

GEORISK – RISCOS GEOLÓGICOS, PATRIMÓNIO E SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

GEORISK – GEOLOGICAL RISKS, HERITAGE AND GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS

Sousa, Mónica, *Câmara Municipal do Porto, Porto, Portugal*¹

Moura, Rui, *Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto, Portugal, rmmoura@fc.up.pt*

Fernandes, Isabel, *Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto, Portugal, ifernand@fc.up.pt*

Cunha, Marta, *Câmara Municipal do Porto, Porto, Portugal, martacunha@cm-porto.pt*

Afonso, Daniel, *Porto, Portugal, dbbafonso@gmail.com*

Paulo, José, *Câmara Municipal do Porto, Porto, Portugal, josepaulo@cm-porto.pt*

Azevedo, Fernando Pádua, *Instituto de Gestão do Património Arquitectónico e Arqueológico, Porto, Portugal, fazevedo@ippar.pt*

Carvalho, Armanda, *Câmara Municipal do Porto, Porto, Portugal, armandacarvalho@cm-porto.pt*

Noronha, Fernando, *Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto, Portugal, fmnoronh@fc.up.pt*

Borges, Luísa, *Câmara Municipal do Porto, Porto, Portugal, luisaborges@cm-porto.pt*

RESUMO

O subprojecto GEORISK teve como objectivo constituir uma base de trabalho para a definição das ferramentas de suporte à implementação de medidas de gestão, prevenção, protecção e intervenção pelos organismos, técnicos e decisores de instituições ligadas ao património cultural e ao ordenamento do território em caso de catástrofes naturais. O trabalho desenvolvido no município do Porto englobou a investigação de registos de danos causados por sismos, deslizamentos de terreno e quedas de blocos na Zona Histórica do Porto. No âmbito da avaliação do risco geológico (sísmico e de instabilidade de taludes) foram determinados a Perigosidade Geológica, a Vulnerabilidade do Património e o Risco.

ABSTRACT

The GEORISK sub-project aims to be a work base to the definition of tools to support the implementation of management, prevention, protection and intervention measures by the entities, technicians and decision makers of the organizations related to culture heritage and land management in case of natural catastrophes. The work developed in the municipality of Porto gathers an historical survey of the damages caused by earthquakes, landslides and rock fall in the Historical Zone of Porto. In the scope of geological risk evaluation (seismic and slope instability) it was determined the geological hazard, the heritage vulnerability and the risk.

1. INTRODUÇÃO

A preocupação crescente a nível da preservação do património face aos riscos naturais motivou o surgimento da Operação Quadro Regional (OQR) “NOÉ – Património e Prevenção de Riscos

¹ Instituição actual: *Centro de Geologia da Universidade do Porto, monica.sousa@fc.up.pt*

Naturais” no âmbito da Iniciativa Comunitária INTERREG III C. A OQR NOÉ, liderada pela região *Provence-Alpes-Côte d’Azur* (PACA, França) envolveu a região Norte Portugal (CCDR-N), as regiões Molise e Sicília (Itália) e a região Atica de Leste (Grécia) e visou o desenvolvimento de acções preventivas de salvaguarda do património cultural face aos riscos naturais.

Nesse sentido, pretendia-se efectuar a avaliação das práticas existentes através de uma estratégia de cooperação inter-regional entre os parceiros NOÉ e desenvolver acções concretas no terreno englobando estratégias de prevenção, de alerta e de intervenção adaptadas ao património, sensibilização e responsabilização dos agentes locais e decisores, implementação de experiências transregionais, desenvolvimento de novas tecnologias, cooperação euromediterrânica e apoio às operações inovadoras.

É neste quadro que surge o subprojecto (SP) GEORISK, que juntou numa cooperação inter-regional a Câmara Municipal do Porto (CMP), o *Bureau de Recherches Géologiques et Minières* (BRGM), o Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (DGFCUP) e o Instituto Português do Património Arquitectónico (IPPAR), agora denominado Instituto de Gestão do Património Arquitectónico e Arqueológico (IGESPAR).

2. OBJECTIVOS

Para a execução deste SP foram definidas quatro linhas principais de actuação: (i) Conhecer os métodos de avaliação da perigosidade geológica em França e em Portugal e fomentar a troca de experiências; (ii) Identificar as especificidades a nível da gestão do património face aos riscos geológicos; (iii) Definir as acções pertinentes a desenvolver junto dos decisores locais e regionais; e (iv) Elaborar a “Carta de Riscos Geológicos da Zona Histórica do Porto (ZHP)”, no sentido de definir um conjunto de medidas de gestão, prevenção, protecção e intervenção que possam ser generalizadas a outros casos similares e de forma a preservar o património existente e delinear posteriormente um projecto de recuperação sustentável.

3. RECOLHA DE ELEMENTOS HISTÓRICOS

No âmbito desta acção foi realizada uma pesquisa histórica dos registos de danos provocados por catástrofes naturais de natureza geológica, no edificado da ZHP. Foram definidos três tipos de eventos a investigar: sismos, deslizamentos de terrenos e quedas de blocos.

Numa primeira fase foi efectuado um levantamento das fontes que indirectamente pudessem fazer referência aos tipos de ocorrências a investigar. Assim, consultaram-se algumas obras nos arquivos municipais e universitários. Através da consulta dos dados de sismicidade histórica publicados pelo Instituto Geofísico do infante D. Luís da Universidade de Lisboa (Martins e Victor 2001) e os dados de pluviosidade fornecidos pelo Instituto Geofísico da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (IG-FCUP), foi feito o levantamento das datas mais favoráveis para a ocorrência dos três tipos de eventos, já referidos. A pesquisa prosseguiu com o trabalho de investigação documental nos seguintes arquivos e instituições: Instituto dos Arquivos Nacionais da Torre do Tombo; Arquivo Histórico da CMP; Biblioteca Pública Municipal do Porto; Arquivo Distrital do Porto; Arquivo Geral da CMP; Divisão Municipal de Salubridade e Segurança da CMP; Batalhão de Sapadores Bombeiros; Administração dos Portos do Douro e Leixões; Gabinete de Arqueologia Urbana da CMP; Relatórios e estudos geológico-geotécnicos da CMP e do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) e livro *Portugal Antigo e Moderno* (Leal A. 1876).

Foram encontrados registos de 5 eventos sísmicos que provocaram danos no edificado da ZHP. Esses eventos sísmicos dizem respeito aos terremotos de 01 de Novembro de 1755, 31 de Março de 1761, 21 de Outubro de 1880, 28 de Fevereiro de 1969 e 26 de Maio de 1975. As descrições dos danos causados pelos sismos referidos referem-se a quedas e alteração da posição de elementos existentes em edifícios e monumentos, ruína total ou parcial de edifícios, capelas, igrejas e muros, queda de pedras de fachadas de edifícios e aberturas de fendas em algumas casas da cidade.

No que diz respeito a deslizamentos de terreno e quedas de blocos foram encontrados registos de eventos desde finais do século XVIII até Setembro de 2006. Para a pesquisa das ocorrências foi feito um apuramento prévio dos dados de pluviosidade fornecidos pelo IG-FCUP, através do qual foi possível conhecer as datas correspondentes a dias de maior pluviosidade, nos quais, haveria a probabilidade de se registarem este tipo de eventos. Assim, as descrições dos danos causados por estes eventos referem-se a ruína total ou parcial de edifícios, monumentos e muros, destruição de automóveis, fendas em edifícios e cedências, abatimentos e aluimentos de pavimentos, linha de caminho de ferro e passeios. Verificou-se, igualmente, que alguns destes eventos provocaram mortos e feridos.

No sentido de disponibilizar cartograficamente a informação recolhida foi elaborada a “Carta de Ocorrências”, à escala 1: 5 000 (Figura 1). A cada número de ocorrência localizada na carta, corresponde uma informação alfanumérica numa base de dados, respeitante ao tipo de ocorrência, à sua localização temporal e geográfica e à descrição dos próprios danos.



Figura 1 – Carta de Ocorrências

4. CARTA DE RISCO GEOLÓGICO DA ZONA HISTÓRICA DO PORTO

4.1. Elaboração de cartografia de perigosidade geológica

4.1.1. Carta de perigosidade sísmica

A “Carta de Perigosidade Sísmica” teve por base um conjunto de informações previamente disponíveis sob a forma de cartografia geotécnica, elementos topográficos e algumas medições efectuadas sobre as várias formações geotécnicas. A Carta Geotécnica do Porto (2003) foi actualizada recorrendo a novos elementos entretanto compilados e também recorrendo a algumas observações de campo. Após estas correcções as formações foram traduzidas em termos do módulo de deformabilidade empregando a fórmula:

$$G_0 = V_s * \rho \quad (1)$$

Na fórmula V_s corresponde à velocidade de propagação das ondas S (ondas de corte ou transversais) e ρ corresponde à densidade. Os valores de velocidade de ondas de corte (V_s) foram obtidos a partir de dados de sísmica de refração empregando para tal geofones horizontais. No entanto alguns valores foram já obtidos através de análise de ondas dispersivas em dados colhidos para o efeito. Os valores foram agrupados em classes de deformabilidade as quais estão expressas na escala resultando na carta patente na figura 2. Esta propriedade governa a resposta do local quando solicitado a uma acção sísmica constituindo um dos factores mais influentes de amplificação e contribuindo assim para o chamado efeito de sítio.

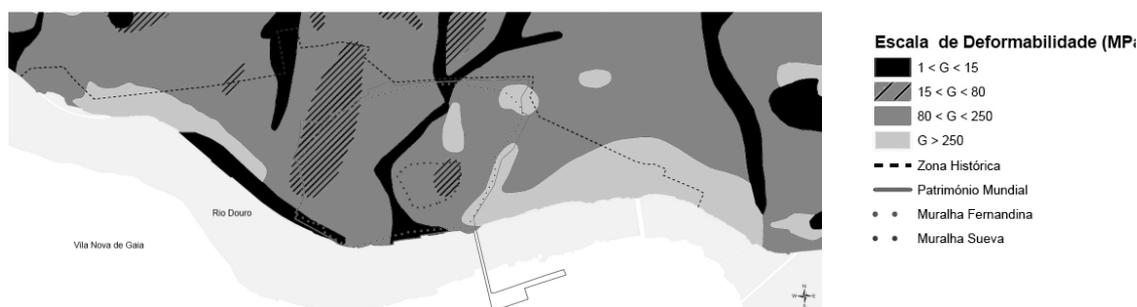


Figura 2 – Carta de módulo de deformabilidade dinâmica expressa em MPa

A partir da carta anterior é possível estimar a intensidade sísmica na escala de Mercalli empregando a fórmula (Marçot e Arnal, 2004):

$$\text{Incr.} = [3.3\log(0.8 \cdot S_n) + 7] - [3.3\log(0.8) + 7] \quad (2)$$

Esta fórmula expressa os incrementos de intensidade sísmica em função do tipo de formação (S_n) (Tabela 1) e em função de um valor de base de aceleração ($0,8 \text{ m.s}^{-2}$) obtido a partir da nova zonografia sísmica patente no Eurocódigo 8 para Portugal e correspondente a um evento com período de retorno de 475 anos. A intensidade sísmica de base para a zona do Porto (6 na escala de Mercalli) sofreu assim um refinamento em função do efeito de sítio e resultou na carta patente na Figura 3.

Tabela 1 – Efeito de sítio devido ao tipo de solo

Tipo	Factor	Tipo de solo
S0	1,0	Granito são a ligeiramente alterado
S1	1,2	Granito alterado
S2	1,4	Solo residual granítico
S3	1,6	Aluvião
S4	1,7	Aterros recentes

A partir da carta da figura 2 é também possível estimar a aceleração sísmica recorrendo à fórmula (Marçot e Arnal 2004):

$$\text{Accel} = S_n \cdot 80 \text{ cm.s}^{-2} \quad (3)$$

As formações da carta patente na figura 2 foram classificadas de acordo com a tabela 1. Após este cálculo resultou a carta patente na figura 4.

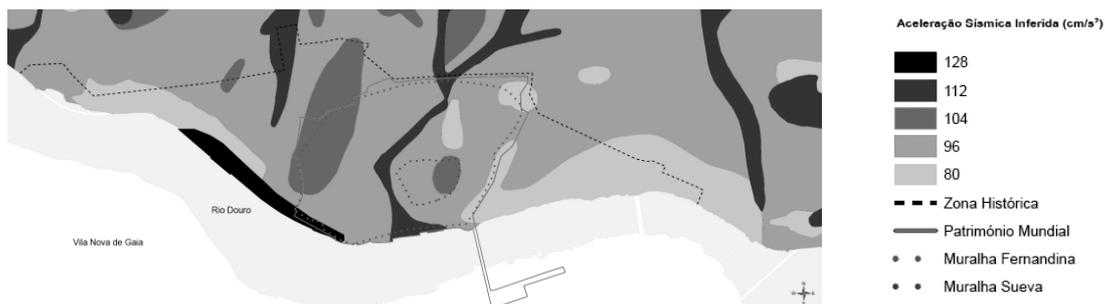


Figura 4 – Carta de aceleração sísmica inferida e expressa em cm.s^{-2}

Por outro lado, os efeitos que poderão reflectir em termos da acção de um sismo, não contemplam os efeitos induzidos dependentes de outros factores, nomeadamente, o factor topográfico e o da presença de intervenção antrópica sob a forma de taludes de escavação.

Sendo assim houve necessidade de integrar elementos característicos da morfologia do Porto os quais são particularmente influentes em termos de efeitos secundários da acção de um sismo ou os por vezes denominados efeitos induzidos. Um dos factores que consideramos foi o declive do terreno o qual foi agrupado em quatro classes distribuídas uniformemente de 0° a superior a 45° , cujos factores vão respectivamente de 1,0 a 1,6. A cada uma destas classes correspondem factores multiplicativos que incrementarão ou não os efeitos à resposta sísmica e a qual é dependente, essencialmente, do tipo de solo.

Seguidamente foram compilados os taludes de natureza antrópica para os quais foi considerado um factor de agravamento de 20% ou seja foram classificados com um factor multiplicativo de 1,2 e com uma zona de *buffer* de 7,5m em torno do talude correspondente a uma área de influência de danos do talude acidentado. Verificou-se na prática que o efeito de cristas, ou algumas elevações topográficas, provocam também um efeito de amplificação da energia sísmica. Essa transição topográfica, no Porto, corresponde a uma cota média de 50m. Desta forma foi desenhado um *buffer* gradual, centralizado na curva de nível dos 50m que exhibe factores que vão de 0 a 0,4 mas os quais são agora aditivos.

As operações anteriormente descritas permitiram obter a “Carta de Perigosidade Sísmica” com efeitos directos e induzidos (Figura 5).

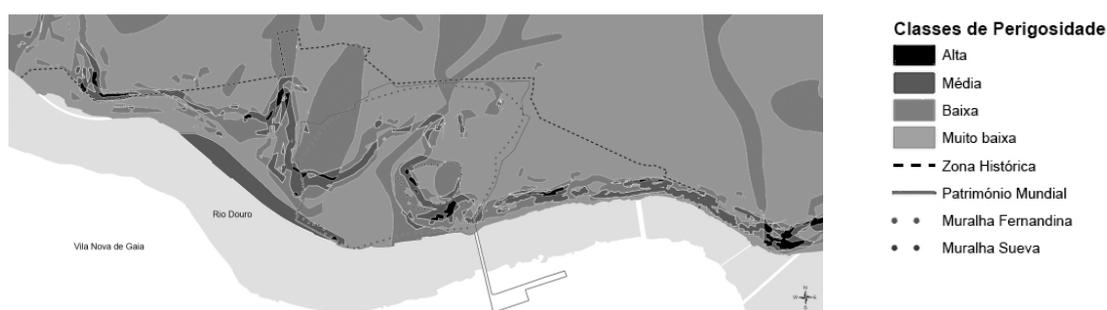


Figura 5 – Carta de Perigosidade Sísmica

4.1.2. Carta de perigosidade de instabilidade de taludes

A análise de instabilidade potencial dos taludes rochosos foi realizada segundo o “Teste de Markland”, considerando as hipóteses possíveis de deslizamento de massas ou queda de blocos: (i) Deslizamento planar; (ii) Deslizamento em cunha, resultante da intersecção de duas famílias de diaclases; (iii) Queda de blocos por *toppling*.

Atendendo a que algumas das famílias de diaclases apresentam uma pequena abertura e mostram, por vezes, indícios de circulação de água, foi considerado um valor para o ângulo de atrito de 30°.

Os resultados desta análise foram combinados com os dados sobre a altura dos taludes, dado que alguns destes taludes, em especial junto ao rio Douro, apresentam altura da ordem da dezena de metros. Assim, foi considerada perigosidade alta para os taludes altos (cerca de 30 m), nos quais o “Teste de Markland” indicava probabilidade de rotura em cunha ou planar, baixa a média, para os taludes altos (cerca de 30 m) em que a análise realizada indicava a probabilidade de queda de blocos por *toppling* e para taludes baixos ou médios (cerca de 10 m), nos quais o “Teste de Markland” indicava rotura em cunha ou planar, e nula a baixa para os taludes de altura inferior a 10 m ou com ausência de movimentos (Figura 6).



Figura 6 – Carta de Perigosidade de Instabilidade de Taludes

4.2. Caracterização do edificado com valor patrimonial

4.2.1. Pesquisa de Informação

O trabalho realizado foi composto por dois tipos de acções: preenchimento da ficha de campo e documentação fotográfica das construções.

A informação recolhida através da ficha de campo é composta por dados quantitativos e qualitativos sobre os edifícios, cujo levantamento foi efectuado por observação directa do exterior das construções. O levantamento fotográfico incluiu, como elemento mínimo, uma fotografia de frente do edifício, e como elementos documentais, fotografias parcelares de pormenores ou anomalias construtivas. A estreiteza de alguns arruamentos dificultou a obtenção de boas imagens.

A diversidade das épocas construtivas presentes no tecido edificado da ZHP, obrigou ao necessário conhecimento histórico sobre o seu desenvolvimento urbano e construtivo, no sentido de se perceber a disposição das diversas camadas temporais nos arruamentos e construções.

4.2.2. Análise e Tratamento da Informação

A “Carta da Cidade do Porto” (1996) não engloba dados cadastrais da propriedade dos prédios urbanos. Esta característica, dificultadora da delimitação dos lotes e das construções em carta, proporcionou a criação do conceito de “Unidade Estrutural” (UE).

A UE é independente do cadastro e das peças arquitectónicas mas com elas relacionável e estabelece o elemento de composição estrutural resistente, caracterizável na sua debilidade

estrutural, influenciável e influenciador pelas suas características físicas da sua envolvente vizinha. AUE permite a elasticidade necessária no cruzamento de dados, face à riqueza da informação contida no tecido construído da ZHP.

A “Unidade Comportamental” (UC) é o conjunto das UE que pela sua proximidade e características de influência mútua, actuam como um elemento de comportamento solidário passível de previsão e é independente do conceito de quarteirão. Estas unidades estão reflectidas em carta e em tabelas ligadas entre si pelos códigos criados.

4.2.3. Percepção do Grau de Vulnerabilidade

O conjunto de variáveis associadas à estabilidade, quer da construção enquanto unidade, quer do conjunto no qual a construção está integrada, agregadas à avaliação das patologias inerentes quer dos materiais, quer dos processos construtivos, não facilita a atribuição quantitativa de um grau de vulnerabilidade. Acresce o facto de que estes conjuntos habitacionais estruturalmente descontínuos, construídos com materiais (não compósitos) (“recicláveis”), “moldáveis” são mais vulneráveis à alteração/ adaptação (mesmo estrutural) o que implica, também, que a atribuição do grau de vulnerabilidade poderá ter que ser permanentemente avaliado.

No caso em estudo está-se perante um sistema construtivo que se adapta em função das características sócio-económicas dos seus ocupantes e, conseqüentemente, perante um friso da história da evolução tecnológica na indústria da construção e da ocupação do centro urbano com todas as incompatibilidades daí decorrentes. Perante esta indeterminação introduziu-se o conceito de percepção do Grau de Vulnerabilidade que não assentou totalmente na discricionariedade técnica ou, no limite, numa avaliação comparativa sustentada na observação.

Procurou-se reduzir o intervalo de discricionariedade com: (i) a identificação das unidades estruturais elementares; (ii) o estabelecimento de formas de relacionamento espacial e análise de volumes; (iii) a determinação dos processos construtivos através da provável datação dos elementos arquitectónicos base; (iv) a atribuição a cada unidade estrutural de um grau de alteração face aos elementos visíveis e (v) a definição do grau de conservação/ degradação em função das características observáveis.

Os dados obtidos foram agregados numa tabela de vulnerabilidade segundo três classes – Baixa (0% < >30%), Média (30% < >60%) e Alta (60% < >100%) – considerando-se que 100% corresponde à incapacidade da construção exercer qualquer função. Assim, resultou a “Carta de Vulnerabilidade” representada na Figura 7.



Figura 7 – Carta de Vulnerabilidade

4.3. Elaboração da carta de risco sísmico

A cartografia de risco incidu sobre o risco sísmico. Devido à limitação do estudo da caracterização do edificado com valor patrimonial à zona classificada como Património Mundial da Unesco, foi apenas, possível efectuar a determinação do risco para a área referida. A matriz de risco foi aferida com base no cruzamento da perigosidade sísmica e da vulnerabilidade do edificado com valor patrimonial, resultando na “Carta de Risco Sísmico” (Figura 8).

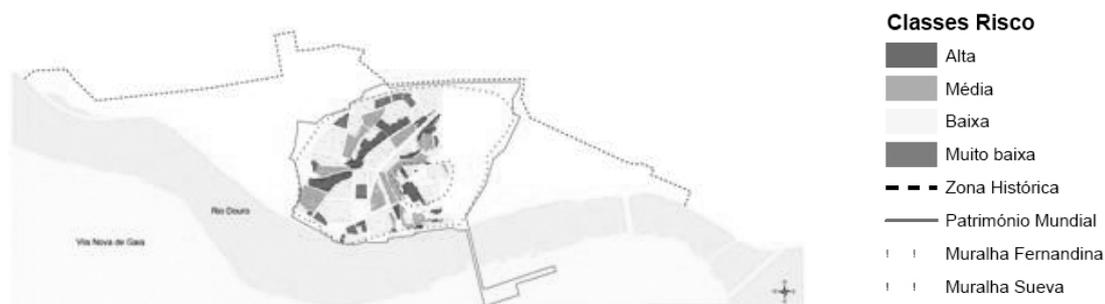


Figura 8 – Carta de Risco Sísmico

5. CONCLUSÕES

Pretende-se que a “Carta de Riscos Geológicos da ZHP” constitua um instrumento de trabalho, quer para as equipas técnicas das instituições participantes, quer para os responsáveis pelo património e para a protecção civil, tendo como objectivo repensar as suas políticas e as suas práticas, no sentido de programar e avaliar os planos de segurança e de emergência, repensados e adaptados, quando necessário, para uma melhor gestão de risco, e minimizando os seus efeitos, quer sobre a população, quer sobre o património.

REFERÊNCIAS

- Câmara Municipal do Porto (1996) Levantamento aerofotogramétrico da Cidade do Porto. Carta da Cidade do Porto.
- Carta Geotécnica do Porto, escala 1:10 000, 2003. Câmara Municipal do Porto.
- COBA/ FCUP/ CMP (2003) – Carta Geotécnica do Porto. Notícia explicativa.
- Eurocódigo 8, Disposição para o projecto de estruturas sismo-resistentes, em preparação
- Leal, A. (1876) Portugal Antigo e Moderno. Lisboa: Livraria Editora de Mattos Moreira & Companhia.
- Martins, I. e Victor, L. A. Mendes (2001) Contribuição para o estudo da sismicidade da região *Oeste da Península Ibérica*. Lisboa: Universidade de Lisboa, Instituto Geofísico do Infante D.Luís, nº25.
- Marçot, N. e Arnal, C. (2004) – Méthodologie de réalisation d’un scénario de séisme sur la ville de Mulhouse (68). Rapport BRGM RP52760