

IMPACTOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS A DESMONTE DE ROCHA COM USO DE EXPLOSIVOS

Gilda Carneiro FERREIRA ¹, Elias Carneiro DAITX ¹, Caetano DALLORA NETO ²

(1) Departamento de Geologia Aplicada, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Campus de Rio Claro. Avenida 24-A, 1515, Bela Vista. CEP 13506-900. Rio Claro, SP. Endereços eletrônicos: gildacf@rc.unesp.br, ecdaix@rc.unesp.br. (2) Rua Tibiriçá, 1094/403. Ribeirão Preto, SP. CEP 14010-090. Endereço eletrônico: caetano.dallora@gmail.com.

Introdução
Problemas Ambientais na Mineração com Uso de Explosivo
Ultrapassagem
Ruído e Sobrepressão Atmosférica
Poeiras e Gases Tóxicos
Vibrações Propagadas pelo Terreno
Reações Humanas à Vibração
Ações Mitigadoras
Considerações Finais
Referências Bibliográficas

RESUMO – A exploração de maciços rochosos com uso de explosivos provoca inevitáveis impactos ambientais e desconforto para as populações do entorno, as quais estão expostas cotidianamente aos seus efeitos. Os principais efeitos ambientais se fazem sentir através do ultrapassagem de fragmentos, da geração de vibrações no terreno, de sobrepressão atmosférica, da emissão de materiais particulados (poeira) na atmosfera, do aumento dos níveis de ruído, do assoreamento de áreas e/ou de drenagens adjacentes às minerações, além da alteração visual e paisagística. Esses problemas podem ser reduzidos a um nível aceitável pela comunidade afetada, se a lavra for executada de modo a preservar as condições de saúde, segurança e bem estar da população afetada, adotando-se técnicas modernas de extração e beneficiamento, e pelo monitoramento continuado dos parâmetros ambientais envolvidos, mantendo-os, no mínimo, dentro dos limites estabelecidos pelos organismos governamentais fiscalizadores.

Palavras-chave: Mineração, desmonte com explosivos, impactos ambientais.

ABSTRACT – *G.C. Ferreira, E.C. Daitx, C. Dallora Neto – Environment impacts associated to the rock blasting with use of explosives.* Rock blasting provokes inevitable environment impacts and discomfort for the surrounding populations, which are daily exposed to its effect. These environmental effects are mainly caused by the flyrock, ground vibrations, airblast, dust, noise, silting of local drainage, and the visual and landscape alteration. These problems can be reduced to an acceptable level, if the rock exploration is executed in order to preserve the conditions of health, security and comfort of the affected population, adopting modern techniques of extraction and improvement, and a continued monitoring of the environmental parameters keeping them, at least, in the governmental regulation limits.
Keywords: Mining, blasting, environmental impacts.

INTRODUÇÃO

Este trabalho resultou de um levantamento bibliográfico sobre o tema, com o objetivo de permitir aos técnicos da área de meio ambiente, como advogados, promotores, geógrafos, biólogos, engenheiros florestais, entre outros, que não atuam diretamente na área de mineração, entender os principais impactos ambientais gerados pelos desmontes de rocha com uso de explosivos. Tem também o objetivo de ser utilizado como texto didático.

O rápido crescimento industrial experimentado pelo País resultou numa explosiva concentração de sua população nas áreas periféricas às cidades, geralmente à margem de qualquer política de ordenamento e/ou planejamento urbanístico. Loteamentos clandestinos ou autorizados pelo poder público provocaram a ocupação das regiões situadas no entorno das áreas de extração

mineral, originando um quadro crescente de conflitos sociais entre os habitantes dessas áreas e as minerações.

A condução técnica das atividades de lavra em algumas minerações, sem cuidados específicos em relação à segurança e ao conforto ambiental das populações do entorno das minerações, o descumprimento da legislação por parte das empresas mineradoras e por diversas instâncias do Poder Público, a falta de Planos Diretores dos municípios ou de sua aplicação efetiva, e muitas vezes a falta de interesse dos órgãos encarregados da fiscalização das atividades minerárias e/ou de expansão urbana, resultou num quadro atual marcado por uma relação pouco amigável entre a comunidade das áreas vizinhas às frentes de extração, os organismos governamentais de controle ambiental e as empresas mineradoras.

A minimização dos conflitos, buscando uma convivência aceitável entre as atividades de mineração e a comunidade que vive em seu entorno, via de regra, tem sido iniciada por ações técnicas provocadas pelo poder público e/ou implementadas pelas entidades produtoras, objetivando diagnosticar, controlar e prevenir os principais problemas decorrentes da proximidade das frentes de extração mineral com a malha urbana.

Os melhores resultados vêm sendo obtidos em ações setorializadas, através da aplicação pelas empresas mineradoras de medidas efetivas de atenuação do impacto ambiental (programas de autocontrole ambi-

ental), acompanhadas da execução de uma política de negociações com as populações vizinhas ao empreendimento mineiro (Areia & Brita, 1997a, 1997b; Barros, 1997; Ribeiro, 2003; Dallora Neto, 2004). Essas iniciativas decorrem geralmente de decisões empresariais nos campos do controle de qualidade e/ou de gestão ambiental do empreendimento, e têm sido incentivadas pelas associações ou sindicatos de produtores, colocando a questão da mineração em áreas urbanas num novo cenário, balizado por estudos técnicos detalhados e por uma participação efetiva de todos os setores envolvidos.

PROBLEMAS AMBIENTAIS NA MINERAÇÃO COM USO DE EXPLOSIVO

Os principais impactos ambientais decorrentes de desmontes de rochas com explosivos estão associados à dissipação da fração de energia liberada pelo explosivo na detonação que não é transformada em trabalho útil. Tal fração de energia dissipa-se, em sua maior parte, através do maciço circundante sob a forma de vibrações, e da atmosfera sob a forma de ruído e sobrepressão atmosférica. Gera, complementarmente, poeira podendo ainda ocasionar danos ao maciço remanescente e ultralaçamentos. Outro efeito indesejável na detonação é a geração de gases tóxicos. Eston (1998) cita ainda como efeitos deletérios relacionados aos desmontes de rocha a possibilidade de contaminação de águas subterrâneas pelo escoamento de produtos químicos contidos nos furos e incômodos visual e psicológico decorrentes da não familiaridade do cidadão comum com a atividade.

A proximidade dos locais de produção de brita em relação à malha urbana das cidades é uma decorrência natural da forte influência do custo de transporte no preço final do produto, devido ao baixo valor unitário da pedra britada, quando comparado ao de outros bens minerais. Alguns fatores geológicos, ligados à rigidez locacional do empreendimento mineiro (os recursos minerais estão onde a natureza os colocou) e ao grande volume de reservas dos corpos rochosos explorados para a produção de brita (possibilitando sua lavra por várias dezenas de anos), contribuem para tornar as pedreiras figuras “anômalas”, geralmente indesejadas, na nova configuração da malha urbana, em constante crescimento no decorrer da vida útil de uma pedreira, particularmente nas cidades com expansão urbana acelerada. A produção de calcário também utiliza explosivo no seu processo de extração, e é um bem mineral produzido geralmente em áreas próximas aos centros urbanos; gera também poeira decorrente principalmente de seu processo de beneficiamento. A lavra subterrânea do carvão gera conflito com a

população residente em superfície, principalmente pelo incômodo gerado pelas sucessivas detonações diárias.

Extrações de areia e argila em aluviões fluviais também geram conflitos com outras formas de aproveitamento territorial, mas as áreas onde elas se situam não são as prioritárias para urbanização e sua lavra causa um desconforto ambiental menos pronunciado do que o gerado pelas minerações que utilizam explosivos. Esse quadro tem mudado rapidamente nos últimos anos, face à progressiva ocupação das áreas de várzeas e à crescente demanda por esses bens minerais, resultando em extrações de grande porte, que inviabilizam o terreno para a maioria das demais formas de uso e ocupação do solo.

ULTRALAÇAMENTO

Desses problemas, o do ultralaçamento de fragmentos é o que representa maior perigo direto, face à possibilidade de ocasionar acidentes com vítimas, fatais em alguns casos (São Vicente, SP; Midéa, 1989), e danos em estruturas residenciais. Eventos graves são raríssimos atualmente, face às novas técnicas introduzidas no sistema de desmonte dos maciços rochosos (razão de carregamento, menor altura nas bancadas, controle preciso da inclinação da furação, uso de explosivos mais eficientes etc.), mas em passado recente o lançamento de fragmentos para fora da área de propriedade das minerações provocou reações imediatas das comunidades afetadas, por vezes levando ao encerramento das atividades de lavra.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas, em sua norma NBR 9.653, define ultralaçamento como o “*arremesso de fragmentos de rocha decorrente do desmonte com uso de explosivos, além da área de operação*” (ABNT, 2005).

Dele decorrem os maiores riscos pessoais e materiais passíveis de ocorrer em um desmonte de rochas com explosivos. Sua prevenção dá-se através da

elaboração de um bom plano de fogo, não sendo, entretanto, suficiente para evitá-los. As causas de ultralanchamentos citadas por Silva et al. (2000) são as seguintes: afastamento insuficiente ou excessivo; impróprio alinhamento dos furos; iniciação instantânea de furos em filas consecutivas; ocorrência de anomalias geológicas; tampão inadequado; fragilização da face livre ou ultraquebras decorrentes de detonações anteriores.

Ruído e Sobrepressão Atmosférica

A poluição sonora provocada pelas atividades de mineração está relacionada ao ruído das detonações, do trânsito de caminhões e máquinas, e dos equipamentos utilizados no beneficiamento. Para os moradores vizinhos às empresas, o incômodo ambiental maior é provocado pelas explosões (desmontes de bancadas e fogachos), porque normalmente os outros ruídos, de menor intensidade, são diluídos pela distância e grandeza do espaço ocupado pela mineração e, às vezes, atenuados por uma “cortina vegetal”. A sua emissão continuada pode causar danos à saúde e ao bem-estar das pessoas expostas cotidianamente a níveis elevados de ruídos, incluindo-se aqui os trabalhadores da própria empresa e os moradores das áreas adjacentes. Esse incômodo ambiental torna-se mais grave para a população residente junto às vias de tráfego dos caminhões que transportam o bem mineral para os locais de seu consumo.

A sobrepressão atmosférica é causada pela movimentação do material desmontado ou por perda de energia durante a detonação de cargas explosivas (liberando gases confinados de modo inadequado). Esse fenômeno é normalmente mais intenso na frente da face em desmonte e geralmente se confunde com o ruído da explosão.

Definindo sobrepressão atmosférica como toda propagação de uma onda elástica pelo ar, Eston (1998) considera ruído como a sobrepressão situada na faixa de frequências entre 20 Hz e 20.000 Hz e considerada desagradável segundo algum critério humano. As sobrepressões com frequências inferiores a 20 Hz denominam-se infra-sons e aquelas com frequências superiores a 20.000 Hz, ultra-sons. Considera ainda conceitualmente errada a utilização do termo ‘sopro de ar’ por avaliar que tal terminologia implica deslocamento de matéria.

Sanchez (1995a) e Eston (1998) consideram, entretanto, que as principais fontes de sobrepressão – uma vez que definem ruído como uma sobrepressão em faixa de frequência audível – em um desmonte de rochas com explosivos estão relacionadas a liberação de gases através de fraturas e da parte superior da coluna de explosivos, com ejeção do tampão; a

detonação de explosivos não confinados; a deslocamento da fração do maciço rochoso sujeita ao desmonte; a refração das ondas sísmicas através da atmosfera.

Suas condições de dispersão dependem das condições atmosféricas existentes no local no momento do desmonte, como direção e intensidade do vento, presença de inversões térmicas, nebulosidade, temperatura e pressão.

Seus efeitos se somam e se confundem com os das vibrações provocadas no terreno e vão de incômodos à população vizinha a danos em edificações.

O limite de pressão acústica admitido pela ABNT é de 134 dBL pico no ambiente externo à área de operação da mina, assim entendida como aquela sujeita a concessão, licenciamento ou área de propriedade da empresa. A CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – recomenda, com base no projeto de norma D7.013: Mineração por Explosivos, de 1992, limite máximo de 128 dBL linear-pico de sobrepressão do ar, medido fora dos limites da propriedade da mineração ou da área por ela ocupada sob qualquer forma, como posse, arrendamento, servidão, concessão etc.

Poeiras e Gases Tóxicos

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

O lançamento de material particulado fino (poeira) para a atmosfera decorre também das atividades de cominuição e classificação dos fragmentos rochosos, sendo suas principais fontes emissoras as operações de britagem, classificação, transferência, estocagem, carregamento, e transporte.

Além de causar desconforto ambiental, a poeira é também nociva à saúde humana, provocando diversas doenças no sistema respiratório, das quais as mais graves são as pneumoconioses. As pessoas mais afetadas são aquelas que trabalham diretamente junto aos focos emissores de poeira (constituindo uma questão de saúde ocupacional), mas em graus variáveis afeta também os moradores das áreas circunvizinhas às minerações (Rodrigues, 1993; Ribeiro, 1995).

Em condições ideais os gases gerados na detonação de explosivos constituem-se-iam de vapor d’água, gás carbônico e nitrogênio, conforme mostrado pela

reação de detonação de mistura de nitrato de amônio e óleo combustível – ANFO ($3\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{CH}_2 \rightarrow 7\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + 3\text{N}_2$) (Gregory, 1973). Formulações inadequadas dessa mistura provocam a geração de gases sob a forma de NO_x e CO , considerados tóxicos. Dias (2001) cita ainda a possibilidade de ocorrência de gases sob a forma de SO_x decorrente da utilização de óleo combustível contendo enxofre em sua composição. A geração de fuligem está associada ao excesso de óleo combustível.

VIBRAÇÕES PROPAGADAS PELO TERRENO

A geração de vibrações no solo é outro importante efeito da utilização de explosivos para o desmonte de rochas e causam um marcante desconforto ambiental à população. A propagação de vibrações através do terreno pode provocar trincas em construções, mas geralmente seu efeito se reduz ao incômodo causado às pessoas pela sensação de vibração ou tremor das edificações, marcadas algumas vezes pela oscilação e/ou queda de objetos (CETESB, 1983).

A fração da energia liberada pela detonação de cargas explosivas, transmitidas ao maciço e não absorvidas na realização de trabalho útil, provoca perturbações que se manifestam pela movimentação de suas partículas constituintes em torno de sua posição de equilíbrio, que será tão acentuada quanto maior for a intensidade da perturbação, dentro dos limites elásticos do meio. Essa movimentação de partículas é transmitida àquelas situadas em seu entorno, e assim sucessivamente, causando a propagação da onda através do maciço. Manifesta-se inicialmente como ondas compressivas, às quais seguem-se ondas secundárias ou cisalhantes; sua interação em interfaces com o ar geram ondas de superfície.

A propagação dessas ondas sísmicas é afetada, em sua intensidade, pela energia liberada na fonte, distância percorrida, características do meio, tipo de onda, frequência, ângulo de incidência com interfaces entre meios distintos e descontinuidades existentes no meio.

Vibrações são, portanto, a resposta do maciço a tais perturbações e são quantificadas através das grandezas deslocamento, aceleração e velocidade de partícula, assim denominada para diferenciá-la da velocidade de propagação da onda. Dadas as características da fonte, essas vibrações são classificadas como transientes. São, provavelmente, a principal causa de animosidade entre empreendimentos que utilizam em sua atividade produtiva o desmonte de rochas com a utilização de explosivos e sua vizinhança.

Langefors & Kihlström (1978) sustentam que também deveriam ser feitas considerações sobre como tais vibrações são entendidas, já que parte considerável

desta animosidade decorre de um falso conceito de risco de danos por parte de leigos, os quais consideram, ainda, que o empreendimento não disponibiliza informações quando ocorre algo desagradável.

Neste sentido, Stagg et al. (1984; segundo Sanches, 1995b), estudaram a origem e o processo de fissuração em residências e chegaram à conclusão que a atividade humana e as variações de temperatura e umidade provocam deformações em paredes equivalentes a movimentos vibratórios de elevada amplitude.

Desde a década de 30 estudos vêm sendo realizados procurando estabelecer critérios de danos e desconforto a pessoas decorrentes de vibrações ocasionados em desmontes de rochas por explosivos. Ainda segundo Sanchez (1995b), desde aquela época se trabalha em busca de uma relação empírica entre alguma medida de energia da vibração e a possibilidade de danos a residências e outras estruturas existentes na cercania; de uma relação empírica entre a carga detonada e a energia de vibração, em função da distância; limites máximos admissíveis de vibração e de medidas economicamente viáveis a serem tomadas para evitar que as vibrações ultrapassem esses limites máximos, além de aparatos capazes de captar as vibrações de maneira precisa, confiável e reprodutível.

Outra fonte de vibrações afetando os moradores do entorno das áreas de extração de minérios decorre do tráfego de caminhões, um problema raramente solucionado quando não é possível a construção de vias alternativas contornando as áreas urbanas adjacentes.

REAÇÕES HUMANAS ÀS VIBRAÇÕES

Siskind et al. (1980), em suas conclusões e a partir de trabalhos de diversos autores que estudaram reações humanas a vibrações, estabeleceram que as reações humanas podem representar o principal fator limitante aos níveis de vibração decorrentes da detonação de cargas explosivas. Citam ainda que:

- Níveis de vibração passíveis de serem sentidos são consideravelmente menores que aqueles requeridos para produzir danos.
- A reação humana às vibrações depende da duração do evento para as mesmas amplitudes.
- Velocidades de partícula de 12,5 mm/s de uma detonação típica (vibrações com duração de 1 segundo) seriam toleráveis por aproximadamente 95% das pessoas, que as considerariam como “claramente perceptível” (alguns estudos classificam a percepção humana às vibrações em diversos níveis, como “fracamente perceptíveis”, “distintamente perceptíveis” e “fortemente perceptíveis”).
- Relevante na percepção e reação às vibrações é o grau de interferência que provocam em atividades normais (sono, conversação, assistir televisão, ler),

oferecendo riscos à saúde e afetando rendimento operacional.

- Para pessoas em residências, os mais sérios problemas relacionados às vibrações são a movimentação

nas estruturas, medo (de danos ou prejuízos, além de ferimentos) e, para alguns, interferência em atividades.

AÇÕES MITIGADORAS

As formas encontradas pelas empresas para mitigar os danos ambientais provocados aos seus trabalhadores e à população do entorno, pela emissão de materiais particulados, envolvem o posicionamento adequado das instalações de beneficiamento (considerando a localização dos núcleos urbanos e as condições de circulação de ventos), a execução de perfurações úmidas ou com coletor de pó, o enclausuramento das unidades de britagem e peneiramento (com adoção de sistemas de exaustão e ventilação), a ensilagem do material produzido, a aspersão de água nas etapas geradoras da maior quantidade de poeira, a pavimentação das pistas internas e a implantação de “cortinas vegetais” (Rodrigues, 1993; Ribeiro, 1995; Sanchez, 1995c).

As medidas adotadas pela grande maioria das empresas para diminuir os níveis de pressão acústica das detonações incluem a utilização de linhas silenciosas de acessórios de ligação e a eliminação dos fogachos pelo uso de rompedores hidráulicos para a quebra dos grandes blocos. As detonações podem ser acompanhadas do uso de sirenes de aviso, aumentando o nível de fundo dos ruídos e antecipando o efeito psicológico da surpresa causada pela explosão (Areia & Brita, 1997b). A instalação de barreiras físicas (“cortina vegetal”, “diques” com material estéril, muros de concreto etc.) são outras medidas adotadas por algumas empresas para atenuar os efeitos da poluição sonora, particularmente nas pedreiras posicionadas em áreas urbanas (Ribeiro, 1995; Sanchez, 1995a).

A minimização do efeito da sobrepressão tem sido obtida por meio do confinamento da detonação, através de um tamponamento adequado que não permita a perda de energia, da redução dos desmontes secundários, e de cuidados com a direção e velocidade do vento, e com inversões térmicas (Siskind, 1989; Rodrigues, 1993; Sanchez, 1995a).

Segundo Silva et al (2000), as ações mitigadoras possíveis dão-se por meio de: verificação das condições meteorológicas existentes, evitando a detonação em situações desfavoráveis; execução de malhas de perfuração perfeitamente demarcadas e perfuradas; não direcionamento da frente de detonação para o local a ser preservado; detonações em horário de maior ruído; implantação de obstáculos entre a fonte e o local a ser preservado; adoção do maior tampão possível e material adequado; recobrimento de acessórios de

detonação explosivos; colocação de tampão intermediário em fraturas; redução da carga máxima de explosivo a ser detonada instantaneamente; adequação do tempo de retardo, fazendo $t = 2.s/v$, onde t é o tempo de retardo, s é o afastamento em metros e v é a velocidade de propagação do som em metros por segundo; iniciação das minas pelo fundo; iniciação do fogo na extremidade mais próxima do local a ser preservado; iniciação da detonação com o menor número possível de furos; redução da frequência de detonações por período produtivo através de acréscimo no número de furos por detonação.

O principal fator a ser considerado, objetivando a redução das vibrações que se propagam pelo terreno, é a execução criteriosa de planos de fogo adequadamente dimensionados. Evitar o excessivo confinamento do explosivo através da minimização do desvio de furos, a eliminação de repés – material *in situ* remanescente da detonação anterior posicionado na interseção da face livre com a praça – ou outros obstáculos que impeçam o deslocamento do material desmontado, redução do tampão – mas não a ponto de incrementar a sobrepressão atmosférica ou acarretar ultralanchamentos – e da subperfuração, são medidas efetivas no controle dos níveis de vibração (Dallora Neto, 2004).

A partir do exposto e considerando-se as condições de rigidez locacional de empreendimentos minerários, a redução da carga de explosivos detonada instantaneamente é o fator primordial que afeta a amplitude da velocidade de partícula. Tal redução pode ser obtida através da interposição entre grupos de minas – furos carregados com explosivos –, ou mesmo entre minas, de elementos de retardo, que provocarão intervalos de tempo entre suas detonações.

A redução no diâmetro de perfuração, altura das bancadas ou mesmo a intercalação no furo de material inerte entre a carga explosiva podem ser adotadas para a redução da carga explosiva a ser detonada instantaneamente, se as condições locais assim o exigirem, estando sua exequibilidade vinculada a condicionantes técnicos e econômicos (Dallora Neto, 2004).

Outras medidas que favorecem a redução nos níveis de vibração são: sempre que possível proporcionar a progressão da detonação das minas, ou grupos de minas, do ponto mais próximo para o mais afastado do local onde se pretende obter os menores níveis de

vibração; reduzir a frequência de detonações por período produtivo através da adoção de um maior número de furos por detonação; procurar coincidir os horários de detonações com períodos de maior atividade na vizinhança; sempre que possível, procurar fazer com que o tempo total de duração da detonação não ultra-

passe 1 segundo; adotar um programa de relações públicas; adotar elementos de retardo que proporcionem reduzida dispersão em seus tempos; utilizar tempos de retardo elevados, desde que as condições geológicas em conjunção com o sistema de iniciação o permitirem (Silva et al., 2000).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação dos impactos ambientais provocados por desmonte de rocha com uso de explosivos constitui-se numa atividade técnico-científica essencial para a instalação do empreendimento mineiro (fase de planejamento) e para monitoramento dos seus efeitos ambientais, fornecendo instrumentos para uma correta gestão ambiental por parte da empresa, da administração pública e da comunidade envolvida.

A disposição dos problemas ambientais e o encaminhamento para soluções geralmente não são suficientes para permitir uma convivência harmoniosa das minerações com as comunidades vizinhas, mas ela fornece uma base sobre a qual será efetuada a avaliação dos benefícios sociais do empreendimento.

O planejamento prévio do uso futuro da área de lavra e a sua adequação para o fim previsto, paralelamente ao desenvolvimento da mineração, devem ser considerados os procedimentos técnicos corretos e incorporados pelas empresas de mineração.

O uso de iniciadores de precisão e de micro-retardos, o abafamento do cordel detonante, o posicionamento correto das frentes de lavra e a diminuição da altura da bancada constituem técnicas adotadas pelas minerações para manter os efeitos ambientais de vibração da detonação nos limites definidos pelos órgãos fiscalizadores.

Um fator decisivo para que ocorram danos em uma edificação próxima à área de mineração é a relação existente entre a frequência natural da edificação e a frequência da vibração a que ela será submetida, deve-se observar ainda o estado de conservação da construção.

Segundo Langefors & Kihlström (1978), a velocidade de partícula é a melhor grandeza para a quantificação de níveis de vibração e é a mais prática para a regulação de danos potenciais para a classe de estruturas com bem definidas características de resposta às vibrações; o potencial de danos em baixas frequências (<40 Hz) é consideravelmente maior que em altas frequências (>40 Hz); todas as edificações podem apresentar, eventualmente, fraturas decorrentes de variações ambientais tais como temperatura, umidade e ventos, acomodação de fundações e mesmo absorção de umidade pelas raízes de árvores.

A norma brasileira, ABNT NBR 9.653 – Guia para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos

nas minerações em áreas urbanas (ABNT, 2005), 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 que os limites para velocidade de vibração de partícula de pico acima dos quais podem ocorrer danos induzidos por vibrações do terreno são: iniciando em 15 mm/s, aumenta linearmente até 20 mm/s, com frequência na faixa de 4 Hz a 15 Hz; acima de 20 mm/s, aumenta linearmente até 50 mm/s, com frequência variando de 15 Hz a 40 Hz e 50 mm/s com frequência acima de 40 Hz. 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).

A velocidade de partícula de pico, ainda de acordo com a norma ABNT 9.653, corresponde ao máximo valor instantâneo da velocidade de uma partícula em um ponto durante um determinado intervalo de tempo, considerado como sendo o maior valor dentre os valores de pico das componentes de velocidade de vibração de partícula para o mesmo intervalo de tempo.

A lavra de bens minerais provoca outros impactos ambientais de caráter permanente, relacionado à alteração do relevo natural, com reflexos na rede de drenagem e na movimentação eólica, e ao aspecto visual da área lavrada, caracterizada por escavações, taludes fortemente inclinados, grandes exposições de rocha nua, movimentações de terra e eliminação da cobertura vegetal, compondo um quadro global de degradação paisagística.

A reabilitação dessas áreas para outros usos tem sido uma preocupação constante dos órgãos de controle ambiental e de planejamento urbano, e, nos últimos anos, das próprias empresas mineradoras, face ao valor elevado dos terrenos nas regiões onde algumas delas estão instaladas. Exemplos bem-sucedidos de reabilitação de pedreiras abandonadas incluem a sua transformação em áreas de lazer (Paulo Leminski, em Curitiba; Taquaral, em Campinas; Mairiporã, em São Paulo; Parque Curupira, Cava do Bosque e Santuário Sete Capelas, em Ribeirão Preto), em depósitos de resíduos sólidos (São Paulo), em pátios de estacionamento de veículos (Santos) ou em áreas reurbanizadas (Rio de Janeiro).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9.653. Guia para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações em áreas urbanas.** São Paulo, 11 p., 2005.
2. AREIA & BRITA. Como vive uma pedra no meio da cidade. Pedreira Itaquera. **Areia & Brita**, n. 1, p. 22-26, 1997. (a).
3. AREIA & BRITA. Pedreiras do Rio implantam técnicas de análises ambientais. **Areia & Brita**, n. 2, p. 3-11, 1997. (b).
4. BARROS, F.L.C. A mineração de agregados na Região Metropolitana de São Paulo. A experiência da Embu na Mineração Juruçu. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO, 7, 1997, Belo Horizonte. **Coletânea Conferências...** Belo Horizonte: Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM), p. X-21-X-34, 1997.
5. CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Reestudo dos critérios de análise do incômodo causado aos indivíduos por vibrações.** São Paulo, 51 p., 1983.
6. DALLORA NETO, C. **Análise das vibrações resultantes do desmonte de rocha em mineração de calcário e argilito posicionada junto à área urbana de Limeira (SP) e sua aplicação para minimização de impactos ambientais.** Rio Claro, 2004., 82 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
7. DIAS, E.G.C.S. **Avaliação de impacto ambiental de projetos de mineração no Estado de São Paulo: a etapa de acompanhamento.** São Paulo, 2001. 303 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mineral) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
8. ESTON, S.M. **Uma análise dos níveis de vibração associados a detonações.** São Paulo, 1998, 125 p. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
9. GREGORY, C.E. **Explosives for North American engineers.** Cleveland (Ohio): TransTech Publications, 276 p., 1973.
10. LANGEFORS, U. & KIHLSSTRÖM, B. **Rock blasting.** Almqvist & Wiksel Förlag AB Stockholm, 438 p., 1978.
11. MIDÉA, N.F. Uso de explosivos na exploração de pedreiras próximas a áreas urbanas. In: VALVERDE, F.M.; KYOTANI, M.A.; AKINAGA, R.M. (Coords.), **Seminário Internacional sobre Mineração em Áreas Urbanas.** Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM) e Programa de Desenvolvimento de Recursos Minerais (Pró-Minerio), São Paulo, p. 44-47, 1989.
12. RIBEIRO, J.T.M. **Curso básico sobre medição, prevenção e controle da poluição na mineração (poeira e ruído).** São Paulo: DNPM/CECOPOMIN, 28 p., 1995.
13. RIBEIRO, J.T.M. **Monitoramento da vibração causada por detonações em mina subterrânea de carvão (Mina Trevo – Siderópolis, SC) como subsídio ao estabelecimento de uma política de relacionamento com a comunidade do entorno da mineração.** Rio Claro, 2003. 63 p. Dissertação (Mestre em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
14. RODRIGUES, G.L. **Efeitos ambientais na produção de brita em áreas urbanas (poluição atmosférica e vibração).** São Paulo, 1993. 78 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
15. SANCHEZ, L.E. Ruido y sobrepresion atmosferica. In: REPETTO, F.L. & KAREZ, C.S. (Eds.), **Aspectos geológicos de proteccion ambiental.** Montevideo: PNUMA/UNESCO e Instituto de Geociências/UNICAMP, v. 1, p. 189-196, 1995. (a).
16. SANCHEZ, L.E. **Curso “Formación en aspectos geológicos de proteccion ambiental”.** Campinas: Instituto de Geociências/UNICAMP, p. 179-211, 1995. (b).
17. SANCHEZ, L.E. Control de contaminacion del aire. In: REPETTO, F.L. & KAREZ, C.S. (Eds.), **Aspectos geológicos de proteccion ambiental.** Montevideo: PNUMA/UNESCO e Instituto de Geociências/UNICAMP, v. 1, p. 197-204, 1995. (c).
18. SILVA, V.C.; ANTONINI, A.; KOPPE, J.; FLOYD, J.; CERELLO, L.; CROSBY, W.; HOGAN, T. **Problemas gerados pelas detonações.** Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 165 p., 2000. (Apostila).
19. SISKIND, D.E.; STAGG, M.S.; KOPP, J.W.; DOWDING, C.H. **Structure response and damage produced by ground vibrations from surface mine blasting. Report of Investigations 8507.** Washington: United States Bureau of Mines, 74 p., 1980.
20. SISKIND, D.E. **Vibração e deslocamento de ar em pedreiras.** In: VALVERDE, F.M.; KYOTANI, M.A.; AKINAGA, R.M. (Coords.), **Seminário Internacional sobre Mineração em Áreas Urbanas.** Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM) e Programa de Desenvolvimento de Recursos Minerais (Pró-Minerio), São Paulo, p. 40-43, 1989.

*Manuscrito Recebido em: 2 de agosto de 2006
Revisado e Aceito em: 22 de dezembro de 2006*

