

## Principais normas e recomendações existentes para o controle de vibrações provocadas pelo uso de explosivos em áreas urbanas – Parte I

Denise de La Corte Bacci

*Pós-doutoranda – LACASEMIN - Depart. de Engenharia de Minas e de Petróleo – Escola Politécnica – USP  
E-mail: dbacci@dglnet.com.br*

Paulo Milton Barbosa Landim

*Depart. de Geologia Aplicada - Instituto de Geociências e de Ciências Exatas - UNESP/Rio Claro (SP)  
E-mail:plandim@rc.unesp.br*

Sérgio Médiçi de Eston

*Professor Titular e Chefe do Depart. de Engenharia de Minas e de Petróleo; Coordenador do Laboratório de Controle Ambiental, Higiene e Segurança na Mineração (LACASEMIN) – Escola Politécnica – USP  
E-mail: smeston@usp.br*

Wilson Siguemasa Iramina

*Pesquisador do LACASEMIN - Depart. de Engenharia de Minas e de Petróleo – Escola Politécnica – USP  
E-mail: wilsiram@usp.br*

### Resumo

As atividades que envolvem o uso de explosivos devem ser controladas, não só com relação ao desmonte de estruturas (rocha e outros materiais), mas também quanto a danos estruturais em edificações próximas (casas, edificações históricas, etc.) e a outros impactos ambientais como vibração, propagação de ruídos, ultralanchamentos e sobrepressão atmosférica. Tais atividades são regidas por normas técnicas que sugerem parâmetros de medição e limites definidos na avaliação de prováveis danos. No caso específico de minerações em áreas urbanas, a velocidade de vibração de partícula ( $V_p$ ), normalmente expressa em mm/s, é o parâmetro que tem dado melhor correlação na avaliação de possíveis danos às estruturas civis, atribuídos às vibrações do terreno. As diferentes normas existentes apresentam valores de  $V_p$  que variam de 2mm/s para edifícios históricos até 150mm/s para construções em concreto armado. A maioria delas considera na avaliação de danos estruturais, além da velocidade, a frequência da vibração. Algumas normas foram elaboradas com base em dados experimentais, analisando parâmetros como o tipo de construção e o material nela utilizado, outras se basearam apenas em valores empíricos, mas todas apresentam valores conservativos. A coletânea aqui apresentada reuniu as normas européias mais importantes, oferecendo um panorama atual sobre essa área de conhecimento. Numa segunda parte, esse trabalho abrangerá as normas nas Américas e em outros continentes.

**Palavras-chave:** vibrações do terreno, explosivos, danos em estruturas, normas técnicas.

### Abstract

*Blasting requires control measures related to structural damage to buildings and environmental impacts like ground vibrations, noise, flyrock and air blast. The use of explosives is controlled by federal and state regulations, which involve measurement of parameters to evaluate probable damage in buildings and other type of constructions. In urban areas, the peak particle velocity (PPV) associated with ground vibration and expressed in mm/second, is the best parameter to evaluate possible structural damages. Worldwide legal limits vary from a low 2 mm/s for historical buildings to a high 150 mm/s for reinforced concrete. Most of the regulations consider peak particle velocity and frequency as a double damage parameter. Some regulations were elaborated with an experimental database, involving different types of construction and building materials. Others were proposed using empirical data. Both regulations present conservative values.*

*This paper presents a review of the most important European regulations for blasting activities, presenting the state of the art in this area. A second part of paper will show American Regulations and the norms of other continents.*

**Keywords:** ground vibrations, explosives, structural damage, regulations.

## 1. Introdução

Os valores limites do nível de vibração do terreno não dependem apenas dos danos que a velocidade de vibração de partícula pode causar nas construções civis, mas também do tipo de construção em si, tendo sido provado que, com frequência, a vibração gerada por explosivos é apenas o instante detonador de um processo de instabilidade atribuído a outras causas, como recalque, dilatação térmica, insuficiência de material, erro de cálculo de projeto, etc. (Fornaro, 1980).

Também é importante considerar as características próprias das vibrações, ou seja, a frequência, a repetitividade e a duração do fenômeno. Pode-se dizer que um edifício sofre danos, se os impulsos dinâmicos provocados pelas vibrações sobrepõem-se aos impulsos estáticos, levando a uma superação das condições de resistência da estrutura.

Quando não é possível, partindo apenas das medidas de velocidade, atingir os valores de deslocamento e os impulsos, é necessário recorrer-se a tabelas empíricas de danos, correlacionando, de vários modos, as características mais evidentes do fenômeno. Esse é o caminho sugerido pela maior parte das normas (Fornaro, 1980).

Serão apresentadas, a seguir, as normas européias relacionadas ao nível permitido de vibração decorrente do uso de explosivos em minerações em áreas urbanas.

## 2. Norma Alemã (DIN 4150)

Antes dos anos 80, vigoravam duas normas distintas na Alemanha, até então dividida. Na Alemanha Oriental, a recomendação vigente considerava dois parâmetros: a tipologia estrutural do edifício submetido aos efeitos da vibração, subdividido em quatro classes distintas, e a frequência característica do fenômeno vibratório, enquanto que, na Alemanha Ocidental, admitiam-se diferentes frequências em função da tipologia estrutural do edifício, tomando como referência apenas a componente vertical da velocidade de vibração da partícula ( $V_p$ ).

Com o decorrer dos anos, e após a unificação das duas Alemanhas em 1989, a Norma DIN 4150 (1986) foi adotada como norma-padrão e tem sido atualizada desde então. Ela fornece os valores limites de velocidade de vibração de partícula em mm/s, considerando o tipo de estrutura civil e o intervalo de frequência em Hz, os quais demonstram estarem os edifícios fora de risco de danos.

As três classes de edifício definidas pela norma são:

- a) Edifícios estruturais.
- b) Habitações.
- c) Monumentos e construções delicadas.

As frequências são analisadas em três intervalos, ou seja, valores menores que 10Hz, valores entre 10-50Hz e valores entre 50-100Hz. A norma prevê que, para frequências acima de 100Hz, a estrutura suporta níveis altos de vibração.

Os valores de velocidade de vibração de partícula definidos variam de 3mm/s, no caso de monumentos e construções delicadas com frequência inferior à 10Hz, até 50mm/s, no caso de estruturas industriais com frequência entre 50-100Hz.

Na avaliação dos danos estruturais causados pelas vibrações do terreno, os valores-limites de  $V_p$  admitidos para diversos tipos de construções, em função da frequência, são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1** - Valores admitidos pela norma alemã DIN 4150 para danos em edifícios (Bacci, 2000, adaptado de Berta, 1985).

| Tipos de estrutura                  | Fundação        |           |           | Andar mais alto dos edifícios |
|-------------------------------------|-----------------|-----------|-----------|-------------------------------|
|                                     | Frequência (Hz) |           |           | Qualquer frequência           |
|                                     | < 10            | 10-50     | 50-100    |                               |
| Industrial                          | 20mm/s          | 20-40mm/s | 40-50mm/s | 40mm/s                        |
| Habitacões                          | 5mm/s           | 5-15mm/s  | 15-20mm/s | 15mm/s                        |
| Edifícios particularmente delicados | 3mm/s           | 3-8mm/s   | 8-10mm/s  | 8mm/s                         |

Valores de frequências acima de 100Hz podem ser aceitos nas partes mais altas dos edifícios. Outros valores, medidos abaixo dos limites especificados anteriormente, são considerados não danosos à estrutura civil.

Essa norma é aceita em toda comunidade européia como norma-padrão. Muitos países europeus desenvolveram suas próprias normas, baseando-as na DIN 4150 ou relacionando-as a ela.

A Figura 1 representa graficamente os valores de  $V_p$  dados pela norma alemã DIN 4150.

## 3. Norma Italiana (UNI 9916)

Trata-se de uma norma de 1991, referente à metodologia de indagação e, portanto, não estabelece valores-limites.

A norma fornece um guia para a escolha do método apropriado de medida, de tratamento de dados e de avaliação dos fenômenos vibratórios produzidos nos edifícios, com os seguintes objetivos:

- a) Avaliar se o tipo de vibração pode afetar a estrutura do edifício.
- b) Verificar a presença ou não de danos estruturais atribuídos à superação dos limites de vibração.

c) Avaliar o comportamento do edifício quando submetido a cargas dinâmicas acidentais, como, por exemplo, terremotos.

A norma tem um caráter geral e não se refere aos efeitos das vibrações. Considera os fenômenos vibratórios não necessariamente produzidos por desmontes, com cargas explosivas caracterizadas por gamas de frequência compreendidas entre 0,1 e 150Hz, levando em conta que fenômenos vibratórios, caracterizados por frequências superiores a 150Hz, não influenciam significativamente a resposta de um edifício qualquer à vibração.

Os parâmetros seguidos para a caracterização das vibrações são:

- a) Duração e amplitude da vibração.
- b) Campo de frequência de interesse.
- c) Características dimensionais do elemento estrutural do qual é avaliada a resposta, em função do tipo de edifício, da interação solo-rocha, das características do terreno e das frequências naturais.

Em relação ao posicionamento do aparelho de registro, a norma sugere a verificação do nível de vibração na base da estrutura, a qual é escolhida em função da fundação, ou, na ausência desta, na base do muro de sustentação. É aconselhável, além dos registros das três componentes ortogonais entre si, o registro do vetor resultante da velocidade de vibração.

Para edifícios com menos de quatro andares, sugere-se dispor os geofones próximo à fundação e no último andar, enquanto que, para edifícios com mais de quatro andares, é aconselhável colocar os geofones em andares intermediários. Os geofones devem estar fixados sobre a estrutura, evitando-se o uso de suportes, de modo que se permita a reprodução fiel do fenômeno vibratório, impedindo alterações atribuídas ao sistema geofone-superfície de medição.

A norma italiana não apresenta novidades e segue os conceitos básicos e limites da DIN 4150.

## 4. Norma Suíça (SN 640312 a)

Antes de 1992, a Suíça adotava uma norma referente aos valores para salvar a integridade dos edifícios; referia-se ela à componente vertical da velocidade, medida na fundação dos edifícios.

Os limites de intensidade de velocidade de vibração de partícula variavam de 25mm/s para museus até 100mm/s para construções em concreto armado.

Estudos posteriores introduziram a frequência como parâmetro a ser avaliado, resultando na elaboração da Tabela 2, na qual o tipo de estrutura e o tipo de fonte de vibração são atualmente considerados.

A norma introduzida em abril de 1992 abrange os efeitos nos edifícios, acrescentando critérios de avaliação dos danos materiais, mantendo, no entanto, os valores de  $V_p$  mostrados na Tabela 2.

Essa norma, utilizada mais para escavações em subterrâneo, no período

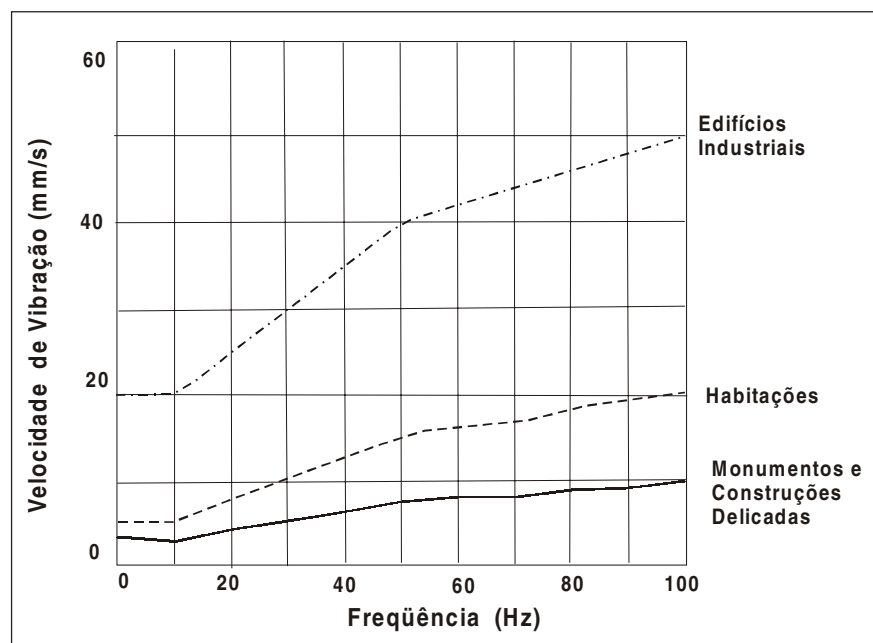


Figura 1 - Norma alemã DIN 4150. Estão representados os valores de velocidade de vibração em mm/s em função da frequência em Hz e das características estruturais dos edifícios. (Fonte: Bacci, 2000, modificado de Berta, 1985).

Tabela 2 - Valores sugeridos pela norma suíça. Os valores de  $V_p$  foram medidos para fontes de vibração de tipo ocasional. (Fonte: Bacci, 2000, adaptado de Borla, 1993).

| Tipo de Estrutura                    | Frequência (Hz) | Velocidade máxima de vibração da partícula (mm/s) |
|--------------------------------------|-----------------|---|
| I. Edifícios de concreto armado      | 10-60           | 30  |
|                                      | 60-90           | 40  |
| II. Construções normais de edifícios | 10-60           | 18  |
|                                      | 60-90           | 18-25   |
| III. Habitações                      | 30-90           | 12-18   |
| IV. Edifícios delicados              | 10-60           | 8   |
|                                      | 60-90           | 8-12  |

diurno, diferencia as classes de edifícios, as classes de repetitividade do fenômeno (ocasional, freqüente e permanente) e os campos de freqüência de velocidade da partícula. Acrescenta a distinção dos efeitos das vibrações, nas pessoas, no terreno e nos aparelhos que se encontram nos edifícios e propõe, ainda, uma atualização da metodologia de coleta de dados e dos critérios de determinação e avaliação dos danos materiais.

## 5. Recomendações Francesas

Atualmente, estão em vigor na França duas recomendações diferentes. A recomendação sugerida pela AFTES (*Association Française des Travaux en Souterrain*), de 1974, e a Circular, proposta pelo Ministério do Ambiente, em julho de 1986, ampliada em setembro de 1993.

A recomendação AFTES subdivide os edifícios em três classes:

- a) Tipo A - edifício de baixa qualidade mecânica (muros deformados).
- b) Tipo B - construções de média qualidade mecânica (sem deformações aparentes).
- c) Tipo C - construções de boa qualidade mecânica (fundações profundas).

Os limites sugeridos de velocidade são mostrados na Figura 2.

As três curvas possuem um ponto de inflexão na abscissa, que é o valor discriminante de freqüência, em  $N=10\text{Hz}$ . Para  $N<10\text{Hz}$ , o critério de dano é baseado na amplitude de oscilação. Para  $N>10\text{Hz}$ , tal critério é baseado no valor de velocidade da partícula.

O valor discriminante de freqüência a  $10\text{Hz}$  é arbitrário, ignorando os fenômenos de ressonância que podem surgir nas estruturas.

Para cada tipo de construção, admite-se, conforme o tipo de terreno, a velocidade de vibração da partícula mostrada na Tabela 3.

A Circular do Ministério do Ambiente (de julho de 1986) divide as construções em três classes - resistentes, sen-

síveis e muito sensíveis -, para as quais, porém, os limites máximos de velocidade são estabelecidos em função de três diferentes bandas de freqüência: de 4 a 8Hz; de 8 a 30Hz e de 30 a 100Hz. Nessa diretiva o valor de  $V_p$  é definido em função da freqüência (Tabela 4).

A circular não é específica para os trabalhos com explosivos em cavas. Sendo assim, uma lei sucessiva (nº 93-3 de

04/10/93) e uma nova circular (de setembro de 93) estenderam a Circular anterior às cavas, com os seguintes valores:

- para  $f$  compreendida entre 2 e 8Hz:  $V_p = 5\text{mm/s}$ ;
- para  $f$  compreendida entre 8 e 30Hz:  $V_p = 9\text{mm/s}$ ;
- para  $f$  compreendida entre 30 e 159Hz:  $V_p = 12\text{mm/s}$ .

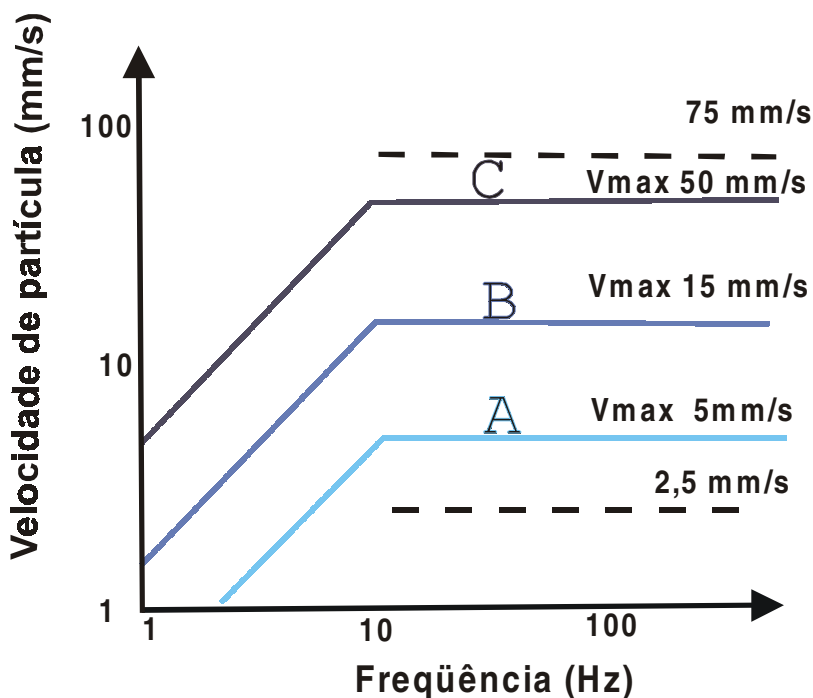


Figura 2 - Diagrama proposto pela AFTES das vibrações admitidas para as três classes de estrutura (Fonte: Bacci, 2000, adaptado de Anon, 1974; in Borla, 1993).

Tabela 3 - Valores de velocidade de vibração de partícula, segundo a AFTES, 1974. (Fonte: Bacci, 2000, adaptado de Weber et al. 1974; in Fornaro, 1980).

| Tipo de terreno ( $V_L$ – velocidade de propagação da onda em m/s) | Tipo de construção e $V_p$ (mm/s) |      |      |
|--|-----------------------------------|------|------|
|  | A                                 | B    | C    |
| 1500   | 2,5                               | 7,5  | 25,0 |
| 3000   | 5,0                               | 15,0 | 50,0 |
| 4500   | 7,5                               | 22,5 | 75,0 |

- A - edifício de baixa qualidade mecânica.
- B - edifício de média qualidade mecânica.
- C - edifício de alta qualidade mecânica.

Existe, ainda, um outro projeto de recomendação, datado de outubro de 1991, relativo às vibrações em mineração, recomendando a limitação das vibrações induzidas nas estruturas, a fim de garantir a sua integridade (Figura 3).

Os limites propostos, contrariamente às normas precedentes, classificam as estruturas em função da sensibilidade às vibrações, em dois tipos: sensíveis e resistentes (excluem-se os edifícios de valor histórico e construídos sem fundação).

## 6. Norma Portuguesa (NP-2074)

Datada de 1983, a norma portuguesa segue, em linhas gerais, a norma alemã DIN 4150, determinando, em particular, um critério de controle dos parâmetros característicos das vibrações produzidas em minerações e seus efeitos nos edifícios.

Os valores-limites são estabelecidos de acordo com as características das condições da fundação, do tipo de construção e das forças dinâmicas.

Esteves (1994) propôs, além da consideração das características anteriormente mencionadas, a consideração da frequência. O parâmetro usado para avaliar o nível de vibração é a soma vetorial das três componentes ortogonais da velocidade de partícula, ou simplesmente tomando-se o valor máximo de cada eixo. O resultado desse estudo é mostrado na Tabela 5.

## 7. Norma Sueca (SS4604866)

A norma sueca foi aprovada em 1989 e revisada em 1991.

Essa norma prevê a medida da componente vertical do vetor de velocidade de vibração da partícula como parâmetro de controle das vibrações nos edifícios (Borla, 1993).

Os níveis estipulados não consideram, entretanto, a perturbação nos seres humanos ou possíveis danos em aparelhos sensíveis.

Em particular, o valor da velocidade de medido deve resultar menor que a velocidade  $V$  calculada como segue:

$$V = V_0 F_k F_d F_t \quad (2)$$

onde:

$V_0$  = velocidade em mm/s, extraída de uma tabela, variando entre 18 e 70mm/s.

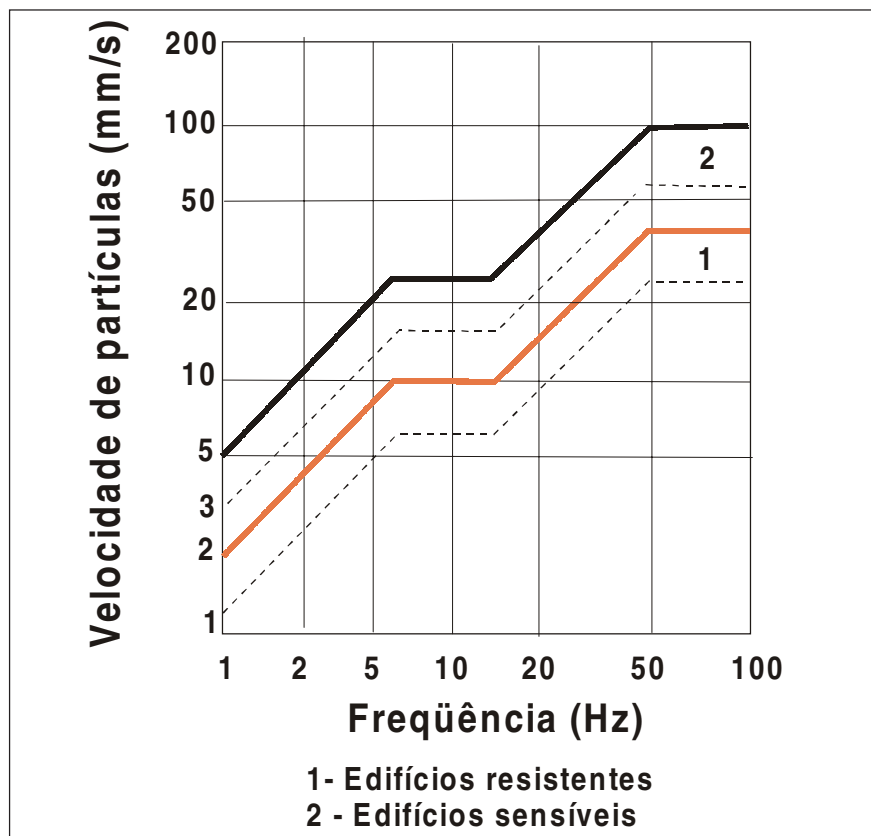
$F_k$  = tipo de construção (por exemplo: edifício industrial, habitação, edifício histórico, etc.) e do material usado na construção.

$F_d$  = distância entre o ponto de detonação e a captação.

$F_t$  = ambiente de trabalho (galeria, cava, etc.).

**Tabela 4** - Limites de velocidade de vibração de partícula ( $V_p$ ) sugeridos pela Circular do Ministério do Ambiente francês (Fonte: Bacci, 2000, adaptado de Kiszlo, 1993, in Borla, 1993).

| Tipos de construções      | Frequência (Hz) |      |        |
|---------------------------|-----------------|------|--------|
|                           | 4-8             | 8-30 | 30-100 |
|                           | Vp (mm/s)       |      |        |
| Edifícios resistentes     | 8               | 12   | 15     |
| Edifícios sensíveis       | 6               | 9    | 12     |
| Edifícios muito sensíveis | 4               | 6    | 9      |



**Figura 3** - O diagrama representa os valores de velocidade de vibração admitidos, sugeridos pelo projeto de recomendação francês relativo às vibrações induzidas apenas da detonação em pedreiras. As curvas tracejadas representam o limite inferior, que, para as duas categorias de edifício, pode ser superado com uma probabilidade de 10% (Fonte: Bacci, 2000, modificado de Anon, 1991; in Borla, 1993).

Todos os coeficientes definidos anteriormente são extraídos de tabelas, as quais foram elaboradas a partir de trabalhos práticos.

Não estão previstos coeficientes específicos que levem em conta a frequência de vibração ou que considerem o tipo de fonte de vibração (irregular ou contínua). No entanto, os parâmetros  $F_d$  e  $F_l$  levam essas questões em considera-

ção, uma vez que a frequência principal é função da distância e da natureza do terreno, e a duração e repetitividade dos eventos dependem do tipo de explosivo utilizado, ou seja, a fonte de energia.

A Tabela 6 mostra a compilação dos limites recomendados, usados na Suécia para desmontes em rochas em áreas residenciais normais, definidas como aquelas que são ocupadas por casas com

fundação e vigas de concreto, paredes externas de tijolos com reboco ou concreto leve.

Para casas antigas, com fundações de baixa qualidade, o valor de  $V_p$  permitido é reduzido de 70mm/s para 50mm/s e, no caso de edifícios de concreto leve, o limite chega a 35mm/s. Muitos valores que ultrapassaram 110mm/s, nos estudos de definição dessa norma, foram re-

**Tabela 5** - Limites dos valores de vibração de partícula em mm/s (Fonte: Bacci (2000), adaptado de Esteves, 1994).

| <b>Tipo de solo</b>  |  |   |                                  |
|--|--|---|----------------------------------|
|  | Solos incoerentes<br>(areias inconsolidadas) | Solos de consistência muito dura, dura e média; solos compactos incoerentes | Solos de alta coerência e rochas |
| <b>Velocidade da onda</b>  | $C_p < 1000$ m/s                             | $1000 < C_p < 2000$ m/s   | $C_p > 2000$ m/s                 |
| <b>Tipos de construção</b>   | <b>Frequência (Hz)</b>                       |   |                                  |
|  | < 10   | 10 a 40   | > 40                             |
| Construções que requerem cuidados especiais (monumentos históricos, museus, prédios muito altos) | 3  | 5   | 10                               |
| Construções normais (habitações)   | 5  | 10  | 20                               |
| Construções reforçadas (prédios a prova de terremotos)   | 15   | 30  | 60                               |

**Tabela 6** - Valores-limites para  $V_p$  na componente vertical (mm/s), para danos em estruturas civis (Fonte: Bacci, 2000, adaptado de Langefors e Kihlstrom, 1963; in Persson et al., 1994).

| <b>Areia</b>    | <b>Ardósia</b>   | <b>Granito</b>             | <b>Possíveis danos observados em residências</b> |
|-----------------|------------------|----------------------------|--|
| <b>Cascalho</b> | <b>Calcários</b> | <b>Gnaisse</b>             |  |
| <b>Silte</b>    |                  | <b>Calcários duros</b>     |  |
|                 |                  | <b>Quartzitos arenosos</b> |  |
|                 |                  | <b>Diabásios</b>           |  |
| 18              | 35               | 70                         | Nenhum tipo de rachadura                         |
| 30              | 55               | 110                        | Rachaduras finas e queda de reboco               |
| 40              | 80               | 160                        | Rachaduras maiores                               |
| 60              | 115              | 230                        | Sérias rachaduras                                |

gistrados sem causar nenhum tipo de dano em construções com fundações sólidas. Construções de concreto armado, escavadas diretamente em rocha, puderam suportar valores de  $V_p$  acima de 150mm/s.

O valor-limite recomendado para áreas residenciais normais é de 50mm/s para frequências acima de 40 Hz.

## 8. Normas Inglesas

As normas britânicas mais relevantes são: BS 5228 (1997) - *Controle de Ruído e Vibração em Construções e Áreas a Céu Aberto*; BS 6472 (1992) - *Guia para Avaliação da Exposição Humana à Vibração em Edifícios*; BS 7385 (1990) - *Avaliação e Medições de Vibração em Edifícios*.

A norma BS 7385, Parte 1 (1990), discute as medições de vibração em edifícios em termos gerais, com maior atenção para a investigação de danos, dada na BS 7385, Parte 2 (1993), e para a percepção humana na BS 6472 (1992). Define quatro parâmetros que podem ser utilizados para definir a magnitude da vibração no terreno, sendo estes: deslocamento, velocidade e aceleração de partícula e frequência. O parâmetro mais utilizado em todas as normas e a velocidade máxima ( $V_p$ ), medida em três direções: longitudinal, vertical e transversal. Segundo essa norma, os registros são feitos fora da propriedade, no terreno imediatamente adjacente ao local da detonação. Se existirem reclamações, pode ser necessário monitorar a vibração dentro da propriedade no local onde os reclamantes considerarem os efeitos mais notáveis.

O limite de variação da frequência é de 5 a 40Hz, com níveis predominantes de 20 a 30Hz no caso de rochas mais duras e de 5 a 15Hz no caso de minerações de rochas com menor competência.

A norma BS 7385 (1993) define três tipos de danos em residências: danos cosméticos, danos menores e danos maiores ou estruturais. Esses valores são baseados em termos de  $V_p$  e frequência. Para danos cosméticos, os valores-guia são de 15mm/s a uma frequência de 4Hz,

aumentando para 20mm/s a 15Hz e 50mm/s para  $f > 40$ Hz. Danos menores são possíveis com magnitudes de vibração maiores que duas vezes aquelas dadas para os danos cosméticos; danos maiores, ou danos à estrutura, são possíveis quando os valores são maiores que quatro vezes os valores estipulados para danos cosméticos.

A Norma BS-5228 - Parte 4 (1992) recomenda que estruturas livres e flexíveis apresentem patamares-limites (acima dos quais ocorrerão danos) de 20mm/s para vibrações intermitentes e 10mm/s para vibrações contínuas, enquanto que as construções pesadas e rígidas apresentem patamares superiores a 30mm/s para vibrações intermitentes e 15mm/s para vibrações contínuas. Em baixas frequências (abaixo de 10Hz), grandes deslocamentos e deformações elevadas necessitam de valores de  $V_p$  mais baixos (50% menores), enquanto que em alta frequência (acima de 50Hz) deformações bem menores permitem que o limite de  $V_p$  aumente (100% maior).

Esses níveis de vibração referem-se ao valor máximo em um elemento de sustentação da estrutura, em nível do terreno ou das fundações que se propagam nas direções vertical, longitudinal e transversal. Um valor da componente vertical de  $V_p$  superior a 20mm/s, durante a cravação de estacas, por exemplo, pode ser tolerado (com muita cautela para rebocos antigos) em andares intermediários.

## Referências Bibliográficas

- A.F.T.E.S. GROUPE DE TRAVAIL. *Raccomandations concernant l'étude des effets sismiques de l'explosif*. Tunnels et Ouvrages Souterrains (2), p. 89-93, 1974.
- BACCI, D.C. *Vibrações geradas pelo uso de explosivos no desmonte de rochas: avaliação dos parâmetros físicos do terreno e dos efeitos ambientais*. Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 2000. v.1 (texto) e v.2 (anexos). (Tese de Doutorado).
- BERTA, G. *L'esplosivo strumento di lavoro*. Milano: ITALESPOSIVI, 1985. 488p.
- BOLRA, G. *Esame delle principali normative e raccomandazioni esistenti per il controllo delle vibrazioni provocate dal brillamento di esplosivi ed indotte da queste negli edifici*. GEAM - Geingegneria Ambientale e Mineraria.

- Associazione Mineraria Subalpina. Anno XXX, n°4, p.243-248, 1993.
- BRE - Building Research Establishment Digest. *Vibrations: building and human response*. n. 278, 1983. 7p.
- BS-7385 - Parte 1 - 1990. *Evaluation and measurement for vibration in buildings. Guide to measurement of vibrations and evaluation of their effects on buildings*. British Standard.
- BS-7385 - Parte 2 - 1993. *Evaluation and measurement for vibration in buildings. Guide to damage groundborne vibration*. British Standard
- BS-6472 - 1992. *Guide to evaluation of human exposure to vibration in buildings (1Hz to 80Hz)*. British Standard
- BS-5228 - Parte 4 - 1992. *Code of practice for noise and vibrations control applicable to piling operations*. British Standard.
- BS-5228 - Parte 5 - 1997. *Noise and vibrations control on constructions and open sites. Code of practice applicable to surface mineral extractions (except coal) sites*. British Standard.
- DEUTSCHE NORM (DIN 4150). *Structural vibration in buildings - effects on structures*. 1986.
- ESTEVEZ, J.M. *Project for updating the portuguese standard NP2074 (1983): Assessment of the influence of vibrations caused on buildings due to blasting or similar forces*. 1994.
- EXPLOSIVES 94 - CONFERENCE PROCEEDINGS - University of Leeds, U.K. - The Institute of Explosives Engineers. The European Federation of Explosives Engineers & The University of Leeds Department of Mining & Mineral Engineering. p. 27-30.
- FORNARO, M. *Vibrazioni dannose per le costruzioni in conseguenza dello sparo di mine: esame di quanto ammesso dalle norme e suggerito dall'esperienza*. Notiziario dell'Associazione Mineraria Subalpina Anno VI, n. 3-4, p. 18-28, 1980.
- LANGFORS, U., KIHLMSTROM. *The modern technique of rock blasting*. New York, and Almqvist & Wiksell, Stockholm: John Wiley & Sons Inc., 1963.
- PERSSON, P.A., HOLMBERG, R., LEE, J. *Rock blasting and explosives engineering*. International Society of Explosives Engineers. CRC Press, Inc. USA. 1994. 540 p.
- PIOVANO, G. *Criteri di previsione dei valori massimi tollerabili delle vibrazioni indotte dall'uso degli esplosivi*. Explosives and Blasting. N.1. Rivista della Sezione Italiana Esplosivi dell'Associazione Mineraria Subalpina. 1994. p. 19-22.
- PIOVANO, G., SORLINI, A. *Normative e raccomandazioni sulle vibrazioni: criteri di salvaguardia, tollerabilità degli edifici e delle persone, scelta dei parametri valutativi*. GEAM - Geingegneria Ambientale e Mineraria. Associazione Mineraria Subalpina. Anno XXX, n.4, p. 27-30, 1993.
- REIHER, H., MEISER, F.J. *Human annoyance of vibrations*. Forschung auf dem Gebiete des Ingenieurwesens, v. 2, n.11, 1931.
- UNI 9916. *Norma italiana - criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici*. 1991.

Artigo recebido em 06/11/2002 e  
aprovado em 15/02/2003.