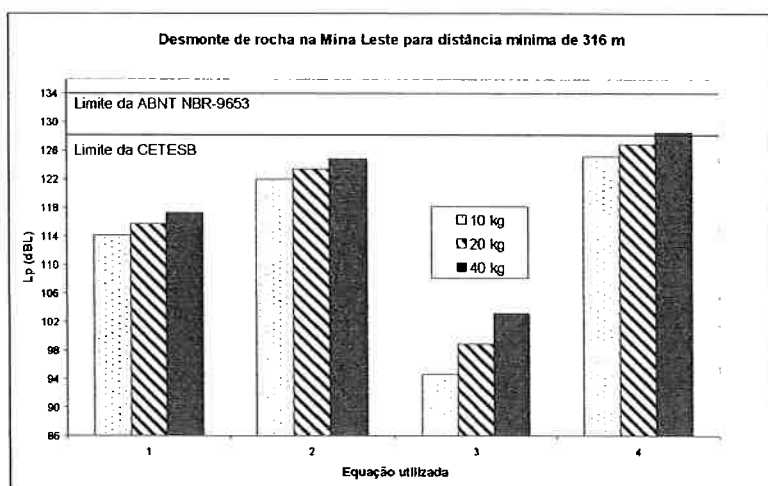


Figura 81. Valores estimados para a sobrepressão atmosférica de um desmonte na Mina Subterrânea Leste com 3 cargas máximas por espera.

10.2. CONSIDERAÇÕES

Os valores estimados para a previsão da magnitude destes parâmetros podem ser considerados como sendo dentro do esperado. Embora houvesse equações muito conservadoras e outras nem tanto, pode-se dizer que a variação tanto para a vibração do terreno como para a sobrepressão atmosférica situou-se dentro de uma faixa operacional observada para este tipo de atividade. Contribuem para isto dois fatores:

- Cargas máximas por espera relativamente baixas para desmontes de rocha a céu aberto. No caso de desmontes para túneis e minas subterrâneas, as cargas máximas por espera nestas operações costumam apresentar valores menores, porém deve-se levar em conta o fato das distâncias muitas vezes serem menores, pois os túneis em áreas urbanas costumam passar por debaixo de moradias;
- Distâncias relativamente seguras, que variaram de 270 m a mais de 700 metros.

Com relação à conformidade aos padrões legais, observou-se que todos os valores de vibração do terreno e sobrepressão atmosférica mantiveram-se abaixo dos limites preconizados pela norma da ABNT, a NBR-9653, que após a sua revisão passou a adotar o limite de 15 mm/s a 50 mm/s (dependendo das frequências obtidas) e de 134 dBL respectivamente para a vibração do terreno e a sobrepressão atmosférica. A norma da CETESB (4,2 mm/s e 128 dBL) foi colocada a título de referência, uma vez que lida com o incômodo causado pelas detonações no estado de São Paulo. Nota-se que para cargas máximas por espera de 40 kg existiram algumas não conformidades a ela, o que serviu de norte para a empresa iniciar os seus trabalhos, em caso de aprovação do EIA.

10.2.1. Validade dos modelos adotados

Evidentemente que a maneira mais simples e confiável de se levantar valores de vibração do terreno e sobrepressão atmosférica seriam os monitoramentos sismográficos sistemáticos, a partir da qual poderiam ser levantadas quantas curvas carga-distância fossem desejadas ou até mesmo um único levantamento utilizando centenas de sismógrafos de engenharia que gerariam um mapa de iso-velocidades bastante preciso. Uma breve explicação deste método é apresentada no item 10.2.3.

Existem poucos modelos empíricos ou teóricos genéricos e numerosos modelos empíricos específicos de um local em particular. Qual a melhor escolha neste caso? Ambos, desde que os modelos empíricos específicos fossem de alguma forma mais confiáveis.

Como não foi possível efetuar monitoramentos sismográficos para se estabelecer o comportamento da vibração do terreno, assumiu-se como hipótese de trabalho que o maciço de nefelina-sienito apresentaria um comportamento similar ao do granito, o que resultou no levantamento de diversas equações para a previsão do comportamento da atenuação da vibração do terreno.

10.2.1.1. Velocidade de propagação na rocha.

Neste item foi discutida a possibilidade de se estabelecer esta correlação, baseada em parâmetros que afetam a velocidade de propagação das ondas nas rochas. Assim, ao se provar que ambas as rochas (granito e nefelina-sienito)

apresentam propriedades geomecânicas parecidas, acredita-se que uma correlação possa ser feita.

10.2.1.1.1. Tipo de rocha

Valores de velocidade de propagação em algumas rochas e minerais foram apresentados por LAMA e VUTUKURI (1978) e, de modo geral, pode-se afirmar que as velocidades de propagação são maiores em rochas mais densas e compactas, conforme observado na Tabela 33, que apresenta outras propriedades levantadas por diversos autores (RINEHART, FORTIN, BURGIM, 1961 e RZHEVSKY, NOVIK apud LAMA e VUTUKURI 1978).

Tabela 33. Velocidades de propagação da onda longitudinal de algumas rochas ou minerais e algumas de suas propriedades dinâmicas (RINEHART, FORTIN, BURGIM, 1961 e RZHEVSKY, NOVIK apud LAMA e VUTUKURI 1978)

| Rocha ou mineral | Velocidade de propagação da onda longitudinal (m/s) | Densidade específica aparente | Impedância da onda específica ($z \times 10^5$, kg/s.m ²) |
|------------------|---|-------------------------------|---|
| Granito | 4.350 a 5.000 | 2,78 | 126,0 |
| Sienito | 4.950 | 2,71 | 134,0 |
| Calcáreo | 3.200 a 5.500 | 2,30 a 3,00 | 73,0 a 165,0 |
| Arenito | 2.000 a 3.600 | 2,10 a 2,90 | 42,0 a 100,8 |

10.2.1.1.2. Textura

Segundo Birch (1943) apud Lama e Vutukuri (1978) a velocidade na rocha pode ser relacionada com as velocidades nos seus diversos componentes minerais. Deste modo, segundo o autor, para um dado comprimento L (razoavelmente longo) de uma camada que apresente um diâmetro de cristal médio, um pulso viaja através de cada mineral da rocha proporcionalmente ao seu volume em relação à rocha, gerando a seguinte equação:

$$T = \frac{L}{V} = \frac{Lx_1}{V_1} + \frac{Lx_2}{V_2} + \dots + \frac{Lx_i}{V_i} \quad (13)$$

Onde

T = Tempo de percurso

L = comprimento do trajeto

V = velocidade na rocha

V_1, V_2, \dots, V_i = Velocidade no mineral 1, 2, ..., i

x_1, x_2, \dots, x_i = proporção em volume dos minerais 1, 2, ..., i

O que significa que a velocidade da rocha é uma função das velocidades nas várias componentes minerais, podendo ser expressa por:

$$V = \frac{1}{\sum \frac{x_i}{V_i}} \quad (14)$$

Salientando que esta equação não leva em consideração fatores como tamanho dos grãos ou orientação preferencial dos cristais. Como regra geral, pode-se dizer que a velocidade é maior para rochas com grãos mais finos do que para aquelas com grãos mais grossos.

10.2.1.1.3. Textura

O principal fator que determina a velocidade longitudinal das ondas é a densidade (e o peso atômico médio) do material. Lama e Vutukuri (1978) citam diversos trabalhos de autores que demonstram que à medida que a densidade da rocha aumenta, o mesmo ocorre com o módulo de elasticidade, o que implica que uma rocha com uma densidade mais alta possui coeficiente de Poisson e Módulo de Young mais altos.

10.2.1.1.4. Porosidade

De uma maneira geral, a velocidade das ondas decresce com o aumento da porosidade (WYLLIE, GREGORY e GARDNER, 1958 apud LAMA e VUTUKURI, 1978), que pode se apresentar de duas formas: porosidade intergranular e porosidade intermediária. Podem ser observados trabalhos que demonstram uma tendência de decréscimo do módulo de Young das rochas com o aumento da

porosidade e também pela seguinte relação empírica entre a velocidade longitudinal (V_p) e a porosidade n (em %):

$$V_p = 5430 - 107n \quad (\text{m/s}) \quad (15)$$

10.2.1.1.5. Anisotropia

Em camadas rochosas, as velocidades das ondas elásticas diferem ao longo e através das camadas, e a velocidade paralela à camada é sempre maior do que a velocidade perpendicular à mesma. De maneira bastante simplificada uma rocha com duas camadas de rochas diferentes, com a mesma impedância acústica específica (ou seja, o produto da densidade da rocha pela velocidade da onda elástica nela), apresenta a seguinte relação para a velocidade das ondas através das camadas:

$$\frac{l}{V_{\perp}} = \frac{l_1}{V_1} + \frac{l_2}{V_2} \quad (16)$$

Onde l_1 e l_2 são as espessuras das camadas com as velocidades do som V_1 e V_2 , sendo $l = l_1 + l_2$.

Portanto, as velocidades são afetadas pelos coeficientes de anisotropia, que podem ser definidos como a razão entre a velocidade ao longo das camadas e a velocidade perpendicular às mesmas, que variam de 1,07 a 1,4 (LAMA e VUTUKURI, 1978).

10.2.1.1.6. Tensões

O maciço rochoso pode ser submetido à pressão hidrostática e às tensões triaxiais e uniaxiais e as velocidades podem ser medidas na direção paralela ou perpendicular às tensões maiores. Testes de laboratório indicaram que a velocidade de propagação nas rochas se mantém próxima da constante quando submetidas a diversos métodos de compressão, com exceção da velocidade medida na direção perpendicular de uma tensão do tipo uniaxial. O que se sabe é que as velocidades acústicas compressivas e cisalhantes das rochas normalmente aumentam com o aumento da pressão e se baseiam na diminuição da porosidade e no fechamento de fraturas e fissuras, deixando a rocha mais compacta e permitindo um aumento da

resistência mecânica em função do maior contato entre os seus grãos cristalinos. Porém, assim como em modelos de deformação mecânica após ultrapassar uma determinada tensão algumas rochas passam a apresentar diminuição da velocidade de propagação (LAMA e VUTUKURI, 1978).

10.2.1.1.7. Presença de água

A presença de água nos poros da rocha leva a uma alteração nas velocidades de ondas elásticas, e desde que ela não “amoleça” a rocha, então muito provavelmente o tempo percorrido pela onda passando pelos grãos e pelos poros preenchidos com água será menor do que se os poros estivessem preenchidos com água, o que leva a uma velocidade mais alta. Basta observar a comparação entre as velocidades acústicas obtidas nas substâncias, apresentada na Tabela 34 (RZHEVSKY e NOVIK, 1971 apud LAMA e VUTUKURI, 1978).

Tabela 34. Velocidades de ondas longitudinais nas fases da rocha (RZHEVSKY e NOVIK, 1971 apud LAMA e VUTUKURI, 1978).

| Fase | Densidade aparente (kg/m ³) | Velocidade da onda longitudinal (m/s) |
|---------|---|---------------------------------------|
| Água | 1000 | 1485 |
| Ar | 1,29 | 331 |
| Geólito | 918 | 3200 a 3300 |

Porém nem sempre uma rocha com seus poros preenchidos por água apresenta aumento do módulo de elasticidade, como é o caso de mármore e granitos, para o calcário, no entanto, esta relação não é observada.

10.2.1.1.8. Temperatura

Via de regra, a velocidade das ondas longitudinais diminui com o aumento da temperatura, baseada na expansão desigual do espaço entre os cristais, o que acaba criando algumas fissuras internas e deixando alguns cristais mais “soltos” e diminuindo assim as constantes elásticas dinâmicas. Este efeito ocorre de forma mais acentuada em pressões mais baixas, pois as altas pressões (que podem

ocorrer devido ao aumento da temperatura ou vice-versa) tendem a comprimir os espaços criados, fenômeno observado para as pressões hidrostáticas.

10.2.1.2. Comparação entre granito e nefelina-sienito

Sansone (2001) em seu trabalho de doutorado realizou uma série de ensaios com diversas rochas, entre elas alguns tipos de granito. Foram obtidos parâmetros geomecânicos de interesse ao estudo, conforme apresentado da reprodução dos dados na Figura 82.

| Tabela 5.11 - Ensaios em granito | | | | |
|----------------------------------|-------------|---------------------|------------|-------|
| Corpo de Prova | | Parâmetro | | |
| Denominação | Litologia | σ_c (MPa) | E (MPa) | ν |
| CP-GRANITO-I-01 | Granito I | 109,9 | 42.160 | 0,42 |
| CP-GRANITO-I-02 | Granito I | 98,6 | 44.004 | 0,32 |
| CP-GRANITO-I-03 | Granito I | 111,0 | 43.256 | 0,37 |
| CP-GRANITO-I-04 | Granito I | 100,2 | 41.717 | 0,40 |
| CP-GRANITO-I-05 | Granito I | 128,8 | 45.638 | 0,27 |
| CP-GRANITO-I-06 | Granito I | 105,7 | 47.338 | 0,32 |
| CP-GRANITO-I-07 | Granito I | 93,6 | 40.974 | 0,30 |
| CP-GRANITO-I-08 | Granito I | 86,8 | 46.870 | 0,45 |
| CP-GRANITO-I-09 | Granito I | 107,7 | 51.437 | 0,33 |
| CP-GRANITO-I-10 | Granito I | 111,0 | 49.550 | 0,29 |
| CP-GRANITO-I-11 | Granito I | 118,0 | 49.677 | 0,30 |
| CP-GRANITO-I-12 | Granito I | 105,8 | 53.318 | 0,31 |
| CP-GRANITO-I-13 | Granito I | 117,4 | 50.910 | 0,34 |
| CP-GRANITO-II-01 | Granito II | 93,9 | 56.433 | 0,62 |
| CP-GRANITO-II-02 | Granito II | 158,7 | 56.830 | 0,32 |
| CP-GRANITO-II-03 | Granito II | 100,1 | 60.957 | 0,23 |
| CP-GRANITO-II-04 | Granito II | 165,1 | 60.116 | 0,27 |
| CP-GRANITO-II-05 | Granito II | 146,8 | 59.083 | 0,32 |
| CP-GRANITO-III-01 | Granito III | 155,2 | 62.988 | 0,24 |
| CP-GRANITO-III-02 | Granito III | 136,7 | 58.471 | 0,30 |
| CP-GRANITO-III-03 | Granito III | 158,7 | 65.543 | 0,22 |
| CP-GRANITO-IV-01 | Granito IV | 124,2 | 57.890 | 0,24 |
| CP-GRANITO-IV-02 | Granito IV | 150,0 | 60.644 | 0,33 |
| CP-GRANITO-IV-03 | Granito IV | 108,4 | 62.448 | 0,25 |
| CP-GRANITO-IV-04 | Granito IV | 75,2 | 89.700 | 0,56 |
| CP-GRANITO-IV-05 | Granito IV | 187,9 | 65.530 | 0,24 |

| Tabela 5.12 - Índices estatísticos | | | |
|------------------------------------|---------------------|-------------|-------|
| Índice Estatístico | Parâmetro Mecânico | | |
| | σ_c (MPa) | E (MPa) | ν |
| Corpos de Prova | 26 | 26 | 26 |
| Média | 121,4 | 54.749 | 0,33 |
| Intervalo de Confiança de -95 % | 110,1 | 50.490 | 0,29 |
| Intervalo de Confiança de +95 % | 132,7 | 59.008 | 0,37 |
| Mediana | 111,0 | 54.874 | 0,31 |
| Soma | 3.155,5 | 1.423.490 | 8,57 |
| Mínimo | 75,2 | 40.974 | 0,22 |
| Máximo | 187,9 | 89.700 | 0,62 |
| Quartil Inferior | 100,2 | 46.870 | 0,27 |
| Quartil Superior | 146,8 | 60.644 | 0,34 |
| Faixa de Variação Total | 112,7 | 48.726 | 0,39 |
| Faixa de Variação do Quartil | 46,6 | 13.774 | 0,07 |
| Variância | 780,5 | 111.173.787 | 0,01 |
| Desvio Padrão | 27,9 | 10.544 | 0,10 |
| Erro Padrão | 5,5 | 2.068 | 0,02 |
| Assimetria | 0,67 | 1,31 | 1,66 |
| Erro Padrão da Assimetria | 0,46 | 0,46 | 0,46 |
| Kurtosis | -0,25 | 3,47 | 2,94 |
| Erro Padrão da Kurtosis | 0,89 | 0,89 | 0,89 |

Figura 82. Valores de parâmetros mecânicos encontrados em ensaios para granito (SANSONE, 2001).

De acordo com os dados desta figura pôde-se fazer uma comparação entre os parâmetros mecânicos obtidos para as rochas do Projeto Nefelina, conforme apresentado na Tabela 35.

Tabela 35. Comparação entre parâmetros geomecânicos do granito e do maciço do Projeto Nefelina.

| Tipo de Rocha | Esforços de Compressão (Mpa) | Módulo de Young (GPa) | Coefficiente de Poisson |
|------------------|---------------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Granito (mínimo) | 75,20 | 40,97 | 0,220 |
| Granito (máximo) | 187,90 | 89,70 | 0,660 |
| Granito (médio) | 121,40 | 54,75 | 0,330 |

| | | | |
|----------------------|--------|-------|-------|
| Sienito | 65,85 | 37,80 | 0,305 |
| Nefelina-sienito | 70,75 | 37,43 | 0,230 |
| Granitóide | 40,40 | 29,07 | 0,225 |
| Nefelina-sienito são | 117,30 | 60,00 | 0,253 |

Esta comparação mostra que os valores médios obtidos para o granito estão próximos dos valores obtidos para a nefelina-sienito são, que compõe a maior parte do maciço rochoso. Isto pode ser interpretado como um indicativo de sua resposta à passagem de uma onda-P, uma vez que valores de RQD e RMR obtidos indicam que a nefelina-sienito é uma rocha competente.

10.2.2. Incorporação de novos elementos ao estudo

10.2.2.1. Novos modelos de previsão da vibração do terreno

10.2.2.1.1. Adaptações de modelos existentes

De acordo com Bath, 1979 apud Roy, 2005, o decaimento real na amplitude da vibração com relação à distância é maior do que seria esperado e atribuído somente ao “esparramamento” geométrico. Isto se deve à natureza inelástica da rocha, denominada de atenuação inelástica. Como o maciço rochoso é constituído de múltiplos grãos, a área da superfície para a dissipação da energia é maior do que a de um simples cristal, o que provoca uma atenuação mais rápida, ao passo que forças de fricção entre os cristais durante a propagação da onda também podem contribuir para a maior dissipação da energia fenômeno denominado de atenuação intrínseca (WALSH, 1966 apud ROY, 2005). Estes dois fenômenos compõem o que se denominou de inelasticidade matricial. Outros mecanismos de atenuação inelástica incluem efeitos de saturação parcial como bolsões de gás comprimidos, fluxo entre fissuras, difusão induzida por tensões e mudanças de fase no material. Conforme apresentado no capítulo 5, ondas de frequência mais altas tendem a ser atenuadas mais rapidamente do que as de baixas frequências.

Fator de atenuação inelástica

Existem diversas causas, entre as quais podem ser citadas:

- a) Atenuação devido ao fluxo de fluidos, incluindo o relaxamento em função dos movimentos cisalhantes nas fronteiras poros-fluidos;

- b) Efeitos de saturação parcial como os de bolsões de gás comprimidos;
- c) Evolução do fluxo entre as fissuras;
- d) Energia absorvida em sistemas com mudanças de fase;
- e) Extensa categoria de efeitos geométricos como descontinuidades geológicas, espalhamento de pequenos poros ao longo da rocha, grandes irregularidades e reflexão seletiva de camadas pouco espessas.

Deste modo, as diversas formas para as equações apresentadas podem ser reformuladas. No caso da equação do USMB, ela passaria a ser:

$$Vp = K \left(\frac{D}{Q^{1/3}} \right)^{-b} e^{-\alpha D} \quad (17)$$

Onde K , b e α são constantes empíricas, e α é o fator de atenuação inelástica (ROY, 2005).

De acordo com Roy (2005), o CMRI (Central Mining Research Institute) da Índia conduziu investigações em diversos tipos de rochas em maciços rochosos expostos, entre eles o granito. Ao aplicar uma equação do USBM neste granito encontrou-se:

$$Vp = 1265,09 \left(\frac{D}{Q^{1/3}} \right)^{-1,69131} \quad (18)$$

Aplicando-se a equação contendo o fator de atenuação inelástica neste mesmo local encontrou-se:

$$Vp = 6068,20 \left(\frac{D}{Q^{1/3}} \right)^{-2,49444} e^{-0,025753D} \quad (19)$$

Porém, ao se aplicar na equação 19 alguns valores do Projeto Nefelina, foram obtidas estimativas de vibração muito baixas, da ordem de 10^{-5} mm/s.

10.2.2.1.2. Modelos de previsão do CMRI

a) Modelo empírico

O modelo de previsão do CMRI – Central Mining Research Institute da Índia considera dois parâmetros distintos, \underline{n} e \underline{K} , uma vez que durante a passagem da onda pela rocha, ocorre a diminuição da densidade de energia durante o esparramento geométrico, sendo ela afetada de modo simultâneo por diversos efeitos inelásticos que resultam na diminuição da amplitude. O parâmetro n é associado aos parâmetros influenciados pelas propriedades da rocha e pelas descontinuidades geométricas ao passo que K está associado aos parâmetros de projeto, entre eles, a carga (massa), distância, diâmetro da carga, afastamento, espaçamento, subfuração, tamponamento e tempo de retardo. O modelo, baseado numa carga cilíndrica, é representado pela equação:

$$V_p = n + K \left(\frac{D}{Q^{0,5}} \right)^{-1} \quad (20)$$

Sendo \underline{n} definido como um parâmetro de amortecimento e que na prática possui valores negativos. Roy (2005) apresenta como resultados da pesquisa do CMRI valores de \underline{n} e \underline{K} para diversas rochas, entre elas granito, na qual se obteve $n = -0,838475$ e $K = 132,063$. Utilizando-se valores empregados para a pior situação na Mina Leste, com $D=284$ m e $Q = 40$ Kg, obteve-se um valor para a velocidade de vibração de partícula de 2,10 mm/s. Considerando-se que seja o valor da maior componente vetorial, pode-se fazer uma extrapolação para a velocidade resultante, que neste caso será de 3,64 mm/s.

b) Modelo híbrido (analítico-empírico)

Baseado no conceito de quebra de rocha e na teoria de reflexão das ondas sísmicas em superfícies livres, o CMRI desenvolveu um modelo híbrido analítico-empírico para a previsão de níveis de vibração (PAY ROY e DHAR, 1992 apud ROY, 2205). Este modelo foi desenvolvido em duas partes, onde a primeira avalia analiticamente a velocidade de partícula vertical na superfície a uma distância qualquer do furo, sendo incorporada à segunda parte que leva em consideração a pressão exercida sobre as paredes do furo baseada no modelo empírico de

LANGFORS-KIHLSTROM (1958) e PEARSE (1955) apud ROY (2005). Neste modelo do CMRI, são levados em consideração as características dos explosivos, as propriedades do maciço rochoso e os parâmetros de carregamento. Segundo o autor, os resultados foram bastante satisfatórios quando comparados com valores reais medidos. As equações que compõem o modelo são apresentadas na seqüência.

$$V_V = \frac{2K_1 P_D r_1^2 L (r_1 / r_2)^{-\Gamma\alpha}}{\rho_1 c_1 (L^2 + x^2)^{3/2}} \quad (21)$$

$$K_1 = \frac{V_{OD} \rho_2}{\rho_1 c_1} \quad (22)$$

$$P_D = \frac{1}{2} \sigma_t \left[\frac{10^3 (Q / K_3)^{1/3}}{K_2 r_2} \right]^2 \quad (23)$$

Onde,

V_V = velocidade de partícula de pico (mm/s)

K_1 = (impedância característica do explosivo) / (impedância característica da rocha)

ρ_1 = densidade da rocha (g/cm³)

c_1 = velocidade da onda P (m/s)

V_{OD} = velocidade de detonação (m/s)

P_D = pressão de carga de pico (MPa)

r_1 = raio da carga de explosivos (mm)

r_2 = raio do furo (mm)

L = profundidade do centro da coluna de explosivos até a superfície (m)

x = distância de transdutor até o furo detonado

Q = massa de explosivo no furo (kg)

σ_t = resistência da rocha (MPa)

K_2 = constante de proporcionalidade (1,0 para a maioria das rochas)

K_3 = fator associado à razão de carga necessária para o erguimento de 1 m³ de rocha, sendo adotado como 0,8 kg/m³ de explosivos (maioria das rochas)

Γ = parâmetro de simetria da carga (2 para cilíndrica e 3 para esférica)

α = constante dos explosivos, cujo valor paramétrico varia entre 1,2 e 1,5

Ao se empregar os valores obtidos no Capítulo 6 para as características da rocha, do explosivo e do plano de fogo adotado para as operações de desmonte na Mina Leste, substituindo-os nas equações 21 a 23 e utilizando o software Matemática, foram encontrados valores da ordem de 10^{-4} a 10^{-3} . Embora ROY (2005) tenha obtido boas aproximações entre valores previstos e medidos, estas ordens de grandeza estão muito abaixo daquelas obtidas pelas demais equações.

10.2.2.2. Novas contribuições para a sobrepressão atmosférica.

A maior dificuldade em se obter modelos empíricos obtidos a partir de monitoramentos sismográficos refere-se à realização dos mesmos. O LACASEMIN já realizou dezenas de monitoramentos que poderiam resultar em equações carga-distância associadas a valores de sobrepressão atmosférica. Como-se sabe, a idéia é obter valores variados de distância escalonada ($D/Q^{1/3}$), o que significa instalar, em alguns casos, os sismógrafos o mais próximo possível do local da detonação. Neste caso existe a necessidade de se proteger os aparelhos contra impactos de fragmentos lançados, de modo que a própria proteção acaba atenuando o valor da sobrepressão atmosférica. Foram obtidas algumas equações de atenuação, porém os valores de correlação se mostraram mais baixos em relação aos valores obtidos para a vibração do terreno. Portanto, optou-se por utilizar modelos baseados na literatura.

Com relação à atenuação do som, a partir do emboque da rampa de acesso, foi aplicada uma metodologia baseada na obtenção de valores de constantes a partir de gráficos, o que significa possíveis erros na leitura em função da precisão das figuras. Schrage (2005) em seu trabalho tratou digitalmente os gráficos, de modo que para cada frequência e situação de aplicação das constantes k_1 e k_2 , houvesse uma equação da qual se pode obter valores mais precisos. Uma alteração para o estudo

da sobrepressão atmosférica é que se deve considerar uma frequência de 125 Hz para a análise e não 250 Hz como proposto. Inicialmente admitiu-se a hipótese-se de que as sobrepressões eram compostas de baixas frequências que poderiam ser representadas por uma única banda de 250 Hz a título simplificação. O que se observou em trabalhos mais antigos do LACASEMIN era que a distribuição das frequências observadas para abertura de túneis e minas eram mais baixas, situando-se abaixo de 125 Hz e chegando até a 20 Hz ou menos, como no caso de túneis (ESTON; IRAMINA, 1992 e 1993). Esta é uma situação na qual a evolução dos equipamentos às vezes traz aspectos negativos, pois atualmente os sismógrafos mais modernos não possuem o recurso de analisar o espectro de frequência da sobrepressão atmosférica. A Tabela 36 mostra as equações que devem ser utilizadas na atenuação do ruído.

Tabela 36. Equações para cálculo de k_1 e k_2 , por frequência (SCHRAGE, 2005)

| Fator | Frequência (Hz) | Equação (d em metros) | |
|---|----------------------|---|--|
| k_1 | 63 a 250 | $k_1 = 8,6628 \ln(d) + 7,4674$ | |
| | 500 | $k_1 = 9,0863 \ln(d) + 5,8555$ | |
| | 1000 | $k_1 = 9,7851 \ln(d) + 3,3178$ | |
| | 2000 | $k_1 = 17,357 \cdot d^{0,2187}$ | |
| | 4000 | $k_1 = 16,124 \cdot d^{0,2417}$ | |
| | 8000 | $k_1 = 14,174 \cdot d^{0,2852}$ | |
| k_2 para atenuação mínima (sem barreiras) | 250 e 500 | Para $d \leq 1000 \rightarrow k_2 = -10^{-5} d^2 + 0,0164d + 2,4048$ Para $d \geq 1000 \rightarrow k_2 = 9,1$ | |
| | 1000 e 2000 | Para $d \leq 1000 \rightarrow k_2 = 2,2491 \ln(d) - 8,0595$ Para $d \geq 1000 \rightarrow k_2 = 7$ | |
| | 125 e 4000 | Para $d \leq 1000 \rightarrow k_2 = 1,5929 \ln(d) - 5,9513$ Para $d \geq 1000 \rightarrow k_2 = 4,9$ | |
| | 8000 | Para $d \leq 1000 \rightarrow k_2 = 9 \cdot 10^{-10} \cdot d^3 - 5 \cdot 10^{-6} \cdot d^2 + 0,0071 \cdot d + 0,0367$ Para $d \geq 1000 \rightarrow k_2 = 3$ | |
| | k_2 para atenuação | 250 e 500 | Para $d \leq 1000 \rightarrow k_2 = 6,5105 \ln(d) - 26,816$ Para $d \geq 1000 \rightarrow k_2 = 17,7$ |

| | | |
|--|--------|--|
| significativa (presença de barreiras) | 1000 a | Para $d \leq 1000 \rightarrow k_2 = 6,1309 \ln(d) - 26,204$ |
| | 8000 | Para $d \geq 1000 \rightarrow k_2 = 16,2$ |
| | 125 | Para $d \leq 1000 \rightarrow k_2 = -2 \cdot 10^{-9} \cdot d^3 - 5 \cdot 10^{-6} \cdot d^2 + 0,0183 \cdot d - 0,125$ |
| | | Para $d \geq 1000 \rightarrow k_2 = 11$ |

Uma vantagem ao se aplicar as equações para se obter k_1 e k_2 é uma maior rapidez e facilidade em relação ao método gráfico, permitindo a execução de diversas simulações para diferentes condições de projeto.

Com relação à probabilidade danos, Reed et al. (1968 apud ROY, 2005) desenvolveram a seguinte equação empírica para determinar a probabilidade de quebra de vidros da janela em decorrência da detonação de explosivos para desmonte de rocha:

$$D = 3,71 \times 10^{-4} \times A^{1,22} \times P_0^{2,78} \quad (24)$$

Onde D = probabilidade de dano em %

A = área da janela em pés²

P_0 = Sobrepressão atmosférica em milibars

Assim, para uma casa com uma janela de 2 m² (21,53 pés²), por exemplo, a probabilidade de quebra para um nível de 134 dBL é de 0,016% e chegando 65% para um nível de 160 dBL.

10.2.3. O Mapa de Iso-velocidades

Embora as equações utilizadas tenham mostrado, com algum nível de confiança, o comportamento da vibração do terreno com ao aumento da distância, à medida que se afasta do local da detonação nem sempre se observa uma diminuição de sua intensidade. É necessária uma melhor identificação das condições geológicas de subsuperfície, tais como presença de falhas e variações na cobertura de solo que contribuem para a existência de níveis anômalos de vibração e também para a avaliação dos parâmetros do plano de fogo adotado como tempo de retardo, afastamento e seqüência de iniciação que contribuem para a dispersão da energia sísmica.

Através da utilização de um grande número de sensores que abrangem uma grande área ao redor de um local de detonação, os efeitos de um plano de fogo em particular ou mesmo a mudança em um de seus parâmetros poderiam ser imediatamente avaliados por meio de um padrão de vibração. O padrão de vibração é estabelecido a partir de medições de amplitudes de vibração completas ao redor da detonação. Pode-se observar um aumento bem definido da amplitude de vibração à medida que se caminha em direção ao ponto de detonação. Este sistema é conhecido como Mapa de Iso-velocidades (ou iso-seismic), permitindo uma fácil distribuição e instalação de mais de uma centena de sensores triaxiais ao redor de um local de detonação. Esta distribuição espacial privilegiada permite medições de modo a cobrir de forma eficiente empreendimentos como minas, pedreiras ou obras de desmonte de rocha desde os pontos mais próximos da detonação (algumas dezenas de metros) até locais que se situam no limiar da percepção da vibração (centenas ou mesmo milhares de metros dependendo da magnitude da detonação).

Esta técnica permite que o efeito de uma carga explosiva seja rastreado à medida que a onda de vibração se afasta do local de detonação. Pode-se desenhar assim um mapa de contorno das vibrações da detonação medidas pelos sismógrafos, onde as linhas de contorno conectam as áreas nas quais as amplitudes de vibração são iguais (FROEDGE; GOULD; DAVIS, 1994). Enquanto a amplitude da vibração do terreno em um local em particular irá variar de detonação para detonação, a taxa na qual a amplitude da vibração do terreno varia é constante. Isto significa que se a geologia em uma localidade em particular tende a atenuar a vibração rapidamente, ela o fará de modo consistente, não importando se a vibração for maior ou menor (IRAMINA, 2002). De modo similar, se a geologia tende a ressonar, amplificar ou perpetuar as vibrações do terreno, ela o fará tanto para os níveis de vibração altos como para os baixos (RUDENKO, 2002). As taxas de atenuação de vibração fazem com que a velocidade de partícula de pico em uma localidade em particular aumente ou decresça relativamente à sua vizinhança de modo previsível e, deste modo, a forma dos contornos de iso-velocidade pode ser usada para identificar as tendências na vibração que o terreno apresenta. A intensidade da vibração do terreno decresce tipicamente à medida que a vibração se propaga para longe da sua fonte. Às vezes, no entanto, a amplitude da vibração poderá aumentar em certas áreas ainda que a distância em relação à fonte continue aumentando. A localização destes níveis

anômalos de vibração define uma espécie de padrão do comportamento da vibração em uma área. Áreas que demonstram um aumento pronunciado na amplitude de vibração (chamados de "hot spots" da vibração) irão identificar-se a si mesmas como círculos concêntricos de velocidade de partícula crescente. Estas áreas são um indicativo de uma resposta geológica da superfície próxima e devem ser o foco das técnicas de controle da vibração pois a resposta da vibração geológica pode aumentar a magnitude do movimento do terreno, mudar a frequência da vibração e aumentar a duração da vibração do terreno influenciando a resposta estrutural. Através da comparação de contornos de iso-velocidades produzidos por uma detonação de bancada com a detonação de uma carga simples, a técnica da iso-sísmica identifica claramente áreas onde a resposta estrutural pode ser maior e conseqüentemente a maior probabilidade de que surjam reclamações. Iramina (2002) utilizando uma metodologia baseada no mapa de iso-velocidades onde se empregou até dez sismógrafos obteve resultados que demonstram a existência destas zonas anômalas.

Portanto, embora a utilização de equações de atenuação da vibração tenham sido importantes durante a fase de identificação dos impactos ambientais no EIA do projeto, elas por si só não são garantia de que vai haver reclamações, o que dá maior importância à fase de monitoramento, indicada no EIA.

10.2.4. Considerações finais

Este estudo procurou demonstrar que os efeitos do desmonte de rocha, em especial a vibração do terreno e a sobrepressão atmosférica, podem ser significativos se medidas de controle e medidas mitigadoras não forem implementadas. Os impactos da vibração do terreno e sobrepressão atmosférica excessivas podem variar desde incômodos à população a danos menores como quebra de vidros, fissuras na parede (danos cosméticos) ou até mesmo danos estruturais (colapso).

A magnitude da intensidade destes parâmetros dependerá de uma série de fatores, entre eles a correta utilização do plano de fogo (elementos geométricos, explosivos, iniciadores, etc.) e a geologia em particular (presença de falhas, planos

de fraturas e presença de outros materiais como água) do maciço rochoso onde se encontra a futura mina.

Como metodologia de previsão foram utilizadas diversas equações empíricas obtidas em materiais similares (como o granito) para estes dois parâmetros que propiciaram uma primeira aproximação na falta de monitoramentos sismográficos de testes de bancada que pudessem fornecer dados mais confiáveis. Embora aplicáveis a esta primeira etapa (EIA) deve-se levar em consideração regiões com anomalias de comportamento da vibração, detectáveis somente pelo uso de ferramentas mais sofisticadas.

As estimativas indicaram que os valores previstos para os níveis de velocidade de vibração de partícula, considerando-se as três opções de lavra, podem variar entre 0,19 mm/s e 5,98 mm/s para cargas máximas por espera variando entre 10 e 40 kg e valores de sobrepressão atmosférica variando entre 81,50 e 128,61 dBL para os mesmos valores de carga máxima por espera. Portanto, estes valores estariam abaixo dos valores preconizados pela norma da ABNT que estabelece limites de 15 mm/s para a vibração e 134 dBL para a sobrepressão atmosférica. Novos modelos podem ser empregados, tendo como variáveis diversos parâmetros geomecânicos e do plano de fogo, resultando em equações complexas e que podem induzir a erros.

Portanto, em princípio, pode ser aceitável iniciar as operações com as condições estabelecidas pelos responsáveis pela mineração. Neste caso, as detonações devem estar condicionadas a um plano de monitoramento sismográfico aplicado a todos os desmontes no primeiro ano de operação, para que os devidos ajustes possam ser feitos no plano de fogo e que também seja adotada uma política de boa vizinhança com as comunidades vizinhas, que deve conter, entre outros elementos, comunicados sobre a programação das detonações. Além disso, as detonações também devem ser precedidas por um programa de vistoria prévia a ser executado em algumas das casas e construções vizinhas ao empreendimento para se prevenir contra eventuais reclamações. Embora os limites da CETESB sirvam apenas como referência, as estimativas indicaram que para uma carga máxima por espera de 40 kg, eventualmente os valores de vibração e de sobrepressão atmosférica podem superar estes limites. Uma recomendação seria a utilização de cargas menores (20 a 30 kg) para as situações de distância mínima e observando-se os resultados dos monitoramentos sismográficos para os ajustes do plano de fogo, como tipo de

explosivo, parâmetros geométricos, iniciação e tempos de retardo de modo a manter as frequências acima de 40 Hz, para a vibração.

CAPÍTULO 11 – CONCLUSÕES

As questões ambientais têm afetado o cotidiano das pessoas, com os temas poluição, degradação da qualidade de vida e desenvolvimento sustentável fazendo parte do vocabulário de um número crescente de pessoas. Um empreendimento mineral do porte do Projeto Nefelina gera tanto expectativas sócio-econômicas como temores relacionados à degradação da qualidade de vida. Os impactos ambientais associados ao empreendimento, acompanhados de proposições e soluções, devem ser estudados e apresentados de forma clara para que possam ser apreciados e aprovados pela sociedade. Uma seqüência de estudos que abordam estes impactos ambientais deve ser conduzida, sendo parte de um conjunto de procedimentos que analisam uma ação proposta e as suas alternativas e cujos resultados devem ser apresentados ao público e aos responsáveis pela tomada da decisão, e por eles avaliados. Dentre os diversos estudos que compõem este conjunto de procedimentos, denominado de Avaliação de Impacto Ambiental, um dos mais importantes é o EIA ou Estudo de Impacto Ambiental que tem entre outras atribuições a de identificar e avaliar os impactos ambientais mais relevantes de um empreendimento antes de sua implantação.

O desmonte de rochas, atividade na qual são empregados técnicas e equipamentos para a remoção de rochas (perfuração, carregamento de explosivos e detonação) é uma das principais preocupações ambientais num projeto mineiro. O uso de explosivos para o desmonte da rocha, ainda que atenda a todas as restrições técnicas e legais e que seja executado por pessoal bem treinado e com experiência costuma gerar muitas dúvidas e medo devido à sua associação com algo negativo ou com potencial de destruição. Foram identificados os principais problemas ambientais decorrentes de uma detonação de explosivos. Destes, a propagação da vibração do terreno e a sobrepressão atmosférica podem ser considerados os impactos mais relevantes.

A caracterização destes dois parâmetros inclui uma etapa de previsão da magnitude, sendo então os níveis previstos e comparados a um padrão ou norma. Uma das formas de se conduzir estudos de previsão é realizar medidas de campo para se levantar os níveis de fundo (“background”) associados ao meio antes da implantação do empreendimento. Neste caso não foi possível efetuar nenhum tipo

de medições para se prever os níveis no futuro, restando somente a opção de se conduzir o estudo baseado em analogias e modelos teóricos.

Não foram encontradas referências bibliográficas sobre desmontes em nefelina-sienito, havendo então a necessidade de se compará-la a uma outra rocha. O estudo partiu da hipótese de que a nefelina-sienito pode ter um comportamento similar ao do granito quando se trata da transmissão das ondas de vibração, pois ambos apresentam características geomecânicas compatíveis ao que se denomina uma rocha ou maciço competente. Baseado nisto, foram levantadas inicialmente 9 (nove equações) como modelos de previsão do comportamento da vibração e 4 (quatro) equações para o comportamento da sobrepressão atmosférica. Estas equações variaram entre fórmulas genéricas universalmente aceitas como uma primeira estimativa até fórmulas aplicáveis somente a uma determinada direção de um maciço granítico.

Os modelos empregados resultaram em diversos valores previstos para os níveis de velocidade de vibração de partícula sobrepressão atmosférica. Para três opções de lavra, foram encontrados valores que variam entre 0,19 mm/s e 5,98 mm/s para cargas máximas por espera variando entre 10 e 40 kg para a vibração e valores de sobrepressão atmosférica variando entre 81,50 e 128,61 dBL. De acordo com estas estimativas, os valores estariam abaixo dos valores preconizados pela norma da ABNT que estabelece limites de 15 mm/s (ou até 50 mm/s dependendo da frequência) para a vibração e 134 dBL para a sobrepressão atmosférica. Foram obtidos valores que superam os limites da CETESB, e embora estes limites devam ser vistos somente como referência acredita-se que uma boa medida de engenharia seria a utilização de cargas menores (20 a 30 kg) para as situações de distância mínima. Uma outra sugestão, baseada nos dados apresentados por ESTON (1998), é a de que a velocidade de vibração de partícula não exceda 8 mm/s, pois as frequências produzidas pelas detonações (pedreiras em áreas urbanas) a uma determinada distância situam-se numa faixa de 40 a 50 Hz, deixando a faixa de 24 Hz como o limiar de segurança com relação à norma da ABNT. Abaixo de 24 Hz, a maioria das estruturas tende a amplificar a vibração e por isso os níveis de vibração devem ser menores. Assim, no caso de aprovação do EIA e da implantação da mina, inicialmente os trabalhos devem ser direcionados para que a vibração não venha a superar 15 mm/s (para frequências maiores do que 24 Hz) ou 8 mm/s (para

freqüência menores do que 24 Hz). Estes valores medidos ficariam vinculados a um plano de monitoramento sismográfico sistemático e os ajustes no plano de fogo devem levar em consideração as respostas da comunidade.

Posteriormente foram adicionados novos elementos para auxiliar na compreensão destes fenômenos, inclusive novos modelos com os novos valores estimados permanecendo dentro da faixa de variação operacional para operações de desmonte de rocha. Apesar dos modelos indicarem estimativas favoráveis quanto à implantação da mina, no que se refere à vibração e à sobrepressão, algumas precauções importantes, como é o caso de um plano de monitoramento, devem ser tomadas. Conforme estudado, num evento real de detonação de explosivos podem ser observadas infinitas direções de propagação da vibração do terreno e sobrepressão atmosférica que resultam em infinitas equações de comportamento. Nem sempre um ponto mais distante do que o outro em relação ao local de desmonte irá apresentar um valor mais baixo. A intensidade da vibração do terreno tende a ser menor conforme a vibração se propaga para longe da sua fonte. Em alguns pontos, no entanto, as amplitudes da vibração aumentaram quando o aumento na distância sinalizava para um decréscimo, ocorrendo também o contrário. Estas áreas, quando amplificam a vibração indicam uma resposta geológica da superfície e devem ser o foco das técnicas de controle da vibração. Somente um monitoramento sismográfico adequado em conjunto com uma ferramenta mais sofisticada como o mapa de iso-velocidades poderá identificar estes pontos.

A seqüência deste trabalho sugere seja ainda feito no local um aprofundamento dos estudos para se determinar os parâmetros associados ao comportamento da vibração e da sobrepressão e associá-los às diferentes direções.

Este trabalho contribuiu por meio de dados técnicos com elementos importantes sobre o desmonte de rocha numa mineração de nefelina-sienito e que foram depois utilizados na elaboração do Estudo de Impacto Ambiental do empreendimento. Tratou-se de um documento técnico complexo e elaborado por uma equipe multidisciplinar que abrangeu uma série de outras informações relevantes a outros impactos ambientais importantes. Embora o trabalho seja reconhecidamente importante para todos os níveis da sociedade devido à sua clareza e apuro técnico, ainda assim não há garantias de que o empreendimento venha a ser aprovado para a sua implantação. O arcabouço político e jurídico, associado a uma conjuntura de

fatores associados aos atores envolvidos no processo acaba por torná-lo bastante moroso em alguns casos, levando-o a depender de inúmeras variáveis que vão desde interesses pessoais, situação econômica, etc. até outras mais complexas que dependem de um momento propício que já ocorreu e que talvez não venha mais a ocorrer novamente, impedindo, neste caso, a implantação da mineração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, A. S., coord. **Controle e recuperação ambiental na mina de Cana Brava - Goiás**. São Paulo, IPT, 1992. (Boletim, 66. Publicação IPT, 2006).
- AMBIENTE BRASIL. Disponível em: <http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./gestao/index.html&conteudo=./gestao/diretrizes.html>. Acesso em 28/12/2006.
- ATLAS COPCO. Bench blasting parameters. Disponível em: <http://www-1.atlascopco.com/rde/website.nsf/0/D8450DBE3ED2B1FC41256749007A998F>. Acesso em: 10/12/2006.
- BACCI, D. C. **Vibrações geradas pelo uso de explosivos no desmonte de rochas: avaliação dos parâmetros físicos do terreno e dos efeitos ambientais**. Tese apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista para a obtenção do título de Doutor. Rio Claro, SP, 2000.
- BERTA, G. **Explosives: An Engineering Tool**. Milano, Italesplosivi, 1990.
- BISTAFA, S. R. **Controle do ruído industrial. Fundamentos de acústica e técnicas de controle do ruído. Apostila de curso**. Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1996.
- BISTAFA, S. R. **Controle do ruído industrial. Fundamentos de acústica e técnicas de controle do ruído. Apostila de curso**. Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1996.
- BRASIL. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - Procedimento**. Rio de Janeiro, ABNT, 2000. (NBR-10151).
- BRASIL. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Minerações em áreas urbanas com uso de explosivos: redução de riscos**. Rio de Janeiro, ABNT, 1989. (NBR-9653).
- BRASIL. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Minerações em áreas urbanas com uso de explosivos: redução de riscos**. Rio de Janeiro, ABNT, 2005. (NBR-9653).
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Mineração por explosivos**. São Paulo, CETESB, 1992. (CETESB / D7. 013).
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA n. 011 de 23/01/86**. S.m.t.
- DIAS, E. G. C. S. Fundamentos de legislação e licenciamento ambiental. In: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Escola Politécnica. Programa de Educação Continuada. **eST - 603 Partes A e B – Proteção ao meio ambiente**. 1. ed. São Paulo, 2006. p. 1 – 19. Notas de aula. Ensino e Aprendizado à Distância.
- DOWN, C. G.; STOCKS, J. **Environmental impact of mining**. London, Applied Science Publishers, 1978.

- DU PONT OF CANADA LIMITED. **A short course on blasting vibrations and air blast.** s.l., 1979.
- ESTON, S. M. **Uma análise dos níveis de vibração associados a detonações.** Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a obtenção de Livre Docência, 1998.
- ESTON, S. M.; IRAMINA, W. S. **RELATÓRIO LACASEMIN. Monitoramento sismográfico de detonações associadas a desmonte de rochas por explosivos no túnel de carga Santa Inês, RFFSA, Belo Horizonte - Minas Gerais SP.** São Paulo, LACASEMIN, 1993. (LACASEMIN, Relatório MI/587 - 04/93).
- ESTON, S. M.; IRAMINA, W. S. **RELATÓRIO LACASEMIN. Monitoramento sismográfico de detonações associadas a desmonte de rocha por explosivos no túnel de carga Santa Inês da RFFSA, Belo Horizonte - Minas Gerais.** São Paulo, LACASEMIN, 1992. (LACASEMIN, Relatório MI/587 - 10/92).
- FROEDGE, D. T.; GOULD, J.; DAVIS, H. **Case Study of an Iso-Seismic Survey in an East Pennsylvania Quarry.** University of Leeds. Explosives 94, Sept. 1994.
- GANIME, J. F. **Redução de ruído com a substituição de telas de aço por borracha na mina de Andrade-Samitri.** Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Engenharia. São Paulo, 1998
- GOLDER ASSOCIATES. **Safe and cost effective blasting for surface mines and quarries.** s. l., s. d.
- GPCA - MEIO AMBIENTE. Disponível em <http://www.gpca.com.br/atuacao.htm>. Acesso em 25/01/2007.
- HAMRIN, H. **Guide to underground mining. Methods and applications.** Atlas Copco. Stockolm, 1986.
- HUSTRULID, W. A.; BULLOCK, R. L. **Underground mining methods. Engineering fundamentals and international case studies.** Society of Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. (SME). Littleton, 2001.
- IRAMINA, W. S. **Desmonte de rocha e controle ambiental.** Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Engenharia. São Paulo, SP, 1997.
- IRAMINA, W. S.; ESTON, S. M.; ALMEIDA, I. T.; SCHRAGE, M. W. **RELATÓRIO LACASEMIN. Considerações sobre os parâmetros: material particulado em suspensão, ruído, vibração do terreno e sobrepressão atmosférica.** São Paulo, LACASEMIN, 2003. (LACASEMIN, Relatório 18/03).
- IRAMINA, W. S.; ESTON, S. M.; ALMEIDA, I. T.; SCHRAGE, M. W. **RELATÓRIO LACASEMIN. Considerações sobre os parâmetros: material particulado em suspensão, ruído, vibração do terreno e sobrepressão atmosférica para mina subterrânea de nefelina.** São Paulo, LACASEMIN, 2003. (LACASEMIN, Relatório 27/03).

- IRAMINA, W. S.; ESTON, S. M.; ALMEIDA, I. T.; SCHRAGE, M. W. **RELATÓRIO LACASEMIN. Complementação do Relatório LACASEMIN Re 27/03.** São Paulo, LACASEMIN, 2003. (LACASEMIN, Relatório 31/03).
- IRAMINA, W. S.; ESTON, S. M.; ALMEIDA, I. T.; SCHRAGE, M. W. **RELATÓRIO LACASEMIN. Considerações sobre os parâmetros: material particulado em suspensão, ruído, vibração do terreno e sobrepressão atmosférica para mina subterrânea de nefelina. Etapa I – Mina Leste.** São Paulo, LACASEMIN, 2004. (LACASEMIN, Relatório 27/03).
- IRAMINA, W.S. **O mapa de iso-velocidades como ferramenta de controle ambiental.** Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Doutor em Engenharia. São Paulo, SP, 2002.
- JIMENO, C. L.; JIMENO, E. L.; CARCEDO, F. J. A. **Drilling and blasting of rocks.** Balkema, Rotterdam, 1995.
- KONYA, C. J. **Blast design.** Ohio, Intercontinental Development, 1995.
- LANGFORS, U. & KIHSTROM. **The modern technique of rock blasting.** John Wiley & Sons, Inc., New York, and Almqvist & Wiksell, Stockholm, 1963.
- MAINIERO, R. J.; WEISS, E. S. **Blast Wave Propagation in Underground Mines.** In: 21th Annual Conference. International Society of Explosives Engineers. General Proceedings, Orlando, FL. 1995.
- NOGUEIRA, J. V.; ESTON, S. M. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo. **PMI 2946 - Lavra de Minas : Mineração Subterrânea.** São Paulo. 2003. Notas de aula. Engenharia de Minas. Graduação.
- OLSON, J. J.; FLETCHER, L. R. **Airblast-Overpressure Levels From Confined Underground Production Blasts.** United States Department of the Interior. Bureau of Mines. Report of Investigations 7574, 1975.
- PAGE, C.H; ROBERTSON, S. **Controlled blasting for underground mining.** In: 13th Annual Conference. International Society of Explosives Engineers. General Proceedings, Miami, FL. 1987.
- PROMINER Projetos S/C LTDA. **Plano de aproveitamento econômico. Processo DNMP nº 890.356/95.** São Paulo, 2003.
- PROMINER Projetos S/C Ltda. **Relatório Ambiental Preliminar. Projeto Nefelina DNPM 890.356/95.** Duque de Caxias, 2003;
- PROMINER Projetos S/C LTDA. **Relatório Ambiental Preliminar. Projeto Nefelina DNPM 890.356/95.** Duque de Caxias, 2003;
- PROMINER PROJETOS S/C LTDA. **Relatório de Reavaliação de Reservas e Novo Plano de Aproveitamento Econômico. Projeto Nefelina DNPM 890.356/95.** Duque de Caxias, 2004;

- ROSENTHAL, M.F.; MORLOCK, G.L. Blasting guidance manual. s.l. United States Department of the Interior. Office of Surface Mining Reclamation and Enforcement, 1987. Cap. 4, p. 29-44.
- ROY, P. P. **Characteristics of ground vibrations and structural response to surface and underground blasting**. Geotechnical and Geological Engineering. Chapman & Hall. V. 16, n.2, 1998.P. 151-66.
- ROY, P. P. **Rock blasting. Effects and operations**. Leiden, Balkema. 2005..
- RUDENKO, D. **Understanding blast vibrations – a key to gaining control**. In: 2nd Annual Blasting Vibration Technology Conference, Key West, FL, 1998. Proceedings.
- SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impactos ambientais. Conceitos e métodos**. São Paulo, Oficina de textos. 2006.
- SANSONE, E. C. **Abordagem não convencional na representação matemática do comportamento mecânico das rochas**. Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Doutor. São Paulo, 2001.
- SANSONE, E. C. Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Doutor em Engenharia. São Paulo, SP, 2001.
- SÃO PAULO. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Mineração por explosivos**. São Paulo, CETESB, 1992. (CETESB / D7. 013).
- SCHRAGE, M. W. **Mapa de ruído como ferramenta de diagnóstico do conforto acústico da comunidade**. Texto apresentado à Escola Politécnica da USP para a obtenção do título de Mestre em Engenharia. São Paulo, 2005.
- SCOTT, A. et. al. **Open pit blast design analysis and optimisation**, 1996.
- SISKIND, D. E. **Ground vibration effects on structures** In: 24TH ANNUAL CONFERENCE ON EXPLOSIVES AND BLASTING TECHNIQUE, New Orleans, 1998. Proceedings, ISEE – International Society of Explosives Engineers. Versão eletrônica.
- SISKIND, D. E. **The effects os vibrations and environmental forces: a guide for the investigation of structures**. International Society of Explosive Engineers, 2000.
- SISKIND, D.E.; CRUM, S.V.; PLIS, M.N. **Blast vibrations and other potential causes of damage in homes near a large surface coal mine in Indiana**. Washington, U.S. Department of Th. Interior, Bureau of Mines, 1993. / U.S. Bureau of Mines. Report of Investigations, 9455).
- SISKIND, D.E.; STACHURA, V. J.; STAGG, MARK S. **Structure response and damage produced by airblast from surface mining**. United States Department of the Interior. Bureau of Mines. Report of Investigations 8485, 1979.

- SNODGRASS, J. J.; SISKIND, D. E. **Vibrations From Underground Blasting.** United States Department of the Interior. Bureau of Mines. Report of Investigations RI 7937, 1979.
- SORAES, L. E. C.; IRAMINA, W. S. **Monitoramento sismográfico AHE Funil / Perdões – MG.** Relatório TECHNOBLAST. São Paulo, 2001.
- STACHURA, V. J.; SISKIND, D. E.; KOPP, J. W. **Airblast and ground vibration generation and propagation from contour mine blasting.** United States Department of the Interior. Bureau of Mines. Report of Investigations 8892, 1988.
- SZWILSKI, T. B.; **Using environmental management systems to systematically improve operational performance and environmental protection.** The International Journal for Blasting and Fragmentation. Balkema, Rotterdam. V. 14, n. 3, p. 183-191, 2000.
- TATIYA, R. R. **Surface and underground excavations. Methods, techniques and equipment.** London, Balkema. 2005.
- TONIN, R. **Estimating noise levels from petrochemical plants, mines and industrial complexes.** Acoustics Australia, vol. 13, no 2, 1984. p. 59-67.
- TRIPATHY, G.R.; GUPTA, I. D. **Prediction of ground vibrations due to construction blasts in different types of rock.** Rock Mechanics and Rock Engineering. V. 35, n. 3, 2002. p. 195-204.
- WESTMAN W. E. **Ecology, impact assessment and environmental planning.** New York, John Wiley, 1985. (Environmental Science and Technology Series).

ANEXO 1

1. Legislação Federal

- Constituição Federal, de 05/10/1988.

Artigo 22 - Compete privativamente à União legislar sobre:

XII – Jazidas, minas, outros recursos minerais e metalurgia.

Artigo 23 - É competência comum da União, dos Estados e municípios:

XI – Registrar, acompanhar e fiscalizar concessões de direitos de pesquisa e exploração de recursos hídricos e minerais e seus territórios.

Artigo 225

§ 1º, inciso IV - Cabe ao Poder Público exigir, na forma da lei, para instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, estudo prévio de impacto ambiental, a que se dará publicidade.

§ 2º - Aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei.

- Lei 4.771, de 15/09/1965 (alterada pela lei 7.803, de 18/07/1989 e MP 2.166-67, de 24/08/2001).

Define, nos artigos 2º e 3º, as áreas de preservação permanente e as possibilidades de se exercer atividades nestas áreas.

Artigo 2º - Consideram-se de preservação permanente, pelo só efeito desta Lei, as florestas e demais formas de vegetação natural situadas:

a) ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água desde o seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima seja:

1) de 30 (trinta) metros para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;

2) de 50 (cinquenta) metros para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;

3) de 100 (cem) metros para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;

4) de 200 (duzentos) metros para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;

5) de 500 (quinhentos) metros para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros.

b) ao redor das lagoas, lagos ou reservatórios d'água naturais ou artificiais;

- c) nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados "olhos d'água", qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 (cinquenta) metros de largura;
- d) no topo de morros, montes, montanhas e serras;
- e) nas encostas ou partes destas com declividade superior a 45°, equivalente a 100% na linha de maior declive;
- f) nas restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues;
- g) nas bordas dos tabuleiros ou chapadas, a partir da linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100 (cem) metros em projeções horizontais;
- h) em altitude superior a 1.800 (um mil e oitocentos) metros, qualquer que seja a vegetação.

Parágrafo único – No caso de áreas urbanas, assim entendidas as compreendidas nos perímetros urbanos definidos por lei municipal, e nas regiões metropolitanas e aglomerações urbanas, em todo território abrangido, observar-se-á o disposto nos respectivos planos diretores e leis de uso do solo, respeitados os princípios e limites a que se refere este artigo.

Artigo 3º - Considera-se, ainda, de preservação permanente, quando assim declaradas por ato do Poder Público, as florestas e demais formas de vegetação natural destinadas:

- a) a atenuar a erosão das terras;
- b) a fixar as dunas;
- c) a formar faixas de proteção ao longo de rodovias e ferrovias;

- Decreto 97.632, de 10/04/1989

Determina que os empreendimentos que se destinam à exploração de recursos minerais deverão quando da apresentação do Estudo de Impacto Ambiental - EIA e Relatório de Impacto Ambiental - RIMA apresentar, para aprovação, Plano de Recuperação de Áreas Degradadas - PRAD.

- Decreto 527, de 20/05/1992.

Delimita a Área de Proteção Ambiental - APA da Região Serrana de Petrópolis e institui as Zonas de Vida Silvestre nesta unidade de conservação.

Artigo 7º - A implantação de construções nas demais terras dependerá de autorização prévia do órgão administrador da APA.

Artigo 8º - Quando da instalação de empreendimentos industriais, sempre que possível será exigida a implantação de cinturões verdes..

- Lei 9.605, de 12/02/1998

Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente.

- Lei 9.985, de 18/07/2000

Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC, estabelece critérios e normas para criação, implantação e gestão das unidades de conservação.

Artigo 7º - As unidades de conservação integrantes do SNUC dividem-se em dois grupos, com características específicas:

I - Unidades de Proteção Integral;

II- Unidades de Uso Sustentável.

§ 1º O objetivo básico das Unidades de Proteção Integral e preservar a natureza, sendo admitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais, com exceção dos casos previstos nesta Lei.

§ 2º O objetivo básico das Unidades de Uso Sustentável e compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos seus recursos naturais.

Artigo 8º - O grupo das Unidades de Proteção Integral e composto pelas seguintes categorias de unidade de conservação:

I - Estação Ecológica;

II - Reserva Biológica;

III - Parque Nacional;

IV - Monumento Natural;

V - Refúgio de Vida Silvestre.

Artigo 14 - Constituem o Grupo das Unidades de Uso Sustentável as seguintes categorias de unidade de conservação:

I - Área de Proteção Ambiental;

II - Área de Relevante Interesse Ecológico;

III - Floresta Nacional;

IV - Reserva Extrativista;

V - Reserva de Fauna;

VI - Reserva de Desenvolvimento Sustentável; e

VII - Reserva Particular do Patrimônio Natural.

Artigo 15 - A Área de Proteção Ambiental é uma área em geral extensa, com um certo grau de ocupação humana, dotada de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais especialmente importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas, e tem como objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais.

§ 1º A Área de Proteção Ambiental é constituída por terras públicas ou privadas.

§ 2º Respeitados os limites constitucionais, podem ser estabelecidas normas e restrições para a utilização de uma propriedade privada localizada em uma Área de Proteção Ambiental.

§ 3º As condições para a realização de pesquisa científica e visitação pública nas áreas sob domínio público serão estabelecidas pelo órgão gestor da unidade.

§ 4º Nas áreas sob propriedade privada, cabe ao proprietário estabelecer as condições para pesquisa e visitação pelo público, observadas as exigências e restrições legais.

§ 5º A Área de Proteção Ambiental disporá de um Conselho presidido pelo órgão responsável por sua administração e constituído por representantes dos órgãos públicos, de organizações da sociedade civil e da população residente, conforme se dispuser no regulamento desta Lei.

Artigo 36 - Nos casos de licenciamento ambiental de empreendimentos de significativo impacto ambiental, assim considerado pelo órgão ambiental competente, com fundamento em estudo de impacto ambiental e respectivo relatório – EIA/RIMA, o empreendedor é obrigado a apoiar a implantação e manutenção de unidade de conservação do Grupo de Proteção Integral, de acordo com o disposto neste artigo e no regulamento desta Lei.

§ 1º O montante de recursos a ser destinado pelo empreendedor para esta finalidade não pode ser inferior a meio por cento dos custos totais previstos para a implantação do empreendimento, sendo o percentual fixado pelo órgão ambiental licenciador, de acordo com o grau de impacto ambiental causado pelo empreendimento.

§ 2º Ao órgão ambiental licenciador compete definir as unidades de conservação a serem beneficiadas, considerando as propostas apresentadas no EIA/RIMA e ouvido o empreendedor, podendo inclusive ser contemplada a criação de novas unidades de conservação.

§ 3º Quando o empreendimento afetar unidade de conservação específica ou sua zona de amortecimento, o licenciamento a que se refere o caput deste artigo só poderá ser concedido mediante autorização do órgão responsável por sua administração, e a unidade afetada mesmo que não pertencente ao Grupo de Proteção Integral, deverá ser uma das beneficiárias da compensação definida neste artigo.

- Resolução CONAMA 1, de 23/01/1986

Estabelece critérios básicos e diretrizes gerais para exigência e elaboração de EIA/RIMA.

Artigo 2º - Dependerá de elaboração de Estudo de Impacto Ambiental - EIA e respectivo Relatório de Impacto Ambiental-RIMA, a serem submetidos à aprovação do órgão estadual competente, e da SEMA em caráter supletivo, o licenciamento de atividades modificadoras do meio ambiente, tais como:

IX - Extração de minério, inclusive os da classe II, definidas no Código de Mineração.

- Resolução CONAMA 20, de 18/06/1986

Classifica as águas doces, salobras e salinas do território nacional, em nove classes, segundo seus usos preponderantes. Estabelece, ainda, os limites e/ou condições de emissão de efluentes líquidos nas diferentes classes de águas.

- Resolução CONAMA 9, de 03/12/1987

Complementa a Resolução CONAMA 1, de 23/01/86, no que se refere à Audiência Pública.

- Resolução CONAMA 10, de 14/12/1988

Define APA, seus objetivos e estabelece que as APA's devem ter um zoneamento ecológico-econômico.

Artigo 7º - Qualquer atividade industrial potencialmente capaz de causar poluição, além da licença ambiental prevista na Lei 6938 de 31 de agosto de 1988 deverá também ter uma Licença Especial emitida pela entidade administradora da APA.

- Resolução CONAMA 1, de 08/03/1990

Estabelece padrões, critérios e diretrizes para a emissão de ruídos, determinando ainda que as medições dos níveis de ruído deverão ser efetuadas de acordo com a NBR 10.151 da ABNT.

- Resolução CONAMA 3, de 28/06/1990

Estabelece os padrões de qualidade do ar e as concentrações de poluentes atmosféricos.

- Resolução CONAMA 10, de 06/12/1990

Dispõe sobre solicitação de licenças prévia, de instalação e operação para exploração de bens minerais da Classe II.

- Resolução CONAMA 13, de 06/12/1990

Estabelece que nas áreas circundantes das Unidades de Conservação, num raio de 10 (dez) quilômetros, qualquer atividade que possa afetar a biota, deverá ser obrigatoriamente licenciada pelo órgão ambiental competente.

- Resolução CONAMA 2, de 18/04/1996

Estabelece, para fazer face à reparação dos danos ambientais causados pela destruição de florestas e outros ecossistemas, que o licenciamento de empreendimentos de relevante impacto ambiental, assim considerado pelo órgão ambiental competente, com fundamento no EIA/RIMA, terá como um dos requisitos a serem atendidos pela entidade licenciadora, a implantação de uma unidade de conservação de domínio público e uso indireto, preferencialmente uma Estação Ecológica, a critério do órgão licenciador, ouvido o empreendedor. Estabelece ainda, em função das características da região e em situações especiais, a proposição de custeio de atividades ou aquisição de bens para as Unidades de Conservação.

- Resolução CONAMA 237, de 19/12/1997

Dispõe sobre licenciamento ambiental, competência da União, Estados e Municípios, listagem de atividades sujeitas ao licenciamento, estudos ambientais, Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental.

- Resolução CONAMA 303, de 20/03/2002

Esta resolução dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente e revoga Resolução CONAMA 04/85.

2. Legislação Estadual

- Constituição do Estado do Rio de Janeiro - 1989

Capítulo VIII - Do Meio Ambiente

Artigo 261 - Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente saudável e equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à qualidade de vida, impondo-se à todos e, em especial, ao Poder Público, o dever de defendê-lo, zelar por sua recuperação e proteção em benefício das gerações atuais e futuras.

§1º. Para assegurar a efetividade desse direito, incumbe ao Poder Público:

I – fiscalizar e zelar pela utilização racional e sustentada dos recursos naturais;

V - estimular e promover o reflorestamento ecológico em áreas degradadas, objetivando especialmente a proteção de encostas e dos recursos hídricos, a consecução de índices mínimos de cobertura vegetal, o reflorestamento econômico em áreas ecologicamente adequadas, visando suprir a demanda de matéria-prima de origem florestal e a preservação das florestas nativas;

X - condicionar, na forma da lei, a implantação de instalações ou atividades efetivas ou potencialmente causadoras de alterações significativas do meio ambiente à prévia elaboração de estudo de impacto ambiental, a que se dará publicidade;

XIX - acompanhar e fiscalizar as concessões de direitos de pesquisa e exploração de recursos hídricos e minerais efetuadas pela União no território do Estado;

§2º. As condutas e atividades comprovadamente lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores a sanções administrativas, com a aplicação de multas diárias e progressivas nos casos de continuidade da infração ou reincidência, incluídas a redução do nível de atividade e a interdição, além da obrigação de reparar, mediante restauração, os danos causados.

§3º. Aquele que utilizar recursos ambientais fica obrigado, na forma da lei, a realizar programas de monitoragem a serem estabelecidos pelos órgãos competentes.

§4º. A captação em cursos d'água para fins industriais será feita a jusante do ponto de lançamento dos efluentes líquidos da própria indústria, na forma da lei;

Artigo 262 - A utilização dos recursos naturais com fins econômicos será objeto de taxas correspondentes aos custos necessários à fiscalização, à recuperação e à manutenção dos padrões de qualidade ambiental.

Artigo 266 - O Estado promoverá, com participação dos Municípios e das comunidades, o zoneamento ambiental de seu território.

§1º. A implantação de áreas ou pólos industriais, bem como as transformações de uso do solo, dependerão de estudo de impacto ambiental, e do correspondente licenciamento.

§3º. Os proprietários rurais ficam obrigados, na forma da lei, a preservar e a recuperar, com espécies nativas, suas propriedades.

Artigo 268 - São áreas de preservação permanente:

I - os manguezais, lagos, lagoas e lagoas e as áreas estuarinas;

III - as nascentes e as faixas marginais de proteção de águas superficiais;

VII - a Baía da Guanabara.

Artigo 273 - As coberturas florestais nativas existentes no Estado são consideradas indispensáveis ao processo de desenvolvimento equilibrado e a sadia qualidade de vida de seus habitantes e não poderão ter suas áreas reduzidas.

Artigo 276 - A implantação e a operação de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras dependerão de adoção das melhores tecnologias de controle para proteção do meio ambiente, na forma da lei.

Artigo 277 - Os lançamentos finais dos sistemas públicos e particulares de coleta de esgotos sanitários deverão ser precedidos, no mínimo, de tratamento primário completo, na forma da lei.

§1º. Fica vedada a implantação de sistemas de coleta conjunta de águas pluviais e esgotos domésticos ou industriais.

§2º. As atividades poluidoras deverão dispor de bacias de contenção para as águas de drenagem, na forma de lei.

- Lei 1.356, de 06/10/1988

Dispõe sobre os procedimentos vinculados à elaboração, análise e aprovação dos Estudos de Impacto Ambiental (EIA).

- Lei 1.700, de 29 de agosto de 1990

Estabelece medidas de proteção ambiental da Baía de Guanabara.

- Decreto-lei 134, de 16/06/1975

Dispõe sobre a prevenção e o controle da Poluição do Meio Ambiente no Estado do Rio de Janeiro.

- Decreto 1.633, de 21/12/1977

Regulamenta em parte o Decreto-lei 134, de 16/06/75, e institui o Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras.

- Diretriz FEEMA 41 - R13

Diretriz para a implantação de Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA).

- Diretriz FEEMA 1.836 - R2

Diretriz para o licenciamento de atividades de extração mineral.

- Instrução Técnica FEEMA 1.831 - R2

Instrução Técnica para requerimento de licenças para as atividades de extração mineral.

- Instrução Técnica FEEMA 1.837 - R0

Instrução Técnica para elaboração de Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) das atividades de extração mineral enquadradas na categoria 2.

- Deliberação CECA 2.555, de 26/11/1991

Regulamenta a realização de Audiência Pública.

- Deliberação CECA 3.426, de 14/11/1995

Altera o item 4.19 da DZ – 041. R11, aprovada pela Deliberação CECA 3.288, de 29/11/94.

- Norma Administrativa FEEMA NA - 042

Pedido, recebimento e análise de Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA).

- Norma Administrativa FEEMA NA - 043

Participação e acompanhamento da comunidade no processo de avaliação de Impacto Ambiental.

- Norma Administrativa FEEMA NA - 051

Indenização dos custos de processamento de licenças.

- Instrução Técnica FEEMA IT - 058

Roteiro para a formulação de Instrução Técnica Específica para orientar a elaboração de Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental.

3. Legislação Municipal

No plano municipal, deve-se estudar a compatibilidade do empreendimento com o zoneamento ou o plano diretor do município de Duque de Caxias. Instituído em 1972, através da Deliberação nº 1765, o Plano Diretor Urbanístico é o instrumento maior em vigor que direciona o planejamento e a ocupação do município de Duque de Caxias. Conforme informou a Prefeitura de Duque de Caxias, um novo Plano Diretor está sendo elaborado para o município, porém o mesmo ainda será discutido e votado pela Câmara Municipal.

- Lei Orgânica do Município de Duque de Caxias, 05/04/1990

Capítulo I - Dos princípios gerais das atividades econômicas e sociais

Artigo 69 - O Município, na sua circunscrição territorial e nos limites de sua competência constitucional, assegura a todos, dentro dos princípios da ordem econômica, fundada na valorização do trabalho humano e livre na iniciativa, existência digna, observados os seguintes princípios:

VI – defesa do meio ambiente;

Capítulo II – Da Política Urbana

Artigo 72 - A política de desenvolvimento urbano, executada pelo Poder Público Municipal conforme diretrizes fixadas em lei, tem por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções da cidade e seus bairros, do distrito e dos aglomerados urbanos e garantir o bem-estar de seus habitantes.

§1º. O Plano Diretor, aprovado pela Câmara Municipal, é o instrumento básico da política de desenvolvimento e da expansão urbana.

§2º. A propriedade cumpre a sua função social, quando atende às exigências fundamentais de ordenação urbana expressas no Plano Diretor.

Capítulo V – Da Educação, da Cultura e do Desporto

Seção IV – Do Meio Ambiente

Artigo 119 - Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à comunidade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

§1º. Para assegurar a efetividade desse direito, incumbe ao Município:

I – preservar e restaurar os processos ecológicos essenciais e prover o manejo ecológico das espécies e ecossistema;

II – definir, em lei complementar, os espaços territoriais do Município e seus componentes a serem especialmente protegidos e a forma de permissão para a alteração e supressão, vedada qualquer utilização que comprometa a integridade dos atributos que justifiquem sua proteção;

III – exigir, na forma da lei, para instalação de obra, atividade ou parcelamento do solo potencialmente causador de significativa degradação do meio ambiente, estudo técnico de impacto ambiental, a que se dará publicidade;

IV – controlar a produção, a comercialização e o emprego de técnicas, métodos e substâncias que comportem risco para a vida, a qualidade de vida e o meio ambiente;

V – promover a educação ambiental na sua rede de ensino e a conscientização da comunidade para a preservação do meio ambiente;

VI – proteger a flora e a fauna, vedadas, na forma da lei, as práticas que coloquem em risco sua função ecológica, provoquem a extinção de espécies ou submetam animais à crueldade.

§2º. Os manguezais, as praias, os costões e a Mata Atlântica do território municipal ficam sob a proteção do Município e sua utilização far-se-á na forma da lei, dentro de condições que assegurem a preservação do meio ambiente, inclusive quanto ao uso de recursos naturais.

§3º. Aquele que explorar recursos minerais, inclusive extração de areia, cascalho ou pedreiras, fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei.

§4º. As condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores, pessoas físicas ou jurídicas, a sanções administrativas e penais, independentemente da obrigação de reparar os danos causados.

§5º. A Câmara Municipal determinará as áreas de proteção ambiental, sendo ali vedados:

I – a caça e a pesca predatórias;

II – o desmatamento e a queimada da flora;

III – a poluição, pelo lançamento de rejeitos industriais e de esgoto de qualquer espécie, nos cursos d'água, bem assim a pulverização de agrotóxicos nos campos agrícolas, de modo a causar o desequilíbrio ecológico;

IV – a implantação de depósitos de produtos químicos tóxicos assim definidos por órgãos técnicos competentes;

V – a extração de minerais e conseqüente degradação da forma geológica natural do solo;

VI – a construção de imóveis que firam a estética natural do meio ambiente.