

## ENGENHARIA GEOLÓGICA E DE MINAS

# VALORIZAÇÃO DO PATRIMÓNIO GEOLÓGICO-MINEIRO: A ANTIGA MINA DAS AVELEIRAS (MOSTEIRO DE TIBÃES)

J. F. C. TRIGO<sup>1,2</sup> · H. I. CHAMINÉ<sup>1,3</sup> · M. J. AFONSO<sup>1,3</sup> · H. ALMEIDA<sup>1</sup> · M. E. LOPES<sup>1,3</sup> · J. TEIXEIRA<sup>1</sup> ·  
R. PEREIRA<sup>1</sup> · R. PINHEIRO<sup>1,3</sup> · J. P. MEIXEDO<sup>1,3</sup> · A. GOMES<sup>4</sup> · J. F. A. TEIXEIRA<sup>5</sup> · M. J. DIAS COSTA<sup>6</sup>

1 Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada (Labcarga), Instituto Superior de Engenharia do Porto, ISEP · 2 Departamento de Engenharia Civil, ISEP, Politécnico do Porto  
3 Departamento de Engenharia Geotécnica, ISEP, Politécnico do Porto · 4 Departamento de Geografia, Universidade do Porto  
5 Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos (CIBIO), Universidade do Porto · 6 Mosteiro de S. Martinho de Tibães, Direção Regional de Cultura do Norte

A mina das Aveleiras, escavada no dealbar do século XVII para o fornecimento de água ao Mosteiro de S. Martinho de Tibães, foi objeto de intensa exploração de volfrâmio em meados do século passado. A intenção de incluir a visita a esta mina no conjunto de ofertas temáticas disponibilizadas pelo Mosteiro orientou a avaliação da sua estabilidade e da necessidade de eventual reforço. São descritos, de forma breve, o estudo multidisciplinar realizado e a solução de reabilitação preconizada.

### INTRODUÇÃO

O Mosteiro de S. Martinho de Tibães situa-se na região Norte de Portugal, próximo da cidade de Braga. Fundado em finais do século XI, este Mosteiro conheceu épocas em que assumiu uma grande importância no contexto nacional, tendo chegado a ser a Casa-Mãe da Congregação Beneditina portuguesa. A esse apogeu seguiu-se um período de decadência que culminou com a sua compra pelo Estado português, encontrando-se, atualmente, afeto à Direção Regional de Cultura do Norte do Ministério da Cultura e classificado como Imóvel de Interesse Público desde 1944 (Dias Costa, 2002).

Uma das razões decisivas para a escolha do local de implantação dos mosteiros era a existência de água, elemento também presente, de forma abundante, no Mosteiro

de Tibães e área envolvente. O Mosteiro era abastecido por uma série de minas de água, cuja idade secular se encontra registada em várias referências nos arquivos do Mosteiro de Tibães. A generalidade destas minas é constituída por galerias de pequenas dimensões. A mina das Aveleiras constitui uma exceção, com as galerias principais de maior dimensão, uma vez que nesta foi explorado o volfrâmio, durante a Segunda Guerra Mundial.

No âmbito das atividades de extensão cultural e científica que atualmente oferece, é objetivo do Mosteiro de Tibães viabilizar, futuramente, a visita à mina das Aveleiras, criando um novo motivo de interesse. Para a concretização desta intenção, tornou-se imperativo averiguar a estabilidade da mina e a necessidade de a reforçar, tendo-se selecionado um tramo principal (e galerias

transversais envolventes) com cerca de 80m de extensão.

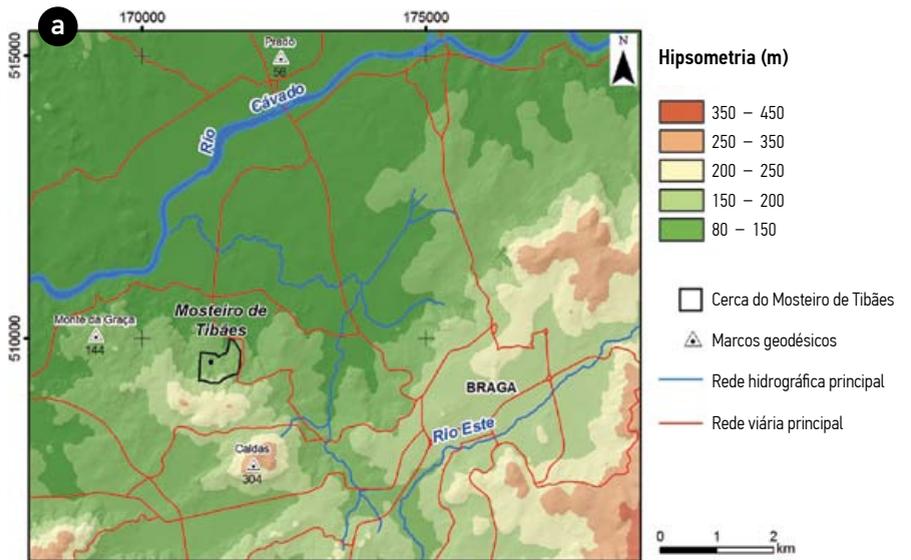
A antiguidade da mina, o abandono da sua exploração e o seu isolamento nas últimas décadas, aliados a um conjunto de condições ambientais favoráveis, levou a que a mina constitua, hoje em dia, um importante *habitat*. A perceção da existência destas características ambientais particulares, bem como de todos os aspetos patrimoniais, históricos e geológicos condicionou a solução de reabilitação projetada.

A concretização da reabilitação parcial da mina poderá permitir que esta venha a constituir um geossítio, face ao seu particular valor pedagógico e turístico e, a longo prazo, poderá estabelecer-se como um espaço geomuseológico, numa perspetiva de um novo ciclo de sustentabilidade.

### ENQUADRAMENTO REGIONAL

A região de Mire de Tibães enquadra-se, geologicamente, numa área constituída por rochas metassedimentares, ladeadas pelos maciços graníticos de Braga, de Gondizalves e de Aveleda. Neste trabalho destacam-se as unidades geológicas que afloram na área em estudo (Ferreira *et al.*, 2000): i) Depósitos de

Figura 1 – Enquadramento regional de Mire de Tibães: a) esboço hipsométrico da região de Braga (vale do rio Cávado); b) perfil topográfico entre o vale do rio Cávado e o monte das Caldas



Base topográfica: Carta Militar de Portugal à escala 1:25000 (IGeoE), Folhas 56 (1997) e 70 (1997)  
Série M888, Edição 2/IGE 1997  
Sistema de coordenadas: Hayford-Gauss-Militar

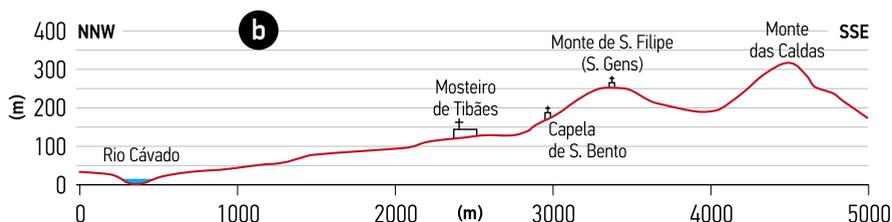
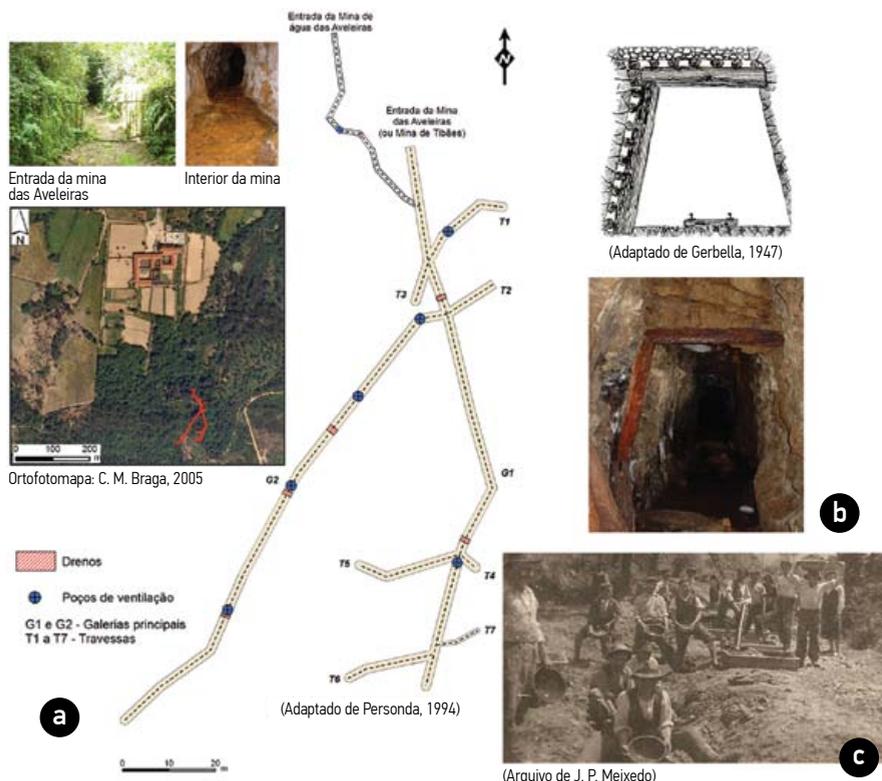


Figura 2 – Aspetos diversos da antiga mina de volfrâmio das Aveleiras:

- a) cartografia do traçado subterrâneo, fotografias da mina e vista aérea da Cerca do Mosteiro de Tibães;
- b) exemplo de sustimento original em madeira e esquema típico;
- c) fotografia ilustrativa de trabalhos de pesquisa e processamento de minério de volfrâmio no Norte de Portugal, cerca de 1930



cobertura; ii) Rochas metassedimentares; iii) Rochas graníticas; iv) Filões e massas: algumas destas massas foram alvo de explorações mineiras, no passado, dadas as suas mineralizações em volfrâmio e estanho. A característica geomorfológica mais evidente da área em apreço consiste no contraste entre o fundo plano dos vales e as vertentes íngremes das elevações que os ladeiam o que, de resto, constitui uma fisionomia comum na região minhota (Figura 1).

A mina das Aveleiras tem uma entrada principal, de dimensões apreciáveis (ca. 1,8m de largura por 2,4m de altura), e outra, de menores dimensões (ca. 0,7 m de largura), correspondente à “mina de água das Aveleiras” (Figura 2). A galeria principal é muito ampla até aos 80m de extensão, tendo em média 1,5m de largura e 1,9m de altura. Aquando da exploração do volfrâmio, os hasteais e o teto da mina foram suportados por entivações de madeira, atualmente praticamente inexistentes, tendo-se verificado já a derrocada do teto em algumas secções.

### BIODIVERSIDADE DA CERCA DE TIBÃES: PARTICULARIDADES DA MINA DAS AVELEIRAS

A diversidade faunística representada na área da Cerca do Mosteiro de S. Martinho de Tibães compreende 90 espécies de insetos, 3 peixes, 11 anfíbios, 6 répteis, 51 aves e 17 mamíferos (Gonçalves *et al.*, 2000). Tendo em conta a sua localização numa região densamente povoada, caracterizada por uma agricultura minifundiária intensiva e onde os povoamentos florestais predominantes são constituídos por pinheiro e eucalipto, esta área apresenta uma riqueza específica muito considerável, possuindo um elevado interesse, quer em termos de conservação da natureza, quer para ações de educação ambiental. Na mina das Aveleiras destaca-se em particular a presença de espécies de anfíbios e morcegos de grande sensibilidade ambiental. Dos anfíbios detetados na mina, destacam-se a salamandra-lusitânica (*Chionoglossa lusitânica*) e a rã-ibérica (*Rana iberica*), espécies endémicas do Noroeste da Península Ibérica e incluídas no anexo II da Convenção de Berna. A salamandra-lusitânica e a rã-ibérica habitam normalmente junto de pequenos ribeiros de água limpa, minas e canais de água subterrâneos.

A salamandra-lusitânica é uma espécie considerada Vulnerável em Portugal (Cabral *et al.*, 2005) e emblemática da nossa fauna, pois possui uma série de características únicas, como a ausência de pulmões funcionais, capacidade de libertar a cauda quando ameaçada e de capturar as suas presas com a ajuda de uma língua projetável. Além disso, encontram-se ainda nesta mina a salamandra-de-pintas-amarelas (*Salamandra salamandra*)

Figura 4  
**Representação esquemática do zonamento geotécnico do maciço rochoso da galeria mineira G1**

- Zona Geotécnica 1
- Zona Geotécnica 2
- Zona Geotécnica 3
- Zona Geotécnica 4
- Maciço rochoso metassedimentar fracturado a muito fracturado
- Maciço alterado a muito alterado (W4-5)

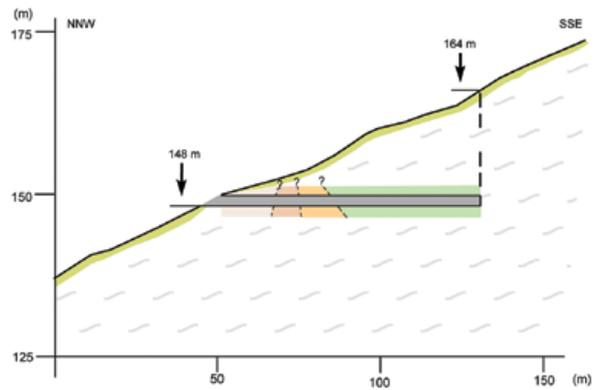


Figura 3 – Biodiversidade na mina das Aveleiras: a) reprodução de salamandra-lusitânica (*Chioglossalusitanica*); b) espécime de salamandra-de-pintas-amarelas (*Salamandra salamandra*); c) espécime de rã-ibérica (*Rana iberica*)



e a rã-de-focinho-pontiagudo (*Dicoglossus galganoi*). A deteção destas espécies de anfíbios na mina e, em particular, de evidências de reprodução de salamandra-lusitânica, implicam cuidados especiais na sua conservação e recuperação (Figura 3). Algumas espécies de morcegos utilizam também esta mina como local de refúgio, hibernação e/ou reprodução, nomeadamente o morcego-de-ferradura-grande (*Rhinolophus ferrumequinum*) e o morcego-de-ferradura-pequeno (*Rhinolophus hipposideros*), ambos considerados Vulneráveis em Portugal (Cabral *et al.*, 2005). A presença destes animais implica a busca de soluções de recuperação da mina compatíveis com a biologia deste grupo.

**A REABILITAÇÃO DA MINA DAS AVELEIRAS**

**GENERALIDADES**

Para a definição da proposta de reabilitação da mina procedeu-se, numa fase inicial, à compilação exhaustiva da documentação histórica, patrimonial e técnico-científica existente e à realização de estudos cartográficos (geomorfológicos, geotectónicos e hidrogeológicos) de superfície. Seguidamente, realizou-se um estudo geológico e geotécnico mineiro, bem como investigações geomecânicas *in situ* e laboratoriais, que suportaram o posterior dimensionamento de uma estrutura de reforço.

**ESTUDO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E GEOMECÂNICO MINEIRO**

A cartografia geológico-mineira de pormenor, a caracterização geotécnica do maciço rochoso e o estudo geomecânico do traçado subterrâneo permitiram definir o zonamento geotécnico e a aplicação de diferentes classificações geomecânicas de maciços rochosos (*Mining-RMR, Q-system, SRC*) e índices geológico-geomecânicos (*GSI, HP-value*). Deste zonamento resultaram quatro unidades geotécnicas para a galeria principal G1, objecto do presente estudo (Quadro 1), esquematicamente localizadas na Figura 4.

**ESTRUTURA DE REFORÇO**

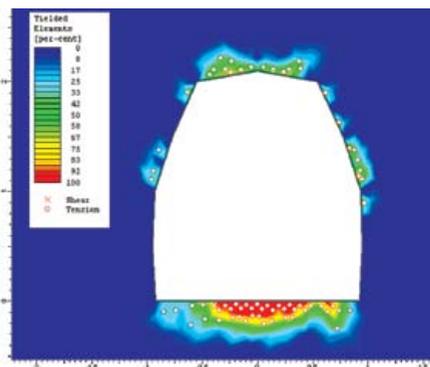
Com o intuito de averiguar a segurança atual da mina, foram realizadas, para cada zona geotécnica, análises elastoplásticas, bidimensionais, usando uma formulação por elementos finitos, com o programa de cálculo automático *Phase2*, da *Rocscience*. A mina revelou-se estável, em todas as análises efetuadas, apresentando-se, a título ilustrativo,

Quadro 1 – Síntese dos parâmetros do zonamento geotécnico (G1)

Zona Geotécnica (ZG)	Amostras do material-rocha	Heterogeneidade litológica	Grau de alteração	Grau de fraturação	Grau de resistência	
			Alteração	Espaçamento	UCS (MPa)	PLT (MPa)
ZG1.(G1)		Xistos argilosos	W <sub>4-5</sub>	F <sub>3</sub> a F <sub>4-5</sub> [45–20 cm]	< 18	n.d.
ZG2.(G1)		Quartzofilitos com antemânias de xistos argilosos	W <sub>2</sub> a W <sub>4</sub>	F <sub>3</sub> a F <sub>4-5</sub> [30–15 cm]	15–35	1–2
ZG3A.(G1)		Metagrauvaques e corneanas metapelíticas	W <sub>3</sub>	F <sub>3</sub> [25–50 cm]	15–40	0,5–1
ZG3B.(G1)		Corneanas quartzosas	W <sub>2</sub> a W <sub>3</sub>	F <sub>3</sub> [45–65 cm]	65–120	3–5
ZG4A.(G1)		Corneanas Metapelíticas	W <sub>2</sub> a W <sub>3</sub>	F <sub>4</sub> a F <sub>3</sub> [15–30 cm]	25–55	n.d.
ZG4B.(G1)		Corneanas quartzosas (com aplitoides quartzo-feldspáticos e filões de quartzo brechificado)	W <sub>3</sub>	F <sub>4</sub> a F <sub>3</sub> [15–45 cm]	50–70	n.d.

n.d. – não determinado; UCS – Resistência à compressão uniaxial; PLT – Resistência à carga pontual; ZG – Zona Geotécnica (e sub-zonas); parâmetros geotécnicos segundo ISRM (2007)

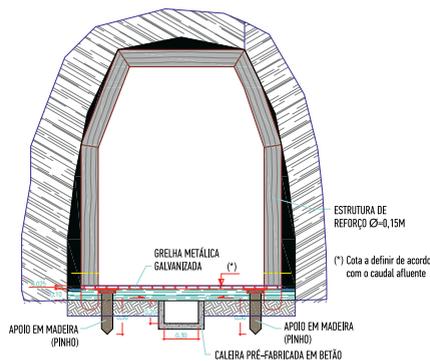
Figura 5 – Resultados do cálculo com o programa *Phase<sup>2</sup>* – pontos plastificados (ZG2)



as localizações dos pontos plastificados do maciço na zona ZG2, para a última fase do cálculo (Figura 5). Adicionalmente, para cada zona geotécnica, com recurso ao programa *Unwedge*, da *Rocscience*, verificou-se a possibilidade de formação de cunhas no contorno da mina, avaliando-se as respetivas estabilidades. Para este estudo conjugaram-se as famílias de descontinuidades presentes em cada zona geotécnica. Dos resultados obtidos resultou claro o caráter instável da mina, não evidenciando esta, atualmente, a segurança necessária para o tipo de exploração permanente que se perspetiva.

A futura utilização da mina impõe a definição de reforços que lhe devolvam um adequado nível de segurança. O objetivo de reabilitar a mina, de modo a que o público possa testemunhar, num retorno ao passado, a sua função de abastecimento de água subterrânea e a de antiga mina de volfrâmio, respeitando os valores ambientais que esta encerra, condicionou a seleção das possíveis soluções de estabilização. Este conjunto de fatores levou a que a escolha da solução de reforço seja constituída, essencialmente, por um conjunto de treliças de toros de pinho que se procuraram localizar nas posições escolhidas pelos antigos mineiros, projetando-se alinhamentos adicionais de suportes, sempre que se entendeu necessário (Figura 6). A presença de anfíbios obrigou a garantir condições de

Figura 6 – Solução proposta de reabilitação (G1) – esquema tipo (ZG1)



fácil acessibilidade a estes animais e a manutenção de água corrente para o desenvolvimento das suas larvas, tendo-se projetado, para o efeito, um passadiço (Figura 6). Questões de segurança levaram à definição de barreiras físicas nos topos dos poços de ventilação e no limite do trecho visitável da mina. Estes elementos serão materializados por gradeamentos de significativa abertura, de modo que não perturbem a passagem de morcegos, cujos locais de repouso se encontram bastante afastados do trecho cuja visita se perspetiva. Para o dimensionamento destes reforços realizaram-se dois estudos. Um, em que se retomaram os modelos numéricos definidos com o programa *Phase<sup>2</sup>*, neles se introduzindo os reforços. Esta modelação permitiu determinar o incremento de segurança na secção em estudo, bem como os esforços instalados nos reforços. No segundo estudo consideraram-se os resultados do programa *Unwedge*, nomeadamente as características geométricas e os pesos das cunhas instáveis, que deverão ser equilibrados pelos reforços. Na Figura 7 apresenta-se um exemplo, aplicado às cunhas 2 e 8 da zona geotécnica ZG2, da metodologia de avaliação dos esforços nos reforços.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

A solução encontrada para a reabilitação da

mina, viabilizando um novo ciclo de vida, é compatível com os valores históricos, culturais e naturais, tendo resultado da articulação de diversos pontos de vista, por vezes dificilmente conciliáveis. Este facto justifica o caráter singular desta experiência de projeto de geoenharia e a sua importância paradigmática em termos de multidisciplinaridade, conjugando temas geológico-mineiros e geomecânicos, geoconservação de património geomineiro, biodiversidade e património histórico.

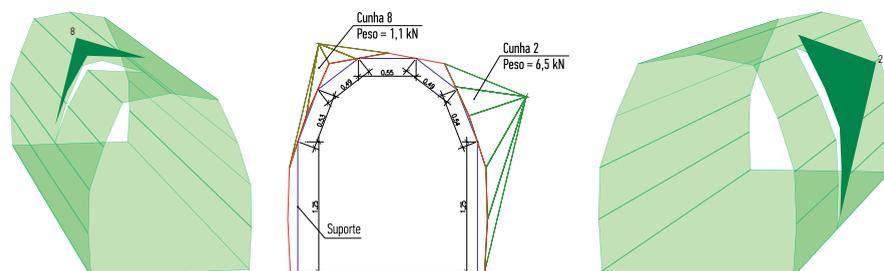
### AGRADECIMENTOS

*Este estudo insere-se na colaboração Labcarga|ISEP/ Mosteiro de Tibães ("Mina das Avelheiras: elaboração do estudo geológico-geotécnico e projeto da estrutura de reforço e de proteção") e no projeto HydroUrban ("Hidrogeologia, geomecânica e geoconservação de antigas minas de água") apoiado pelo ISEP-IPPPADInv/2007/2008. HIC, MJA, JT, MEL receberam apoio parcial do Centro GeoBioTecUA (PEst-C/CTE/UI4035), JME do Centro CIGAR, AG do Centro CEGOT e RP do Centro LGMCISEP. São devidos agradecimentos ao colega Engenheiro de Minas C. M. Arrais pela partilha da sua experiência mineira na fase de arranque deste estudo.*

### REFERÊNCIAS

- > Cabral M.J., Almeida J., Almeida P.R., Dellinger T., Ferrand de Almeida N., Oliveira M.E., Palmeirim J.M., Queiroz A.I., Rogado L. & Santos-Reis M. [eds.] 2005. Livro vermelho dos vertebrados de Portugal. Instituto da Conservação da Natureza e da Biodiversidade, Lisboa, 660p.
- > Dias Costa M.J. 2002. A cerca do mosteiro de São Martinho de Tibães. Património e Estudos, IPPAR, Lisboa, 2, pp. 86-95.
- > Ferreira N., Dias G., Meireles C. & Braga M.A.S. 2000. Carta Geológica de Portugal, na escala 1/50000. Notícia Explicativa da Folha 5- D (Braga). 2ª edição. Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa, 68 p.
- > Gerbella L. 1947. Arte mineraria. Terza Edizione, Volume I, Editore Ulrico Hoepli, Milano.
- > Gonçalves H., Sequeira F., Teixeira J.L., F. & Grosso J.M. 2000. Estudo da biodiversidade da Cerca do Mosteiro de S. Martinho de Tibães: inventário faunístico e medidas de conservação. CIBIO, Porto, 31 p.
- > Labcarga – Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada 2007-2008. Mina das Avelheiras: estudo geológico-geotécnico e projeto da estrutura de reforço e de proteção. Relatório para o Mosteiro de S. Martinho de Tibães, IPPAR. Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada, ISEP, Porto. 5 volumes + 4 anexos, (relatório inédito).
- > Lopes M.E. 2012. Geoconservação e valorização do património geológico-mineiro de espaços subterrâneos antigos. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 325 p. + anexos. (tese de doutoramento).
- > Pereira R. 2012. Estudo da antiga mina de volfrâmio das Avelheiras (Mire de Tibães): cartografia geotécnica e avaliação geomecânica. Instituto Superior de Engenharia do Porto, 147p. + anexos (tese de mestrado).

Figura 7 – Avaliação dos esforços nos reforços (ZG2): geometrias das cunhas 2 e 8 e diagrama de carga



## REINDUSTRIALIZAÇÃO DE PORTUGAL

### ENTREVISTA p.50



**FRANCISCO VAN ZELLER**  
ENGENHEIRO, EX-PRESIDENTE DA CONFEDERAÇÃO  
DA INDÚSTRIA PORTUGUESA

“A Indústria que renascer será muito diferente  
da do passado”

### ESTUDO DE CASO p.55



**PORTO DE SINES: POLO  
DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL**  
ESTRATÉGIA PARA A REINDUSTRIALIZAÇÃO

### HISTÓRIA p.93



**AS HERANÇAS PESADAS DO  
CONDICIONAMENTO INDUSTRIAL**