

ANÁLISE DE RISCOS INERENTES ÀS VIBRAÇÕES TRANSMITIDAS ÀS ESTRUTURAS

RISK ANALYSIS APPLIED TO VIBRATIONS TRANSMITTED TO CONSTRUCTIONS

Longo, Simone, *Centro de Geotecnia do Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal,*
simone.longo@ist.utl.pt

Dinis da Gama, Carlos, *Centro de Geotecnia do Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal,*
dgama@ist.utl.pt

RESUMO

A análise de risco é uma ferramenta, cada vez mais divulgada entre as empresas do sector da construção, que permite otimizar o projecto e as fases de realização de uma obra na medida em que fornece um controlo dos possíveis eventos adversos. Com a análise de risco pode-se perceber se é necessário aprofundar a pesquisa científica, melhorar a monitorização nas fases da construção, reduzir os custos e ter um conhecimento mais claro da parte responsável que tem que intervir, caso aconteça um evento imprevisto adverso. Neste artigo é realizada uma exposição do conceito de risco, do mais recente conceito de “relatório periódico de risco” e uma aplicação da análise de risco ao problema das vibrações. O caso de estudo reportado refere-se às vibrações transmitidas à Capela das Almas (Cidade do Porto) pelo uso de explosivo nas escavações subterrâneas da Estação do Metropolitano.

ABSTRACT

Risk analysis is an instrument more and more popular in small and large size construction firms that helps in project optimization and in many construction stages providing a control and reduction of the possible unfavorable events. With risk analysis, understanding if it's necessary to investigate more deeply on the ground properties and geometry, improving monitoring during construction and reducing costs are possible; also being able to understand which part involved in the construction is responsible if a unfavorable event happens. In this paper the concept of risk, the more recent concept of periodical risk register and an application of the risk analysis to the problems of vibrations is described. The real case of study refers to vibrations caused by the use of explosives during the excavations of a metro station and transmitted the historical church “Capela das Almas” in the city center of Porto (Portugal).

1. INTRODUÇÃO

O risco geotécnico, ou seja, a probabilidade de que se verifiquem danos a edifícios e pessoas devidos a problemas na interface estrutura-terreno é um conceito importante mas de difícil avaliação. Existem muitos perigos relacionados com o solo e subsolo e frequentemente os danos que estes perigos produzem, no caso de se tornarem reais, são muito relevantes. Em termos económicos, a insuficiente qualidade e aprofundamento do projecto, levam rapidamente a um aumento dos custos totais da obra de 5% e casos de 30-50% não são raros (Tyrrell, 1983; Mott MacDonald, 1994). Os resultados de uma pesquisa recente demonstra que os problemas relacionados com a falta de investigação no maciço ou solo (o inadequado planeamento ou realização dos ensaios de campo, juntamente com a diferença da geometria ou das propriedades

do maciço relativamente ao previsto no projecto) constituem 51% do total (Clayton C.R.I, 2001). Este facto é indicador da importância da investigação geotécnica na construção de obras.

Resulta como consequência que, para reduzir o risco geotécnico (e consequentemente os custos adicionais imprevistos) é necessário planejar da melhor forma possível a investigação do maciço, monitorizar as fases da escavação e da construção da obra e identificar os danos possíveis nas estruturas próximas.

Um das principais causas de danos para as estruturas são as vibrações transmitidas às fundações dos prédios mediante propagação no maciço. As fontes mais notáveis de vibrações (excluindo os sismos) são explosivos e equipamentos mecânicos pesados (como cravadores de estacas e perfuradoras) utilizados nas escavações. Também veículos do trânsito urbano quotidiano produzem vibrações que podem causar danos nas estruturas mais sensíveis. Saber distinguir as diferentes fontes de vibração geradas na construção de uma obra é fundamental, seja para controlar as emissões de vibrações, seja para identificar o responsável de eventuais danos a terceiros. Muitas vezes, durante as escavações, limita-se só a aplicação e observação da lei que tutela as estruturas contra os danos eventuais produzidos pelas vibrações. Em Portugal aplica-se a norma NP 2074 que consiste em medir vibrações induzidas nas fundações (ou elementos com essas solidários) dos prédios mais sensíveis e mais expostos.

A análise de risco estuda os diferentes perigos que podem tornar-se reais durante a execução de uma obra e indica como operar para minimizá-los, para otimizar investigação e monitorização e enfim para incrementar os contactos entre as diferentes partes que participam no projecto e na construção.

O caso real da Capela das Almas na cidade do Porto é um exemplo de aplicação de uma análise de risco que inclui o estudo das vibrações transmitidas às estruturas. Esse estudo encontra-se resumido neste artigo.

2. ANÁLISE DE RISCO, VULNERABILIDADE E PREVISÃO DE EVENTOS ADVERSOS

2.1. Conceito de risco e diferença entre análise de risco e perigo.

As definições de análise de risco que se podem encontrar nos textos e revistas especializadas são muito diferentes entre si; esta variabilidade deve-se principalmente ao facto dos conceitos de “risco” e de “análise de risco” terem evoluído consideravelmente nos últimos trinta anos. Exemplos de importantes passos que trouxeram alterações e melhorias à teoria do risco foram:

- A introdução da lógica fuzzy (Zadeh, 1978);
- A utilização da tecnologia informática (como, por exemplo, os sistemas de informação geográfica, que permitem executar operações e cálculos sobre grandes quantidades de dados e criar mapas de risco sobre as áreas de estudo);
- A teoria da monitorização contínua do risco e constituição de registos dos riscos, com emissões periódicas de relatórios do risco a todas as entidades que participam no projecto (da execução ao controlo da obra);

Uma distinção básica que é importante sublinhar é a diferença entre “hazard analysis” e “risk analysis” (Murck, Barbara W, 1996) que podem-se encontrar traduzidas com a mesma expressão “análise de risco” e que as vezes são erradamente considerados sinónimos. A melhor forma de traduzir estas expressões são “análise do perigo” e “análise de risco”, respectivamente.

Análise do perigo (*hazard analysis*), consiste nas seguintes actividades:

- Determinar quando ocorreram no passado eventos adversos do mesmo tipo e mesma dimensão daqueles que se querem prever, em relação a uma determinada área;
- Determinar a frequência prevista dos eventos (principalmente para eventos de origem natural);
- Determinar os efeitos físicos que tais eventos adversos podem criar no território em análise se acontecessem de imediato e sem nenhum tipo de preparação em relação ao mesmo;
- Criar um relatório mais claro possível sobre a probabilidade que os eventos analisados têm de realizar-se, as consequências físicas e os danos eventuais que podem criar às pessoas e às propriedades.

Análise de risco (*risk analysis*) consiste em:

- Calcular a probabilidade com que um determinado evento possa acontecer com uma determinada grandeza ou intensidade;
- Quantificar a exposição potencial das estruturas aos efeitos físicos do evento em análise;
- Analisar a relação entre a ocorrência do evento e a localização das estruturas potencialmente envolvidas, dos sistemas de emergência e dos trabalhadores;
- Quantificar a vulnerabilidade da comunidade ao evento e calcular o potencial impacto *económico e social* que o mesmo evento pode desencadear;

Uma definição de risco pode ser a seguinte (Clayton C.R.I, 2001): “*O risco é a combinação da probabilidade de ocorrência de um evento com as suas consequências físicas, económicas e sociais.*”

Estritamente relacionado com o risco está o conceito de **vulnerabilidade** de uma área, sendo o conjunto de factores que determinam a magnitude dos danos que um evento adverso pode criar se acontecer. Independentemente do facto de uma área ser perigosa em relação a um determinado evento adverso, a vulnerabilidade depende de muitos outros factores como, por exemplo, densidade de população, existência de sistemas de aviso imediato, qualidade e idade das construções presentes.

2.2. Previsão do evento ligada á monitorização dos eventos precursores

Prever a ocorrência de um evento geotécnico adverso (como por exemplo o assentamento excessivo de um edifício que se situa nas proximidades das escavações de uma obra, ou a abertura de fissuras nas paredes e pilares de um prédio devido a vibrações excessivas) é parte da análise de risco.

A qualidade da previsão depende sobretudo da monitorização (no local da obra e nas estruturas próximas) dos *eventos precursores* desse fenómeno.

A monitorização tem a dupla utilidade de:

1. Registrar, durante as fases duma obra, a magnitude dos níveis de vibrações, ruído e poluição ambiental (água e ar) previstas.
2. Permitir a identificação de situações imprevistas e, logo que apareçam eventos precursores, sugerir a rápida tomada de medidas minimizadoras.

Os *eventos precursores* são pequenas variações físicas que antecedem o fenómeno adverso (Murck Barbara W,1996). Nas estruturas civis sujeitas as vibrações intensas, por exemplo, um evento precursor pode ser a obtenção do “dano limiar” (ver Tabela 1) (UNI, 1991). A

monitorização é feita com instalação nos elementos solidários com as fundações, de sismógrafos. Não ter em consideração, neste caso particular, o aparecimento do dano limiar, pode levar ao aumento dos danos provenientes do evento principal.

A observação dos *eventos precursores* permite fazer uma previsão do tempo e da magnitude com a qual um fenómeno vai acontecer, se não são tomadas medidas imediatas e permite intervir para evitar a realização do evento adverso ou, se nessa altura já não for possível, reduzir a sua intensidade e os danos que pode criar (ver Tabela 1).

Tabela 1: Danos que podem afectar as estruturas sujeitas a vibrações (UNI, 1991).

<i>Tipo de Dano</i>	<i>Efeitos produzidos</i>
<i>Dano limiar</i>	Aparecimento de fissuras filiformes nas superfícies de paredes “a seco” ou aumento de comprimento de fissuras existentes; formação de fissuras filiformes nas junções das construções em tijolos e em betão;
<i>Dano menor</i>	Aparecimento de fissuras com abertura maior, destaque e queda de reboco das paredes; aparecimento de fissuras em blocos de tijolos ou nas paredes.
<i>Dano maior</i>	Danificação de elementos estruturais, fissuras nas colunas portantes; série de fissuras nas paredes

2.3. Relatório de risco como meio de gestão e de minimização do impacto de eventos adversos

Um relatório de risco consta de um documento que contém as informações sobre os perigos que existem na área envolvida nos trabalhos, as consequências contraproducentes que esses perigos podem originar e as medidas planeadas para minimizar o risco. Um relatório de risco típico pode ser pouco mais do que uma tabela que indica, de forma clara e simples, os aspectos anteriormente reportados, o grau de risco estimado por cada um dos perigos e qual das partes que participam na obra se responsabiliza pelas consequências do evento de risco. Trata-se de um documento emitido com periodicidade pela equipa que se ocupa da gestão do risco, dirigido a todas as entidades envolvidas na realização e execução da obra. É um ótimo instrumento de comunicação entre as partes, pois a equipa decide sobre a periodicidade de revisão do relatório de risco e respectiva entrega às partes envolvidas.

3. CLASSIFICAÇÃO DO RISCO COMO EXIGÊNCIA

Uma classificação do risco consiste em aplicar uma escala constituída por vários níveis de risco à área envolvida no projecto, dando origem assim a um mapa do risco.

Os níveis de risco devem ser estabelecidos em função da probabilidade de ocorrência e dos danos previsíveis (aplicando-se a áreas diversas de uma dada região) e só depois se elaboram mapas de risco dessa região.

A escala de risco é um intervalo numérico definido e fixado com base na análise de risco, intervindo o produto entre a probabilidade de ocorrência pela magnitude dos danos, sendo que estes últimos podem ser estimados em percentagem do valor real das estruturas. Na área envolvida na construção de uma estrutura e nas suas proximidades (como por exemplo os prédios que estão suficientemente próximos de uma escavação em ambiente urbano feita com

explosivo) é possível atribuir a cada ponto um valor compreendido na escala do risco, obtendo assim um mapa do risco de toda a área sobre a qual os eventos perigosos têm probabilidade de acontecer.

Uma classificação de risco (tal como um relatório de risco) deve ter as seguintes características:

- Fácil compreensão;
- Disponível a todas as partes que participam ao projecto e realização da obra;
- Em contínua evolução, baseando-se nos novos resultados que vêm das sondagens e da monitorização.

Para ser plenamente eficaz a classificação deve ser realizada logo nas primeiras fases do projecto, de forma de fornecer sugestões aos projectistas para o melhorar. A classificação do risco não termina com a fim do projecto: durante a monitorização dos riscos (que acompanha a obra até o fim da construção) a classificação do risco permite identificar as áreas onde se deve aumentar o controle por causa do risco ser maior e assim tal escolha da distribuição racional dos equipamentos da monitorização otimiza os custos.

As razões principais que levam realizar uma classificação de risco são:

1. *Minimização dos riscos.* Uma classificação dos riscos permite executar os trabalhos em maior segurança porque estão reconhecidas as áreas mais vulneráveis e sensíveis. Nestas áreas pode-se então proceder mais cuidadosamente nos trabalhos de escavação e construção. Obtém-se mais segurança, seja para os habitantes que moram nas proximidades da obra, seja para os trabalhadores.
2. *Provável redução dos custos da obra,* pelos seguintes motivos:
 - Optimização do uso dos equipamentos para a monitorização;
 - Redução do risco de eventos perigosos que, como já referido, criam frequentemente um elevado aumento dos custos totais da obra.
3. *Provável redução dos tempos de realização.* Uma das consequências mais comuns de um acidente ou de um dano sobre pessoas ou coisas externas á obra é o bloqueio dos trabalhos e o aumento das tarefas. O prolongamento do tempo necessário para acabar a realização da obra é dificilmente recuperável e traduz-se em aumento dos custos. Reduzir a probabilidade de ocorrência de eventos negativos diminui proporcionalmente a probabilidade de prolongar de forma imprevista os tempos de realização.

4. APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE RISCO Á CAPELA DAS ALMAS

A construção do Metropolitano do Porto envolve o centro da cidade com duas linhas distintas que se cruzam e inclui 11 estações enterradas. Os túneis das duas linhas foram realizados com duas tuneladoras, sendo parte das estações executadas com escavação a céu aberto, parte com escavação subterrânea. O centro da cidade é rico de prédios que têm valor histórico e cultural, aos quais foi dada grande importância do ponto de vista da protecção durante as fases de escavação das estações e dos túneis.

Neste capítulo reporta-se uma aplicação da análise de risco que inclui o aspecto das vibrações produzidas pelo uso de explosivo, transmitidas no maciço, que atingem as fundações das estruturas. Foi escolhido como objecto de estudo a Capela das Almas, uma antiga Igreja no centro da cidade, muito próxima ás escavações da Estação Bolhão. Na Figura 1 estão

evidenciadas a Capela, um esquema da Estação do metro e o túnel. As obras do metro passaram muito perto da Igreja, com a profundidade mínima entre a estação e a Igreja e cerca de 12 metros e as escavações passaram ligeiramente por baixo da Capela. Devido a essa proximidade, a Capela foi alvo de particular atenção por parte das diferentes entidades que participaram na obra e pelas autoridades. Foram instalados sistemas de controlo e monitorização mesmo no início das obras: na Capela foram colocados instrumentos numa 1ª fase para a passagem da tuneladora; numa 2ª fase, durante as escavações da Estação Bolhão, esses instrumentos foram complementados com outros, entre os quais prismas ópticos, 2 “crackmeters” para instrumentar fendas, e 1 sismógrafo. Todos os instrumentos foram ligados à instrumentação automática da estação. Como prevenção da Capela das Almas, foram colocadas uma protecção exterior com uma tela colada (para evitar queda de antigos azulejos que revestem por inteiro as paredes) e interiormente, uma estrutura em madeira. Para todos os edifícios na envolvente da obra (túneis e estações) foi feito o levantamento patrimonial e uma análise BRA (Build Risk Assessment).

Podem-se indicar as fases do estudo prático que levou a obter uma classificação de risco:

4.1. Análise da documentação disponível

O primeiro passo foi analisar os dados disponíveis em relação à Capela das Almas e ao maciço envolvente a área da estação do metro; desta forma não só foi possível perceber quais os problemas que poderiam aparecer, mas também escolher como realizar uma eficaz monitorização. No Tabela 2 é resumido o tipo e número de ensaios feitos na área: parte dos ensaios foram realizados pelas NORMETRO e TRANSMETRO e disponibilizados ao CEGEO; parte foram realizados directamente pelo Centro de Geotecnia com fim de incrementar as informações sobre os volumes mais caóticos do maciço.

Tabela 2 – Ensaios de campo e de laboratório realizados na área do Bolhão.

<i>Ensaio</i>	<i>N.º</i>	<i>Notas</i>
Sondagem destrutiva	1	NORMETRO/TRANSMETRO
Pressiométrico	16	NORMETRO/TRANSMETRO
Sondagens à rotação	18	NORMETRO/TRANSMETRO
Dilatométrico	18	NORMETRO/TRANSMETRO
Lugeon	38	NORMETRO/TRANSMETRO
Compressão uniaxial	185	NORMETRO/TRANSMETRO
Carga pontual	273	CEGEO
Registo de vibrações	179	CEGEO+OUTROS

Foram analisadas também plantas e cortes geológicos existentes da zona em estudo; as sondagens realizadas permitiram obter uma representação da geologia e das características do maciço, ficando claro que existem volumes de rochas interessadas da escavação muito perturbados e caóticos. Os volumes mais complexos encontram-se principalmente de baixo da área do cruzamento da Rua S. Catarina com a Rua Fernandes Tomás onde há uma alternância de material mais compacto com rocha alterada que não respeita as camadas próximas que se encontram às mesmas profundidades. No total, nessa área, o maciço resulta mais alterado e fraco do que nas áreas circundantes (considerada uma profundidade até 35m).

Foi analisada também a presença de água: no que respeita à profundidade do nível freático, o desenvolvimento da superfície piezométrica evidencia um nível freático com superfície livre, que segue, em linhas gerais, o perfil topográfico, embora com variações locais devidas à fracturação e à alteração do maciço.

Já a partir desta primeira fase foram realizadas vistorias na Capela e nos outros prédios antigos e tentou-se ver quais os mais sensíveis e mais expostos.

4.2. Situação de referência

Foi realizada pelo CEGEO a medição das vibrações produzidas pelo trânsito urbano de veículos junto dos edifícios mais sensíveis e mais próximos da obra. Depois de ter medido as vibrações, foi realizado um tratamento dos dados com o fim de obter uma classificação da exposição as vibrações ambientais das estruturas monitorizadas. A classificação toma em consideração a quantidade de solicitações e intensidade das vibrações (velocidade de pico máxima); descreve as características das fontes (tipo de veículo que produz as vibrações, se pesado ou ligeiro, sua distância da estrutura e sua velocidade). À classificação é associado um mapa de exposição onde estão indicados os edifícios monitorizados e as respectivas classes de exposição. Na Figura 1 são representados os pontos onde foram medidas vibrações com sismógrafos de precisão e as respectivas classes de vibração.

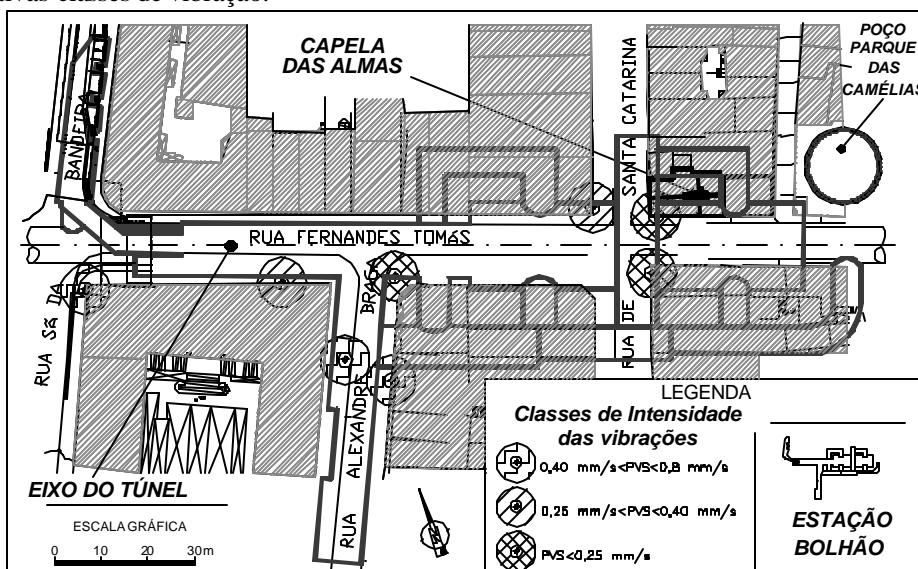


Figura 1 –Representação da situação de referência, com os prédios mais sensíveis e mais expostos monitorizados. Estão também evidenciadas a Capela, um esquema da Estação metro, o túnel e o poço.

4.3. Realização de medições de vibrações devidas às operações de escavação

Foi realizada uma campanha de ensaios com uso de explosivo no poço do Parque das Camélias e foram monitorizadas as vibrações transmitidas no maciço às estruturas com particular cuidado na monitorização da Capela das Almas. Foram escolhidas para o posicionamento dos sismógrafos, algumas das estruturas monitorizadas na situação de referência e também outras, mais adequadas pelo tipo de ensaio em realização.

4.4. Tratamento dos dados e monitorização

As informações dos registos realizados com cargas testes de explosivo são tratados juntamente com as informações relativas ao maciço com o fim de obter uma ou mais leis de propagação das ondas no meio rochoso. O tratamento desses dados originou um primeiro relatório com a

descrição dos ensaios, os resultados das medições realizadas com os sismógrafos, uma primeira lei de propagação das ondas, ainda não definitiva e as recomendações a adoptar. Aconselhou-se a continuar a monitorização durante as detonações e providenciar que os registos de vibrações não ultrapassassem o valor de 7 mm/s.

Com a interpretação dos registos das cargas testes não acabou a análise das vibrações: os sismógrafos instalados, seja na Capela seja no interior de outros prédios vulneráveis, permitiram registar as vibrações devidas às detonações durante todo o período das escavações. Os registos foram analisados de maneira de obter um melhor conhecimento das características do maciço.

Depois de retirados os registos pouco representativos, analisada a geomorfologia e as variações de velocidade vibratória medida nos sismógrafos com o avançar da escavação, chegou-se à conclusão que não era possível obter uma única lei de propagação das ondas no maciço que representasse todo o volume envolvente a Estação Bolhão. A primeira lei obtida, ainda provisória, não foi confirmada pelos registos obtidos nos volumes de maciço mais a Oeste do maciço do poço. Na Figura 2 são representados os volumes de rocha atravessados pelas ondas que chegam ao geofone posicionado na Capela das Almas, sendo evidente que nas primeiras fases das escavações da caverna as camadas encontradas pelas ondas durante o trajecto são em número de 6, menor do que nas fases das escavações sucessivas, onde as ondas cruzam 8 camadas, e maior que nas últimas fases onde se encontram apenas 4 camadas de rocha. Existindo grandes diferenças entre os volumes indicados com I, II e III, chegou-se á conclusão que deveria ser obtida uma lei de propagação das ondas por cada um desses volumes. As equações procuradas são do tipo:

$$v = a \times Q^b \times D^c \quad (1)$$

em que v é a velocidade vibratória resultante (mm/s), Q o peso máximo de explosivo detonado por retardo (kg) e D a distância entre o ponto de desmonte e o local de registo das vibrações (m). Para o volume I não foi possível obter uma equação coerente; para os restantes volumes II e III conseguiram-se respectivamente as leis de propagação (2) e (3):

$$v = 9141 \times Q^{0.313} \times D^{-2.467} \quad (2)$$

$$v = 5482 \times Q^{0.202} \times D^{-1.54} \quad (3)$$

Os coeficientes de correlação das equações (2) e (3) são, respectivamente, 80% e 94% .

As leis são representadas pela sua equação ou em forma gráfica. Nota-se que na forma gráfica (Figura 3) é simples obter um valor de carga máxima depois de ter introduzida a distância do ponto da detonação até à estrutura que é necessário proteger e o valor da velocidade máxima que não se deve ultrapassar. Na mesma figura são visíveis, em cada diagrama, três áreas de risco, delimitadas das curvas com velocidade de vibração constante (risco alto com $v > 10$ mm/s, risco baixo com $v < 5$ mm/s).

As equações obtidas são representativas de volumes de maciço rochoso muito alterado e heterogéneo. Uma parte notável dos registos analisados tiveram que ser eliminados porque eram pouco representativos ou não interpretáveis. As leis, por essa razão, devem ser consideradas como indicadoras e podem-se considerar susceptíveis de alterações melhoradoras. A definição das classes de risco com base nos valores reportados nos gráficos contém três classes de risco: trata-se de um classificação de risco baseada nas leis obtidas e prudente por causa da sensibilidade da estrutura em causa. Também essa classificação, como as leis, pode ser

melhoradas e alterada com base em mais registos e mais informações sobre o maciço e a estrutura e não se pode considerar definitiva.

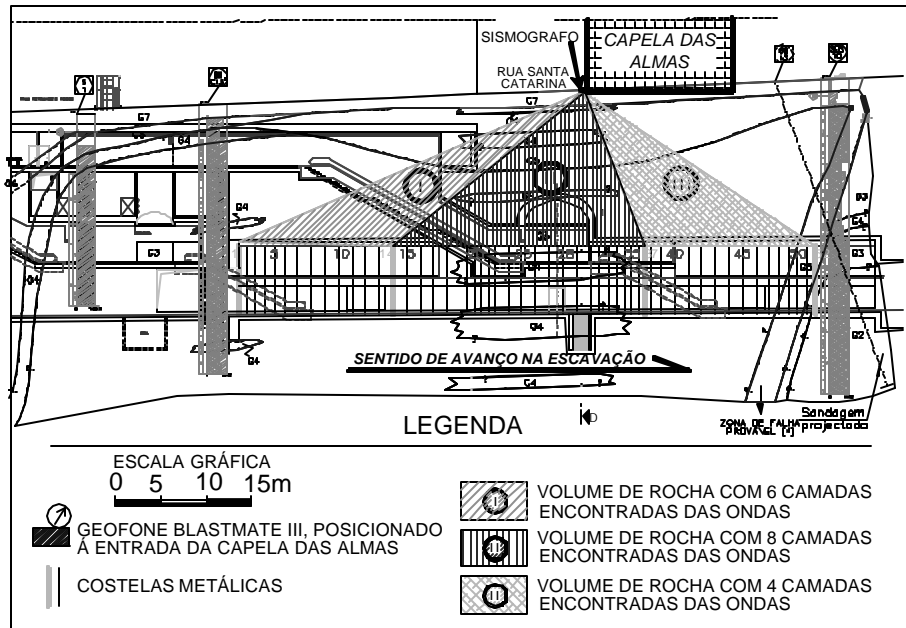


Figura 2 – Corte vertical com a representação dos volumes de rocha envolvidos no cálculo das duas leis de propagação.

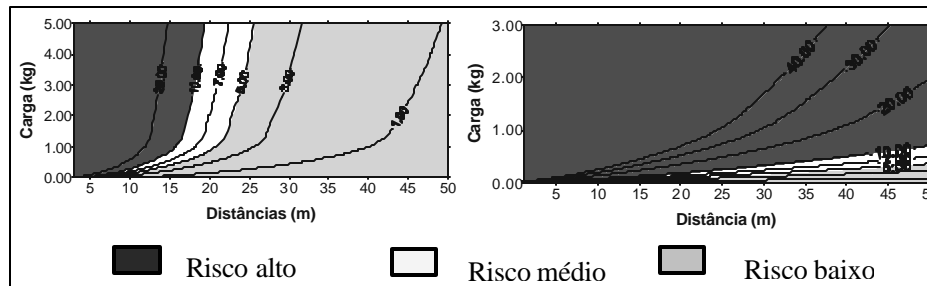


Figura 3 – Variação da velocidade vibratória com cargas e distâncias nos volumes tipo II e tipo III;

5. CONCLUSÕES

A análise de risco é uma ferramenta muito eficaz para identificar e calcular a dimensão dos efeitos de tipo físico, económico e social que os eventos imprevistos produzem durante as fases de construção de uma obra. Essa ferramenta funciona sobretudo se é criada por uma equipa constituída a partir das primeiras fases do projecto de uma obra, e exigindo colaboração e comunicação entre todas as partes (dono da obra, projectista, empreiteiro e fiscalização).

Para determinar a probabilidade dos danos que as vibrações transmitidas às estruturas podem criar, deve ser formulada uma classificação em mapas e em relatórios de risco, e com base nas informações nela contidas conhecer os níveis de vibrações que é admissível gerar durante a escavação sem criar danos às estruturas nos edifícios próximos. Outra vantagem de uma análise de risco é que permite distinguir as vibrações geradas durante a construção da obra de outras fontes de vibração sendo mais simples assim identificar os responsáveis por eventuais danos.

A aplicação da análise de risco às vibrações transmitidas a estruturas ainda não é comum: muitas vezes limita-se à aplicação da lei de propagação sobre a influência das vibrações

provocadas por explosões e não se desenvolve um estudo orientado para optimização dos trabalhos de escavação em função da prevenção de riscos. Planear a situação de referência, realizar ensaios de campo, testes com explosivo e tratar os dados obtidos a fim de obter a lei de propagação reduz grandemente a probabilidade de ocorrência de eventos adversos e danos às estruturas.

È necessário sublinhar que existem importantes diferenças entre uma análise de risco realizada sobre grandes áreas (como por exemplo uma análise de risco que envolve o comprimento inteiro de um túnel metropolitano) e um estudo como o apresentado neste artigo, que é aplicado a uma única estrutura: algumas das fases típicas de uma análise de risco não são neste caso necessárias. O uso de um SIG, por exemplo, pode ser omitido e apenas um mapa de risco pode-se apresentar, caso seja necessário pormenorizar os diferentes graus de risco nas diversas partes de um prédio.

Entre os possíveis desenvolvimentos da análise de risco inerente as vibrações transmitidas às estruturas, parece digna de interesse a sua aplicação a mais estruturas para obter um mapa de risco de áreas maiores; outro desenvolvimento que pode ter interesse é um estudo que utilize mais informações sobre um único prédio de forma de obter uma representação tridimensional da estrutura com indicação dos vários níveis de risco correspondentes a diferentes elementos da estrutura.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da FCT (Fundação para a Ciência e a Tecnologia) e do CEGEO (Centro de Geotecnia do Instituto Superior Técnico). Agradecem também a disponibilidade mostrada pelo Dr. António Gaspar (TRANSMETRO) e pelo METRO DO PORTO por ter facultado os dados, esclarecimentos e informações necessárias.

BIBLIOGRAFIA

- Tyrell, A. P., Lake, L.M., Parsons, A. W., 1983. "An Investigation of the Extra Costs Arising on Highway Contrats". Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne.
- Mott MacDonald and Soil Mechanics Ltd, 1994."Study of the Efficiency of Site Investigation Practices." Project Report 60, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne.
- Clayton, C.R.I, 2001. "Managing Geotechnical Risk – Improving Productivity in UK Building and Construction".
- Ingegneria Online S.r.l. - Servizi Integrati di Ingegneria, 2002, Sistemi a Logica fuzzy
- Murck, Barbara W, Skinner, Brian J, Porter, Stephen C, 1996. "Environmental Geology".
- Carloni, G. C., 1998." Geologia applicata all'ingegneria per l'ambiente e il territorio", Pitagora Bologna, Italy.
- Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 1991. "UNI 9916 - Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici".
- Dinis da Gama, Carlos, 2002. "A minimização de conflitos emergentes da construção de Túneis" Curso-Debate Sobre Túneis em Portugal, Fundec, IST.
- CEGEO "Critério de escavabilidade de Franklin, Relatório técnicos de escavação emitidos pelo Centro de Geotecnia, IST, Lisboa".
- NORMETRO e TRANSMETRO, 2002, "Memória Descritiva - Estação do Bolhão - Modelo Geológico e Geotécnico."
- CEGEO, 2001-2003, Relatórios Técnicos e Situações de Referência das Estações do Metropolitano do Porto.