

CONTROLO DE VIBRAÇÕES PROVOCADAS POR EXPLOSÕES*

Control of Vibrations Caused by Blasting

por

J. MOURA ESTEVES**

RESUMO – A exploração de grandes pedreiras origina frequentemente problemas de vibrações do terreno de fundação de construções, influenciando a sua estabilidade bem como o conforto dos seus habitantes.

O LNEC tem tido oportunidade de estudar este problema em diferentes situações em Portugal e em Moçambique, e apresenta-se neste trabalho o resultado desses estudos.

Com base na experiência obtida, preparou-se uma especificação para o controlo de níveis de vibrações provocadas por explosões.

SYNOPSIS – The exploitation of large quarries frequently raises the problem of the vibration levels of the ground and of their influence on the stability of constructions and on people's wellbeing.

LNEC has had the opportunity of studying this problem in different situations, both in Portugal and in Mozambique, and the results of those studies are presented in this paper.

On basis of the experience gained, a standard has been prepared for the control of vibration levels caused by blasts.

1 – INTRODUÇÃO

O desmante de rochas por meio de explosivos origina vibrações que podem ser causa de danos para as construções.

Neste trabalho são apresentados um critério e uma regra para o controlo dos níveis de vibração que atingem quer as construções edificadas à superfície do terreno quer as executadas no subsolo, como é o caso de centrais subterrâneas,

* Trabalho apresentado no III International Congress of Engineering Geology. Madrid. September 1978.

** Engenheiro Civil. Especialista em Geotecnia do LNEC.

construídas muitas vezes em simultaneidade com a escavação de rocha nas proximidades.

É de salientar a importância que o conhecimento da estrutura geológica tem no julgamento dos factores que influenciam quer a propagação das vibrações, desde o local de explosão até à construção, quer também as respostas do sistema terreno-construção.

Este controlo diz respeito apenas à segurança das construções, e na sua definição teve-se em conta a experiência do LNEC no domínio da Engenharia de Estruturas de Betão Armado e da Engenharia Sísmica. Os resultados aqui expressos fazem parte de uma norma portuguesa em fase de elaboração, no âmbito do IGPAE.

2 – GENERALIDADES E TÉCNICA DE MEDIÇÃO

Não existe ainda um consenso internacional sobre a forma e o modo de concretizar este controlo. No LNEC tem havido oportunidade de realizar experiências próprias e de comparar os resultados obtidos com os elementos divulgados quer nos USA quer na Europa, nomeadamente os do Bureau of Mines [1] e os da Suécia [2] e da Alemanha Federal [3].

Conforme é hoje corrente, a grandeza utilizada para caracterizar a vibração, qualquer que seja o transdutor utilizado nas medições, é a velocidade de vibração, medida na fundação do edifício ou construção e expressa pelo seu valor máximo (em m/s) durante a ocorrência da solicitação.

Os pontos de medição devem localizar-se na estrutura dessa fundação, no máximo a 0,5 metros acima do terreno no caso de edifícios e do lado mais próximo do local da explosão.

As medições deverão ser efectuadas com equipamento que compreenda um sistema transdutor triaxial, uma unidade de amplificação e um registador. A gama de frequência do equipamento deve estender-se, pelo menos, de 3 Hz a 60 Hz. As características de cada elemento do equipamento devem ser especificadas em cada utilização.

O transdutor deve ser fixado rigidamente à estrutura da fundação e deve instalar-se por forma que uma das direcções horizontais de medição coincida com a componente radial da vibração.

Deve obter-se um registo temporal das três componentes da vibração, determinando-se o valor máximo, \hat{V}_R , que a caracterizará, a partir da expressão (1):

$$\hat{V}_R = M_{\max} \sqrt{V_x^2(t) + V_y^2(t) + V_z^2(t)} \quad (1)$$

Contudo é de uso corrente empregar a expressão simplificada (2)

$$\hat{V}_R \leq V_R = \sqrt{\max V^2(t) + \max V_y^2(t) + \max V_z^2(t)} \quad (2)$$

visto que, sendo de aplicação mais simples, representa um valor superior quando muito igual ao calculado pela expressão (1).

3 – VALORES LIMITES

Calculado o valor da velocidade de vibração através da expressão (2) deverá o mesmo ser comparado com o valor limite, representado por V_L , estabelecido em função do tipo de terreno de fundação, do tipo de construção e da frequência das explosões de desmonte, sendo ele tal que não se espera ocorra fendilhação na construção.

Os valores limites são calculados a partir da expressão (3) seguinte:

$$V_L = \alpha \cdot \beta \cdot \gamma \cdot 10^{-2} \text{ (m/sec.)} \quad (3)$$

integrando o parâmetro α as características dinâmicas do terreno de fundação expressas em termos de velocidade de propagação de ondas elásticas, assumindo os valores indicados no Quadro I; o parâmetro β diz respeito ao tipo e características da construção e assume os valores indicados no Quadro II; o parâmetro γ que faz intervir o número médio diário de explosões e os fenómenos de fadiga assume os valores indicados no Quadro III.

Para situações especiais, por exemplo no caso de construções submersas, os valores limites determinados através da expressão (3) devem tomar-se apenas a título de orientação, recomendando-se a realização de estudos específicos.

QUADRO I
VALORES DO PARÂMETRO α

| | TERRENO | α |
|------|---|----------|
| TIPO | CARACTERÍSTICAS | |
| I | Rochas e solos coerentes rijos ($V_p > 2000$ m/s) | 2 |
| II | Solos coerentes muito duros, duros e de consistência média; solos incoerentes compactos: areias e misturas areia-seixo bem graduadas, areias uniformes. ($1000 < V_p < 2000$ m/s) | 1 |
| III | Solos incoerentes soltos: areias e misturas areia-seixo bem graduados, areias uniformes; solos coerentes moles e muito moles. ($V_p < 1000$ m/s) | 0,5 |

V_p – Velocidade de propagação de ondas elásticas longitudinais.

QUADRO II
VALORES DO PARÂMETRO β

| TIPO E CARACTERÍSTICAS | β |
|---|---------|
| Construções que exigem cuidados especiais (Ex.: monumentos históricos, hospitais, construções de grande altura) | 0,5 |
| Construções correntes | 1 |
| Construções reforçadas (Ex.: edifícios dimensionados para resistir a sismos) | 3 |

QUADRO III
VALOR DO PARÂMETRO γ

| | |
|----------------------------------|----------|
| Número médio diário de explosões | γ |
| 3 | 1 |
| > 3 | 0,7 |

4 – RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Dá-se conta dos resultados da observação de vibrações numa edificação especialmente construída na zona da pedreira para o novo porto de Sines (Portugal) e também dos resultados obtidos com ensaios dinâmicos sobre prismas de betão fresco realizados na barragem de Cahora Bassa (Moçambique), numa perspectiva de investigação destes fenómenos.

4.1 – *Pedreira de Sines*

A Fig. 1 mostra a casa que foi objecto de observação no respeitante a fissuração provocada por explosões de desmonte de rocha, à medida que ia progredindo a pedreira.

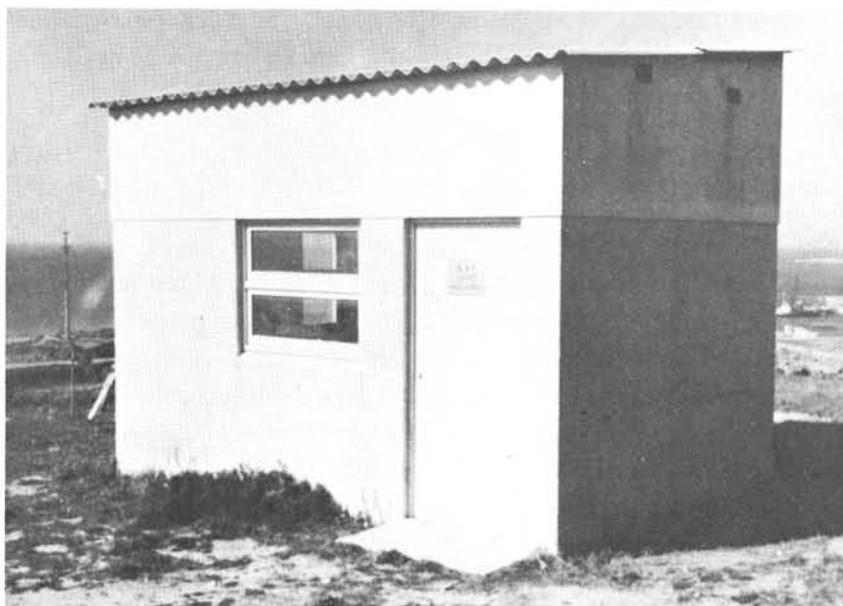


Fig. 1

Esta construção constava de uma estrutura de pilares e vigas de betão armado, formando quadros, com paredes constituídas por tijolos cerâmicos rebocados no exterior e no interior; em duas destas faces interiores aplicou-se um reboco ou estuque

de gesso, de acordo com a tecnologia actual de construção na região. As fundações, constituídas por sapadas de betão armado, foram implantadas a cerca de 1,50 m de profundidade no maciço de solo residual de gabro com cerca de 10 m de espessura sobre o maciço rochoso são. Este terreno de fundação evidenciou um valor de velocidade de propagação de ondas elásticas da ordem dos 1200 m/sec, enquanto no maciço rochoso são foram medidos valores de 5000 a 6000 m/sec.

Inicialmente a casa estava situada a cerca de 600 metros da frente da pedreira e esta foi avançando na sua direcção até a ultrapassar. A exploração da pedreira foi feita em 4 níveis com cerca de 10 metros de altura cada um fazendo-se rebentamentos quase sempre duas vezes por dia com cargas que alcançaram os 4000 quilos. As detonações foram porém micro-retardadas detonando-se cerca de 500 quilos por cada tempo.

O registo de vibrações foi obtido empregando diverso equipamento com medidores de amplitude de deslocamento e de velocidade de vibração das partículas, tendo porém sido utilizado com maior frequência o equipamento VIBRAPET da ABEM equipado com velocímetros. Dos numerosos registos obtidos interessa aqui salientar que as primeiras fendas se verificaram no estuque de gesso e apenas para níveis de vibração iguais ou superiores a 60 mm/sec.

4.2 – Barragem de Cahora-Bassa

A barragem de Cahora-Bassa situa-se no rio Zambeze em Moçambique e por motivos do vale ser muito apertado e de o rio transportar elevado caudal, localizou-se a central no interior do maciço rochoso da margem direita. Este maciço é constituído principalmente por rochas gnaissicas de elevada resistência. A abertura das cavernas para a construção da central e das chaminés de equilíbrio levou ao emprego de técnicas de desmonte a fogo que tiveram de ser programadas de forma a perturbar o menos possível as paredes das zonas já escavadas e a não danificar as estruturas de betão que iam sendo construídas. Estas estruturas é que obrigaram ao estabelecimento do nível de vibração de 110 mm/sec como limiar de segurança. Previamente houve que avaliar qual o nível de vibrações tolerado pelos betões ainda frescos. Para isso realizaram-se diversos ensaios sobre prismas de betão, com idênticas características do utilizado na central,* durante as

* Betões com 300 kg/m³ de cimento e agregado de gnaisse com velocidades de propagação de ondas elásticas da ordem dos 6000 m/sec.

primeiras horas de vida. Os ensaios foram realizados percutindo uma das extremidades dos prismas com uma massa que percorria comprimentos crescentes até que se observasse nas superfícies laterais qualquer fendilhação. Os prismas foram colocados sobre uma base de borracha, para minimizar as ligações exteriores, e a fendilhação era detectada à custa duma observação com lupa das superfícies previamente pintadas com aguada de cal. A Fig. 2 apresenta um esquema dos ensaios e a Fig. 3 os resultados obtidos.

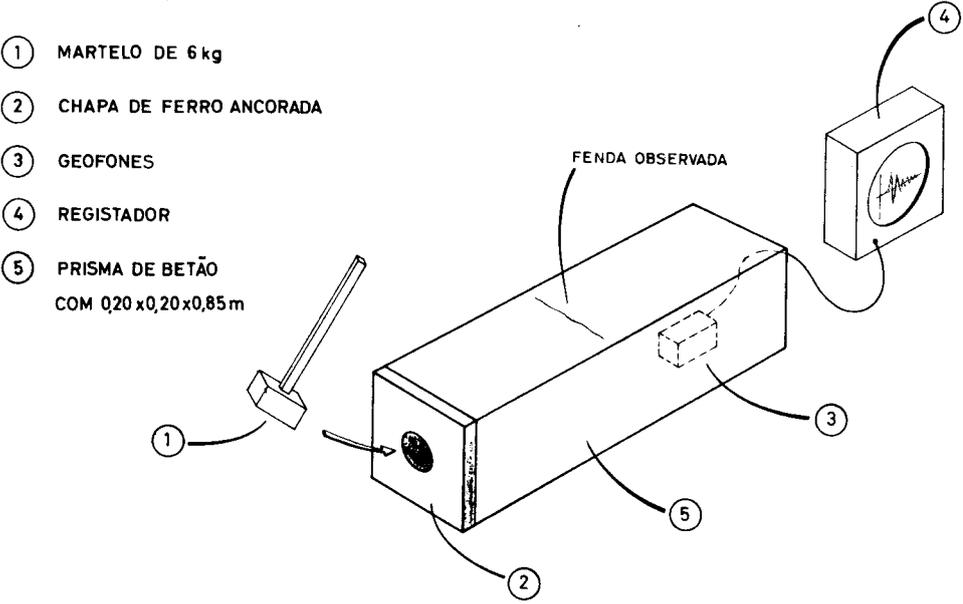


Fig. 2

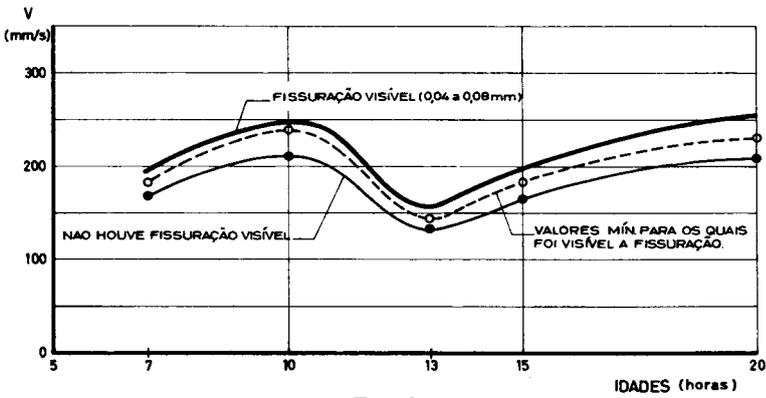


Fig. 3

Embora estes ensaios sejam considerados preliminares os seus resultados mostram que os betões frescos são mais sensíveis às vibrações entre as 11 e 16 horas de vida. Contudo o tipo de betão ensaiado mostrou-se bastante resistente, do ponto de vista de fendilhação às vibrações, evidenciando um factor de segurança da ordem de 2,5 relativamente ao valor limite máximo dado pela expressão (3).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - NICHOLLS, H. R.; JOHNSON, C. F. & DUVALL, W. I. - "Blasting Vibrations and Their Effects on Structures". U. S. Dept. of the Interior. Bureau of Mines. Bulletin 656, 1971.
- 2 - LANGEFORS, U. & KIHLSSTROM, B. - "The Modern Technique of Rock Blasting". Almqvist and Wiksell. Stockholm, 1967.
- 3 - DIN 4150. September. 1975.
- 4 - MOURA ESTEVES, J. - "Medição de vibrações originadas por explosões em Cahora-Bassa". Relatório LNEC, 54/53/391, 1973.
- 5 - Regulamento de Segurança e Solicitações de Estruturas de Edifícios e Pontes. Lisboa, 1976.