



**P**  
**ARA DESENVOLVER**  
**A TERRA**  
MEMÓRIAS E NOTÍCIAS  
DE GEOCIÊNCIAS  
NO ESPAÇO LUSÓFONO

Quinta-Ferreira, M., Barata, M. T.,  
Lopes, F. C., Andrade, A. I.,  
Henriques, M. H., Pena dos Reis, R.  
& Ivo Alves, E.

Coordenação

ZONAMENTO GEOTÉCNICO DE UM TERRENO COM  
ESTRUTURAS ARQUEOLÓGICAS NO MOSTEIRO DE LORVÃO,  
PENACOVA, PORTUGAL

GEOTECHNICAL ZONING OF A TERRAIN CONTAINING  
ARCHAEOLOGICAL STRUCTURES AT THE LORVÃO MONASTERY,  
PENACOVA, PORTUGAL

M. Quinta-Ferreira<sup>1,2</sup>, J. Henriques<sup>2</sup>, J. Velho<sup>3</sup> & M. A. Oliveira<sup>2</sup>

**Resumo** – Apresenta-se a metodologia utilizada no zonamento geotécnico de um terreno adjacente aos Claustros do Mosteiro de Lorvão, Penacova, Portugal, com vista à caracterização da fundação para a construção de um passadiço metálico sobre as estruturas arqueológicas. No local encontram-se essencialmente solos residuais e aterros sobre rocha xistenta com alteração variável e estruturas arqueológicas dispersas. Efetuou-se o reconhecimento geológico das superfícies escavadas por entre as antigas estruturas de alvenaria, antes enterradas, foram executados ensaios não destrutivos com os equipamentos GeoGauge e densímetro nuclear, tendo também sido utilizada a classificação geomecânica “Rock Mass Rating – RMR” de Bieniawski. Foram definidas três zonas geotécnicas: xisto alterado, correspondente ao firme rochoso de melhor qualidade (ZG1); xisto decomposto (ZG2); e solos/aterros (ZG3). Recomenda-se a execução das fundações na ZG1 e excepcionalmente na ZG2.

**Palavras-chave** – Zonamento geotécnico; Xistos; GeoGauge; Gamadensímetro; Classificação geomecânica RMR.

*Abstract* – The work presents the methodology used in the geotechnical zoning of a terrain close to the Cloisters of the Lorvão Monastery, Penacova, Portugal, in order to characterize the foundations for the construction of a metal catwalk over the archaeological

---

<sup>1</sup> Departamento de Ciências da Terra e Centro de Geociências da Universidade de Coimbra, Largo Marquês de Pombal, 3000-272 Coimbra, Portugal; mqf@uct.uc.pt

<sup>2</sup> Instituto Pedro Nunes, IPNlabgeo, Rua Pedro Nunes, 3030-199 Coimbra, Portugal; jp.quintela@gmail.com; maoliveira@ipn.pt

<sup>3</sup> Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, Campus de Santiago, 3810-193 Aveiro, Portugal; javelho@ua.pt

structures. The *in situ* materials mainly consist of residual soils and fills over bedrock schist with a wide range of weathering. A geological reconnaissance of the exposed ground surface, after the excavation through the buried structures, was made. Tests with the GeoGauge and the nuclear moisture-density gauge, together with the Bieniawski geomechanical classification “Rock Mass Rating - RMR” were used. Three geotechnical zones were defined: weathered schist, corresponding to the best rock quality material (ZG1); decomposed schist (ZG2), and soil/landfill (ZG3). The foundations are recommended to be done on ZG1 and exceptionally on ZG2.

**Keywords** – Geotechnical zoning; Schist; GeoGauge; Nuclear Gauge; Geomechanical classification RMR.

## 1 – Introdução

O presente estudo teve como principal objetivo a identificação e caracterização das condições geológicas e geotécnicas do terreno exposto após as escavações efetuadas no pátio adjacente aos claustros do Mosteiro do Lorvão em Penacova, Portugal, em que se pretendia projetar e construir um passadiço metálico sobre as estruturas arqueológicas encontradas nas escavações. Procurou-se efetuar uma avaliação das características dos terrenos com vista a definição da sua capacidade de suporte como terreno de fundação. Procurou-se uma abordagem tanto quanto possível não destrutiva, nem invasiva dos terrenos, face às características arqueológicas do local. A zona estudada é assinalada na Figura 1, utilizando uma vista de satélite retirada do Google Earth.

O Mosteiro do Lorvão situa-se a cerca de 16 km de Coimbra e 7 km de Penacova, sendo atribuída a sua possível fundação durante o século VI, ou com mais certezas ao século IX após a reconquista cristã de Coimbra, em 878. Depois de uma fase inicial na posse dos monges eremitas de Santo Agostinho, o mosteiro adotou, em meados do século XI, a Regra Beneditina, que se manteve até 1200, quando passou para a Ordem de Cister. O Mosteiro foi sofrendo diversas remodelações ao longo dos tempos, tendo a atual igreja sido remodelada entre 1748 e 1761. O claustro renascentista está rodeado por 13 capelas datadas do século XVII (IGESPAR, 2012).



Fig. 1 - Localização do terreno estudado, situado a oeste do claustro do Mosteiro do Lorvão, Penacova, Portugal (modificado sobre imagem de satélite do GOOGLE EARTH, 2012).

## 2 – Metodologia de trabalho

Tendo em vista os objetivos a concretizar foram executados os seguintes trabalhos:

- a) reconhecimento geológico do local e da zona envolvente e estudo geológico da superfície do terreno exposto pelas escavações arqueológicas;
- b) leituras com os equipamentos GeoGauge (SSG - Soil Stiffness Gauge) e densímetro nuclear (nuclear moisture-density gauge ) na superfície do terreno exposto após as escavações arqueológicas, seguindo uma malha de ensaios pré definida;
- c) interpretação da informação obtida, recorrendo à delimitação de zonas geotécnicas;
- d) apresentação das condicionantes geológicas e geotécnicas para a execução das fundações do passadiço metálico.

Os trabalhos foram realizados de acordo com um programa de trabalhos pré-estabelecido e acordado com o projetista do passadiço metálico, a construir sobre as ruínas arqueológicas QUINTA-FERREIRA & HENRIQUES (2011).

## 3 – Enquadramento geológico

De acordo com a Carta Geológica de Portugal, na escala 1:500 000 (Fig.2), o substrato rochoso na área em estudo é constituído por xistos pertencentes ao Complexo Xisto-Grauváquico, Super Grupo do Douro-Beiras, de idade câmbrica/pré-câmbrica média, constituídos por turbiditos da Formação de Perais ( $C_{BP}$ ).

## 4 – Trabalhos de reconhecimento e de caracterização

Para se entender o quadro geológico local e as suas condicionantes para a execução da obra pretendida, face às estruturas arqueológicas existentes, constituídas essencialmente por muros em alvenaria de pedra e pelas capelas enterradas encostadas ao claustro, houve que efetuar alguns ajustamentos no plano de trabalhos. Uma das principais condicionantes foi a difícil acessibilidade às várias zonas de escavação, devido à compartimentação do terreno resultante das paredes de alvenaria postas a descoberto pelas escavações arqueológicas (Figura 3). Esta situação impedia a utilização de equipamentos pesados ou volumosos, não sendo também adequada a realização de ensaios destrutivos que pudessem danificar ou destruir vestígios arqueológicos importantes, quer expostos quer enterrados.

Nas superfícies expostas foi observada a distribuição dos materiais geológicos, quer na soleira deixada pelas escavações, quer nos muros e suas bases. A análise teve como objetivo determinar a distribuição dos materiais, com vista ao zonamento dos terrenos tendo em conta as suas características geotécnicas. Com este mesmo objetivo foram também realizados 23 pontos de leitura, em locais escolhidos considerados representati-

vos, utilizando quer o GeoGauge quer o densímetro nuclear (Figura 3). Enquanto com o Geogauge se obteve a rigidez, que foi convertida no módulo de Young (QUINTA FERREIRA et al., 2008), com o densímetro nuclear foi determinado o peso volúmico seco e o teor em água dos materiais.

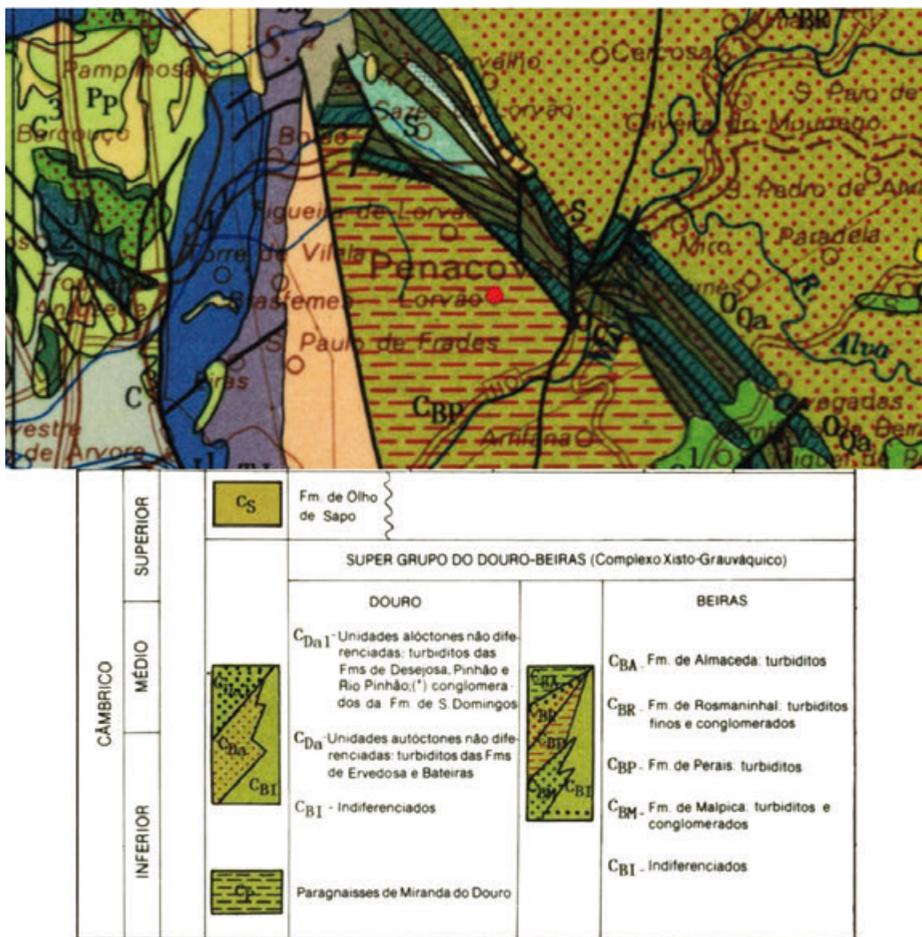


Fig. 2 - Enquadramento geológico da zona em estudo em extrato da Carta Geológica de Portugal, escala 1:500 000 (OLIVEIRA et al., 1992). ● Localização do Lorzão.

Procurou-se em particular avaliar os locais com características consideradas mais adequadas para a execução das fundações do passadiço metálico que se encontrava em fase de projeto, evitando os locais que pudessem apresentar maiores problemas, essencialmente constituídos por solos de aterros ou por xisto decomposto. Procurou-se também identificar os locais em que os muros assentavam em solos, e que ficaram expostos pelas escavações arqueológicas, de modo a avaliar os riscos de estabilidade desses muros.



Fig. 3 – Aspetto geral da zona estudada, sendo evidente a forte compartimentação do terreno resultante da escavação entre os muros, e execução de uma leitura com o GeoGauge.

### 5 – Classificação geomecânica de Bieniawsky (RMR)

Para a área em questão, constituída por xisto argiloso de cor castanha, aplicou-se a classificação geomecânica “*Rock Mass Rating – RMR*” proposta por BIENIAWSKI (1989).

Na análise efetuada foram estimados os parâmetros: resistência à compressão uniaxial da rocha intacta; condição das discontinuidades; influência da água. Por uma questão de segurança foram consideradas as situações mais desfavoráveis, nomeadamente as condições saturadas. A orientação das discontinuidades foi medida nos afloramentos xistosos.

Nas Tabelas 1 e 2 apresentam-se os parâmetros considerados no cálculo do RMR. Os resultados permitem antecipar as características a considerar para os terrenos e taludes que na generalidade são verticais ou subverticais. Na tabela 1 apresentam-se os cálculos para os xistos alterados e na Tabela 2 para os xistos decompostos, de modo a possibilitar a obtenção das características a considerar no projeto das fundações.

Com base nos resultados obtidos com a aplicação da Classificação RMR de Bieniawski, quer o xisto decomposto quer o xisto alterado são classificados na classe IV (Tabelas 1 e 2), que corresponde a maciços rochosos de qualidade fraca, a que podemos associar os parâmetros geotécnicos apresentados no final das tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Aplicação do RMR para os xistos alterados, com propriedades de uma rocha pouco resistente.

| RMR em condições saturadas                                      | Valor        | Peso |
|-----------------------------------------------------------------|--------------|------|
| Resistência da rocha intacta (MPa)                              | 5-25         | 2    |
| RQD (%)                                                         | < 25         | 3    |
| Espaçamento das descontinuidades (m)                            | < 0,06       | 5    |
| Condições das descontinuidades:                                 |              |      |
| Comprimento (m)                                                 | 3-10         | 2    |
| Abertura (mm)                                                   | 0,1-1,0      | 4    |
| Rugosidade                                                      | aplanadas    | 1    |
| Enchimento (mm)                                                 | brando < 5mm | 2    |
| Alteração                                                       | alterado     | 3    |
| Água no terreno                                                 | molhado      | 7    |
| Ajustamento da orientação das descontinuidades (para fundações) | razoável     | -2   |
| RMR=                                                            |              | 27   |
| Conclusões da aplicação do RMR nos xistos alterados:            |              |      |
| - Maciço de classe IV. Rocha fraca.                             |              |      |
| - Coesão da rocha 100 kPa a 200 kPa                             |              |      |
| - Ângulo de atrito do maciço 15° a 25°                          |              |      |
| - Instalar o suporte quando da escavação                        |              |      |

Tabela 2 - Aplicação do RMR para os xistos decompostos, com propriedades de uma rocha branda.

| RMR em condições saturadas                                       | Valor        | Peso |
|------------------------------------------------------------------|--------------|------|
| Resistência da rocha intacta (MPa)                               | 1-5          | 1    |
| RQD (%)                                                          | < 25         | 3    |
| Espaçamento das descontinuidades (m)                             | < 0,06       | 5    |
| Condições das descontinuidades:                                  |              |      |
| Comprimento (m)                                                  | 3-10         | 2    |
| Abertura (mm)                                                    | 0,1-1,0      | 4    |
| Rugosidade                                                       | aplanadas    | 1    |
| Enchimento (mm)                                                  | brando < 5mm | 2    |
| Alteração                                                        | decomposto   | 0    |
| Água no terreno                                                  | molhado      | 8    |
| Ajustamento da orientação das descontinuidades (para fundações)  | razoável     | -2   |
| RMR=                                                             |              | 23   |
| Conclusões da aplicação do RMR aos xistos decompostos ( $W_r$ ): |              |      |
| - Maciço de classe IV. Rocha fraca.                              |              |      |
| - Coesão da rocha 100 kPa a 200 kPa.                             |              |      |
| - Ângulo de atrito do maciço 15° a 25°                           |              |      |
| - Instalar o suporte quando da escavação                         |              |      |

## 6 – Interpretação dos resultados - zonamento geotécnico

Com base na cartografia geotécnica e nos resultados dos ensaios não destrutivos realizados no local, foi possível interpretar a distribuição e características dos terrenos presentes, com vista à realização do projeto de recuperação dos claustros do Mosteiro de Lorvão, definindo o seu zonamento geotécnico, tendo sido consideradas três zonas (Fig. 4).

### ZG1) zona geotécnica de xisto alterado

A zona geotécnica 1 compreende o xisto muito compartimentado, de cor variável, em geral acastanhada ou amarelada acinzentada, sendo a zona que apresenta melhores características como terreno de fundação.

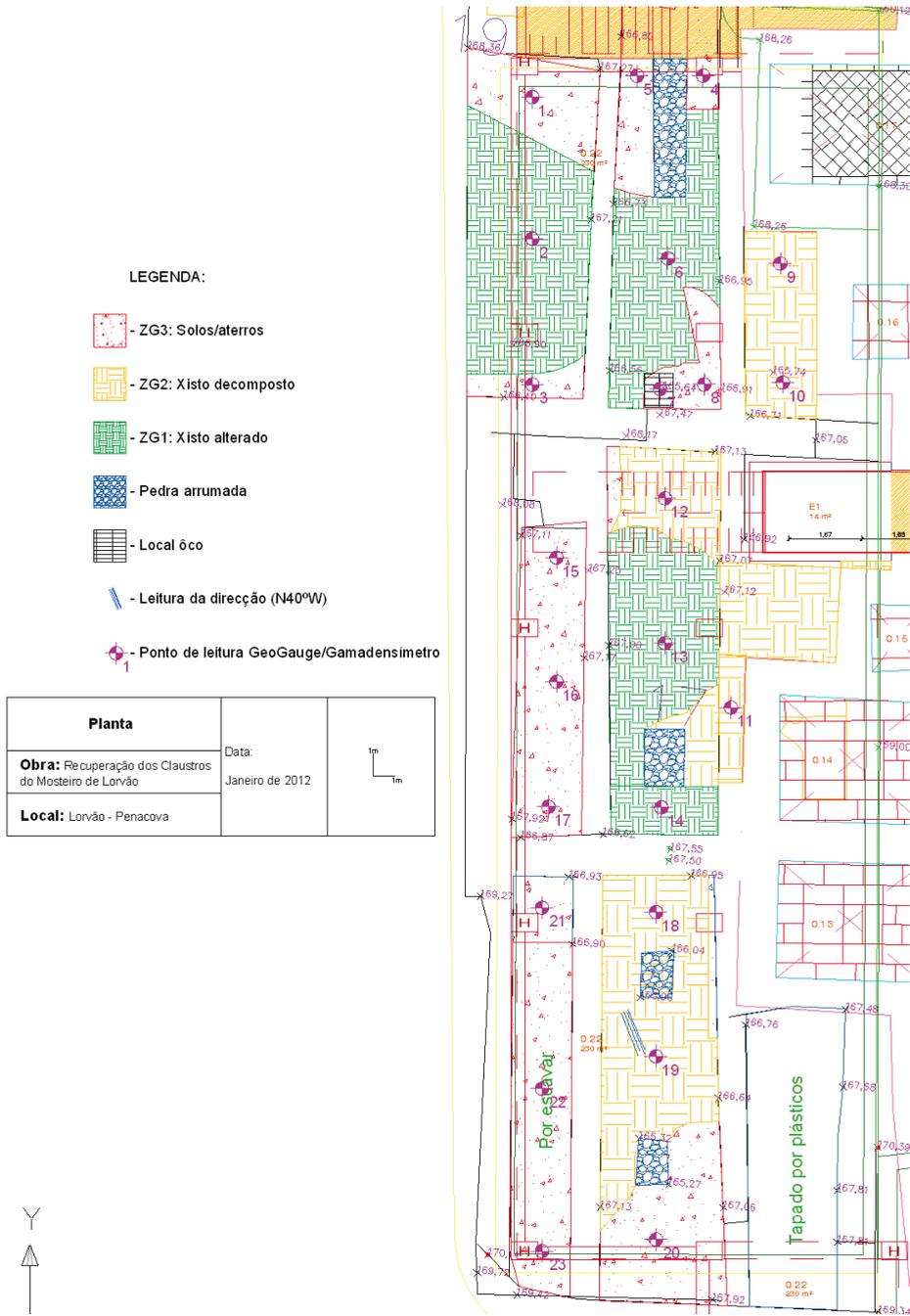


Fig. 4 – Planta de zonamento geotécnico dos terrenos, após as escavações arqueológicas que puseram a descoberto os muros.

A espessura atribuída a esta zona é elevada pois constitui a unidade do firme rochoso mais profundo. Os afloramentos desta zona encontram-se essencialmente na parte no-roeeste da área estudada. Na Tabela 3 é apresentado um breve resumo dos dados obtidos com os equipamentos GeoGauge e Densímetro Nuclear para a ZG1.

Tabela 3 – Resumo das medições com o GeoGauge e com o Densímetro Nuclear na ZG1.

|                              | Módulo de Young<br>(MPa) | Peso volúmico Seco<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | Peso volúmico aparente<br>(kN/m <sup>3</sup> ) |
|------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Média                        | 219,54                   | 16,89                                      | 18,42                                          |
| Desvio Padrão                | 89,38                    | 1,55                                       | 1,61                                           |
| Coefficiente de Variação (%) | 40,71                    | 9,19                                       | 8,75                                           |

A aplicação do RMR nos xistos alterados da ZG1 permitiu antecipar que se trata de um maciço de classe IV, com rocha fraca, possuindo coesão rondando os 100 kPa a 200 kPa, com um ângulo de atrito do maciço entre 15° a 25°. Recomenda ainda que seja instalado suporte quando da escavação. Para o xisto alterado (ZG1) admitiu-se um valor de 0,5 MPa para a tensão admissível. Considera-se para a formação xistenta um valor de peso volúmico aparente variável entre os 17 e os 24 kN/m<sup>3</sup>, sendo os valores determinados superficialmente mais baixos.

### ZG2) zona geotécnica de xisto decomposto e solo residual xistento

A zona geotécnica 2 compreende o xisto decomposto e o solo residual xistento, de cor variável, em geral acastanhada ou amarelada. O xisto decomposto presente nesta unidade ainda apresenta alguma estrutura xistosa, apesar de completamente alterado. É a unidade que exibe um comportamento intermédio entre a ZG1 (xisto alterado) e a ZG3 (aterros). A espessura não foi determinada, por ser muito variável.

Na Tabela 4 é apresentado um breve resumo dos dados obtidos com os equipamentos GeoGauge e Gamadensímetro.

Tabela 4 – Resumo das medições com o Geogauge e com o densímetro nuclear na ZG2.

|                              | Módulo de Young<br>(MPa) | Peso volúmico Seco<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | Peso volúmico aparente<br>(kN/m <sup>3</sup> ) |
|------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Média                        | 214,72                   | 15,87                                      | 17,95                                          |
| Desvio Padrão                | 83,62                    | 1,20                                       | 1,22                                           |
| Coefficiente de Variação (%) | 38,94                    | 7,56                                       | 6,81                                           |

A aplicação do RMR aos xistos decompostos permitiu identificar um maciço de classe IV, constituído por rocha fraca. A coesão da rocha será entre os 100 kPa e os 200 kPa, com um ângulo de atrito do maciço entre 15° a 25°, devendo ser instalado o suporte aquando da escavação. Quanto à tensão admissível, considerou-se um valor de 0,25 MPa para a ZG2.

### ZG3) zona geotécnica de aterros

Consideram-se englobados na zona geotécnica de aterros todos os solos superficiais remexidos pelo homem. Os materiais desta zona encontram-se soltos e descomprimidos,

constituindo uma zona com fracas características mecânicas, devido à baixa resistência e elevada deformabilidade, apesar de já terem sofrido alguma estabilização, devido aos muitos séculos de permanência após a sua colocação. Apresentam níveis negros carbonosos e fragmentos de pedras e de tijolo. Na Tabela 5 é apresentado um resumo dos dados obtidos para a ZN3 com os equipamentos GeoGauge e densímetro nuclear.

Tabela 5 – Resumo das medições com o GeoGauge e com o densímetro nuclear na ZG3.

|                              | Módulo de Young<br>(MPa) | Peso volúmico Seco<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | Peso volúmico aparente<br>(kN/m <sup>3</sup> ) |
|------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Média                        | 92,65                    | 14,77                                      | 16,18                                          |
| Desvio Padrão                | 48,49                    | 1,64                                       | 1,91                                           |
| Coefficiente de Variação (%) | 52,33                    | 11,12                                      | 11,78                                          |

Para os materiais que se encontram na ZG3, constituída por solos e aterros, considera-se uma tensão admissível de 0,10 MPa, devido à sua heterogeneidade.

## 7 – Considerações finais

A utilização de técnicas de ensaio in situ não destrutivas e a cartografia geológica permitiram identificar três zonas geotécnicas: uma constituída por xisto alterado, correspondente ao firme rochoso de melhor qualidade (ZG1); outra constituída por xisto decomposto (ZG2) e uma terceira zona de aterros (ZG3).

Dadas as fracas características apresentadas pela zona geotécnica 3 (ZG3) não se recomenda a sua utilização como terreno para a fundação do passadiço metálico. A fundação deverá ser feita na Zona Geotécnica 1 (ZG1) e, quando tal não for possível, na Zona Geotécnica 2 (ZG2).

É de realçar que o xisto alterado é muito evolutivo, comportando-se como solo argiloso quando sujeito a escavação e colocação em obra. Na preparação do terreno de fundação recomenda-se o saneamento dos materiais de alteração superficial menos resistentes, que possam vir a ser encontrados nos locais de fundação. Como as fundações do passadiço metálico deverão ser encastradas no terreno, poderá haver variações das características do maciço em profundidade, pelo que o zonamento superficial apresentado poderá não ser coincidente com as características existentes a maior profundidade, havendo necessidade de confirmar as características dos terrenos após a realização das escavações para as fundações, apesar de as propriedades dos terrenos tenderem a melhorar em profundidade.

Considera-se imperioso proceder também à estabilização e confinamento dos solos de aterros (ZG3) e mesmo de alguns casos do xisto decomposto (ZG2), que servem de fundação aos muros de alvenaria de pedra, pois que a desagregação progressiva destes terrenos com a ação da água e os fenómenos de secagem e molhagem, reduzem-lhes a capacidade de suporte, acabando por ocasionar a queda dos muros, com a sua destruição.

Realça-se finalmente que foi essencialmente caracterizada a superfície do terreno exposto, em resultado da escavação arqueológica, tendo todo o trabalho sido desenvolvido sem que fossem realizados trabalhos de prospeção mecânica ou ensaios invasivos ou destrutivos do terreno de modo a preservar a integridade arqueológica do local.

**Agradecimentos** – Este trabalho foi financiado pelo Estado Português através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito do projecto PEst-OE/CTE/UI0073/2011 do Centro de Geociências.

400

## **8 – Referências Bibliográficas**

BIENIAWSKI, Z.T. (1989) - Engineering Rock Mass Classification”. New York, *John Wiley*, 215p.

GOOGLE EARTH (2012) Tele Atlas.

IGESPAR (2012) Mosteiro de Lorvão – detalhe (consultado 2012.02.06). <http://www.igespar.pt/pt/patrimonio/pesquisa/geral/patrimonioimovel/detail/70694/>

QUINTA FERREIRA, M., SANTARÉM ANDRADE, P. & OLIVEIRA, M.A. (2008) - Caracterização da deformabilidade com o Geogauge. *IV Cong. Luso-Brasileiro de Geotecnia*, 7 de Abril, pp 129-136. Coimbra. (ISBN: 978-989-95740-1-4)

QUINTA-FERREIRA, M. & HENRIQUES, J. (2011) - Recuperação dos Claustros do Mosteiro de Lorvão, Lorvão – Penacova. Estudo Geológico-Geotécnico. Relatório PN/LABGEO/2011/006. Trabalho solicitado pela empresa Veiga Lopes, Lda. para o IGESPAR.

OLIVEIRA et al. (1992) Carta Geológica de Portugal. Escala 1:500 000. LNEG.