

OPTIMIZAÇÃO DO DIAGRAMA DE FOGO NUMA EXPLORAÇÃO DE BASALTO, COM OBJECTIVOS INDUSTRIAIS E AMBIENTAIS

Ventura Rego, Francisco
Alves Ribeiro, S. A., Lisboa, ventura.rego@alvesribeiro.pt

Guerreiro, Humberto
Visa Consultores, S.A., Oeiras, hguerreiro@visaconsultores.com

Ferreira, Nuno
Visa Consultores, S.A., Oeiras, nferreira@visaconsultores.com

Resumo

A empresa Alves Ribeiro, S.A. explora uma pedreira de basalto para produção de agregados denominada "Moita da Ladra", situada na freguesia de Vialonga, concelho de Vila Franca de Xira. Na envolvente da pedreira existem algumas construções, destacando-se uma quinta a Sudoeste da área de exploração onde existe um convento com valor arquitectónico. A Alves Ribeiro, S.A. tem desenvolvido esforços no sentido de reduzir os níveis de vibração e de ruído neste local gerados pelos desmontes com explosivos.

Neste artigo apresenta-se o trabalho desenvolvido com o objectivo de otimizar o diagrama de fogo utilizado na exploração da pedreira, de forma a reduzir os níveis de vibração e de ruído ambiente induzidos pelas detonações. A optimização do diagrama de fogo teve também como objectivo o incremento do desempenho do explosivo, contribuindo para a redução dos custos associados à operações de remoção, transporte e fragmentação secundária dos materiais.

Os trabalhos de campo contemplaram a monitorização de um diagrama de fogo de referência e de oito diagramas de fogo experimentais. Em cada um dos nove desmontes realizados foram monitorizados a velocidade de vibração, em dois locais distintos previamente seleccionados, e o nível de ruído.

Os diagramas de fogo experimentais foram definidos no sentido de estudar diversos parâmetros, tais como, a malha de perfuração, a carga de explosivo por furo, o tipo de explosivo e modo de escorvamento.

A análise dos resultados obtidos foi efectuada a dois níveis: ao nível industrial, analisando-se a consequência das alterações realizadas nos diagramas de fogo no que respeita à fragmentação da rocha; e ao nível ambiental, analisando-se as consequências dos desmontes no que concerne à velocidade de vibração induzida no maciço rochoso e ao nível de ruído gerado.

1. Introdução

1.1. Enquadramento e objectivos

A Alves Ribeiro S.A. é uma empresa privada, constituída em 1941 a partir de uma empresa em nome individual que o seu fundador Artur Fernandes Alves Ribeiro, tinha criado dez anos antes. Em 1943 a empresa iniciou a actividade de britagem para a produção de inertes a utilizar no fabrico de betão betuminoso aplicado na pavimentação das pistas 05/23, 09/27 e 18/36 do Aeroporto de Lisboa.

Actualmente, a Alves Ribeiro, S.A. dedica-se à indústria da construção, quer em regime de promoção própria, quer em contratação pública e privada. Desta actividade resulta a necessidade de obter inertes de qualidade para o fabrico de betões betuminosos.

Neste âmbito, a empresa explora uma pedreira de basalto denominada "Moita da Ladra", situada na freguesia de Vialonga, concelho de Vila Franca de Xira.

A pedreira encontra-se licenciada pela Direcção Regional de Economia de Lisboa e Vale do Tejo (DRE-LVT), possuindo uma área de exploração de aproximadamente 11 ha. A pedreira, a instalação de britagem e outros terrenos pertencentes à empresa têm uma área aproximada de 44 ha.

O trabalho desenvolvido teve por objectivo a optimização do diagrama de fogo utilizado na exploração da pedreira "Moita da Ladra", de forma a reduzir os níveis de vibração e de ruído ambiente induzidos pelas detonações. A optimização do diagrama de fogo permitirá também o aumento da fragmentação da rocha, controlando o consumo específico de explosivo, reduzindo os custos associados à remoção, transporte e à fragmentação secundária dos materiais.

Os trabalhos de campo desenvolveram-se em Março e Abril de 2004, tendo sido monitorizadas nove detonações (uma de referência e oito experimentais). Em cada detonação foram registados os valores da resultante da velocidade de vibração de pico (expressa em mm.s^{-1}) em dois locais distintos, tendo-se obtido, 18 registos de vibrações. As medições foram realizadas com recurso a dois sismógrafos digitais equipados com geofones tri axiais que permitem medir a velocidade de vibração de pico em cada uma das componentes (transversal, vertical e longitudinal). Os sismógrafos permitiram medir também o valor de pico da onda sonora, expresso em dB.

As acções experimentais incidiram sobre diversos parâmetros do diagrama de fogo, variando a malha de furação do diagrama (espaçamento à frente livre e distância entre furos), a carga de explosivo por furo, o tipo de explosivo e o tipo de escorvamento.

A análise dos resultados foi realizada a dois níveis distintos: a nível industrial, analisando-se a consequência das alterações realizadas ao nível da fragmentação da rocha; e a nível ambiental analisando-se as consequências ao nível da velocidade de vibração induzida no maciço rochoso e do ruído ambiente.

1.2. Antecedentes da pedreira

Em Janeiro de 1992, no intuito de produzir inertes de basalto com qualidade, a Alves Ribeiro, S.A. adquiriu a pedreira "Moita de Ladra" onde instalou uma central de britagem, tendo iniciado a actividade de desmonte do maciço rochoso em 1999.

Esta pedreira terá iniciado a sua laboração há mais de quarenta anos, mas manteve-se inactiva durante os três ou quatro anos anteriores à sua aquisição pela empresa Alves Ribeiro, S.A..

Sabe-se que a anterior exploração forneceu, na década de 1960, rachão para o fabrico de agregados a incluir na camada de desgaste de alguns trechos da Auto Estrada Sacavém/Vila Franca de Xira e, mais recentemente a totalidade (cerca de 40 000 m^3) do mesmo para a construção dos troços de Auto Estrada Fogueiro/Setúbal e Vila Franca de Xira/Carregado.

À excepção destes fornecimentos, a produção da pedreira nunca terá ultrapassado os 8 000 $\text{m}^3.\text{ano}^{-1}$ de rachão.

1.3 Condicionantes

A actual ocupação humana da envolvente da pedreira constitui uma forte condicionante ao normal desenrolar dos trabalhos de exploração. As construções existentes, em especial uma quinta a Sudoeste da área de exploração onde existe um convento com valor arquitectónico, poderão sofrer impactes negativos decorrentes da exploração da pedreira. Estes impactes negativos devem-se essencialmente às vibrações e ao ruído gerado pelos desmontes com explosivos.

Durante o processo de avaliação de impacte ambiental do projecto de exploração da pedreira de basalto de Moita Ladra foram identificados vestígios arqueológicos pré-históricos no ponto culminante da chaminé vulcânica onde se desenvolve a exploração. Foi então determinado que antes do avanço da lavra se deveriam executar sondagens arqueológicas com o intuito de caracterizar a ocupação antiga daquele sítio. Estes trabalhos de prospecção decorreram nos anos de 2003 a 2005.

Através dos trabalhos realizados no topo do cabeço, foram identificados vestígios de um pequeno povoado muralhado, atribuível ao Calcolítico Pleno/Final da Estremadura Portuguesa (3º milénio antes de Cristo), mal conservado ao nível estrutural, embora com interesse científico. De facto, foi possível recolher e salvar um conjunto abundante e variado de materiais, incluindo cerâmicas (com destaque para vasos decorados), instrumentos em pedra lascada, em pedra polida, em metal e osso, vestígios de prática metalúrgica e restos alimentares (ossos de mamíferos e principalmente conchas de amêijoia, *Venerupis decussata*).

A Norte do povoado em local limitado foi possível identificar e estudar vestígios de uma necrópole de urnas do final da Idade do Bronze (final do 2º milénio ou início do 1º milénio antes de Cristo). Ali se encontraram diversos recipientes cerâmicos, colocados em covachos abertos no substrato calcário, bem como ossos humanos carbonizados que documentam um ritual de incineração conferindo a este achado elevada importância dada a raridade deste tipo de vestígios na região. O valor científico destas descobertas é inquestionável porém a ausência de monumentalidade e o mau estado de conservação das estruturas postas à vista permitiu que se executasse uma salvaguarda arqueológica pelo registo.

Essa decisão já foi confirmada pelo Instituto Português de Arqueologia, permitindo desta forma compatibilizar a investigação arqueológica, integralmente financiada pela Alves Ribeiro S.A., com o normal prosseguimento da exploração da pedreira.

2. Optimização do diagrama de fogo

2.1. Características técnicas da pedreira

A pedreira "Moita da Ladra" situa-se numa elevação que constitui uma chaminé basáltica, contemporânea do Complexo Vulcânico de Lisboa, enquadrada em formações cretácicas de natureza essencialmente calcária.

As reservas da pedreira totalizam cerca de 6 548 000 t o que corresponde a um tempo de vida útil de cerca de 26 anos.

Na chaminé vulcânica pode ser diferenciada, grosso modo, uma zona geotécnica composta por rocha sã a ligeiramente alterada, com espaçamento das fracturas de modo geral medianamente afastadas (F3), segundo critérios de classificação da Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas (SIMR), que inclui as designações de $\beta 1$ e $\beta 1a$.

O termo $\beta 1$ aflora numa mancha já explorada, com cerca de 150 m de comprimento, e é contornado por um termo de alteração $\beta 1a$, aflorante na periferia de $\beta 1$ numa zona com uma largura a variar entre 10 e 30 m. Os basaltos sãos a ligeiramente alterados são caracterizados no geral por valores de velocidade de propagação das ondas sísmicas situados entre 1 100 m.s⁻¹ e 2 100 m.s⁻¹, numa zona superior e mais descomprimida, passando a possuir em profundidade valores de velocidade de propagação acima de 2 000 m.s⁻¹, chegando mesmo a assumir valores da ordem de 5 000 m.s⁻¹. Com base nos ensaios de laboratório efectuados sobre amostras colhidas nesta zona geotécnica, o coeficiente de *Los Angeles* varia entre 11 e 15%, o coeficiente micro-Deval entre 6 e 8% e a tensão de rotura obtida no ensaio de compressão simples entre 147 e 250 MPa, sendo estes valores representativos de rochas com elevada resistência mecânica.

Sobrejacentemente à zona geotécnica supracitada ocorre uma outra constituída, em regra, por basaltos muito alterados a decompostos designada por $\beta 4-5$. Esta zona geotécnica pode ser observada num horizonte superior com uma espessura variável entre 2 e 6 m, onde o maciço basáltico ainda não foi explorado, assim como na periferia do maciço onde esta vai aumentando progressivamente de espessura, até 6 a 8 m, podendo mesmo ultrapassar estes valores na zona de contacto entre o maciço basáltico e as formações geológicas enquadrantes. Esta zona é caracterizada por valores de velocidade de propagação compreendidos no geral entre 300 e 1 150 $m.s^{-1}$. No conjunto, aflora numa área aproximadamente circular com cerca de 400 m de diâmetro, com excepção da actual área explorada onde o maciço basáltico está a descoberto.

A maior parte da área encontra-se coberta por solos residuais de alteração (solos de cobertura) com uma espessura a variar entre cerca de 0,5 e 2,5 m, e em termos médios da ordem de 1 a 1,5 m, onde foram registados valores de velocidade de propagação entre 265 e 595 $m.s^{-1}$.

Nas zonas Sul e Nascente da chaminé vulcânica podem ser observados depósitos de vertente, apresentando uma espessura máxima de 2 a 3 m, cujos valores de VL variaram entre 475 e 765 $m.s^{-1}$. Encontram-se ainda cartografados depósitos de aterro, em especial na periferia da chaminé a cobrir os basaltos $\beta 4-5$ e parte dos afloramentos $\beta 1a$, assim como na metade Sul da área dispersos na zona envolvente da chaminé sobre os terrenos cretácicos e oligocénicos. Apresentam espessuras muito variáveis, podendo atingir os 3 a 4 m e caracterizam-se por apresentar valores da velocidade de propagação da ordem de 300 $m.s^{-1}$. Os solos de cobertura, depósitos de vertente e aterros, que capeiam as formações do Neocretácico, bem como as do Cretácico e Oligocénico, constituem uma zona geotécnica de fracas características geomecânicas.

2.2. Apresentação dos trabalhos desenvolvidos

2.2.1. Diagrama de fogo de referência

A exploração da pedreira "Moita da Ladra" tem sido realizada com recurso a um diagrama de fogo bem definido, o qual tem sofrido, ao longo dos anos, alterações de pormenor no sentido de o adaptar às condições locais do maciço rochoso em exploração.

Na Tabela 1 são apresentados os dados do diagrama de fogo actualmente utilizado na pedreira.

Tabela 1 – Diagrama de fogo utilizado na pedreira

Características	Valor
Diâmetro do furo [mm]	76
Espaçamento entre furos [m]	3,0
Afastamento à face livre [m]	2,5
Subfuração [m]	0,75
Inclinação do furo [graus com a vertical]	18
Comprimento do furo [m]	12,0
Carga de fundo [kg]	6,25
Carga de coluna [kg]	31,25
Escorvamento	Eléctrico (com micro-retardos de 25 ms entre furos)
Consumo específico de explosivo [g/t]	150

2.2.2. Diagramas de fogo experimentais

Para a realização do trabalho de campo foi definido um diagrama de fogo de referência, semelhante ao diagrama de fogo actualmente utilizado na pedreira (diagrama A) e oito diagramas de fogo experimentais (de B a I). Nos diagramas experimentais foram alterados vários parâmetros mantendo-se, no entanto, o diâmetro de furação, a subfuração, e a inclinação dos furos.

Na Tabela 2 apresentam-se as características dos diagramas de fogo experimentais. A sombreado indicam-se os parâmetros do alterados em cada diagrama experimental, relativamente ao diagrama de referência (A).

Tabela 2 – Parâmetros dos diagramas de fogo experimentais

Características	Designação do diagrama de fogo									
	Actual	A	B	C	D	E	F	G	H	I
N.º de Furos	---	12	4	7	14	12	6	6	10	10
Diâmetro do furo [mm]	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76
Afastamento à face livre [m]	3,0	3,0	3,0	3,5	3,0	2,5	3,0	3,0	3,0	3,0
Espaçamento entre furos [m]	2,5	2,5	2,0	3,0	2,5	2,0	2,5	2,5	2,5	2,5
Subfuração [m]	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Inclinação do furo [graus com a vertical]	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Comprimento do furo [m]	12,0	14	13	14	14	18	18	18	20	20
Carga de fundo [kg]	6,25	7,08	10	10,7	10,7	12,5	12,5	12,5	15	15
Carga de coluna [kg]	31,25	16,66	25	14,3	16,1	22,9	45,8	45,8	50	50
Carga por furo [kg]	37,50	23,75	35	25	26,8	35,4	58,3	58,3	65	65
Escorvamento	Eléctrico (com micro-retardos de 25 ms entre furos)	Eléctrico (com micro-retardos de 25 ms entre furos)	Eléctrico (com micro-retardos de 50 ms entre furos)	Eléctrico (com micro-retardos de 50 ms entre furos)	Eléctrico (com micro-retardos de 25 ms entre furos)	Eléctrico (com micro-retardos de 25 ms entre furos)	Cordão detonante	Cordão detonante tapado	Eléctrico (com micro-retardos de 50 ms entre furos)	Eléctrico (com micro-retardos de 25 ms entre furos)
Consumo específico de explosivo [g/t]	150	98,4	240,1	79,1	109,6	168,2	203,2	203,2	187,7	187,7

3. Monitorização dos desmontes experimentais

3.1. Parâmetros monitorizados

Os parâmetros monitorizados em cada um dos desmontes, no caso das vibrações, foram a velocidade de vibração de pico nas diferentes componentes, expressa em $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$ e a frequência, expressa em Hz. A partir da velocidade de vibração registada nas diferentes componentes o equipamento de medição determina, de forma automática, a resultante da velocidade de vibração de pico. No caso da onda aérea foi medido o nível sonoro de pico, expresso em dB.

3.2. Normas e critérios de análise

Os valores de pico da velocidade vibratória em estruturas civis anexas estão limitados pelo disposto na NP-2074 de 1983, "Avaliação da influência em construções de vibrações provocadas por explosões ou solicitações similares". Esta norma estabelece valores para a velocidade de vibração de pico V_L ($\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$), de acordo com a expressão:

$$V_L = \alpha \cdot \beta \cdot \delta \cdot 10^{-2} \quad (\text{Equação 1})$$

A utilização desta expressão dentro da gama possível das constantes α , β e δ permite a construção da Tabela 3.

Tabela 3 - Valores limites de velocidade de vibração de pico [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$]

Tipos de construção	Solos incoerentes soltos, areias e misturas areia-seixo bem graduadas, areias uniformes, solos coerentes moles e muito moles	Solos coerentes muito duros, duros e de consistência média, solos incoerentes compactos; areias e misturas areia-seixo bem graduadas, areias uniformes	Rocha e solos coerentes rijos
Construções que exigem cuidados especiais	2,5	5	10
Construções correntes	5	10	20
Construções reforçadas	15	30	60

Nota : Estes valores deverão ser corrigidos com um factor de redução 0,7, no caso de se efectuarem mais de duas detonações por dia.

3.3. Equipamento utilizado

A monitorização das vibrações induzidas pelos desmontes com explosivos foi realizada com dois sismógrafos de marca Instantel MiniMate Plus e NitroBickford MiniSeis. Ambos os equipamentos encontravam-se devidamente calibrados.

3.4. Locais monitorizados

Cada detonação foi monitorizada em dois pontos distintos, sendo um desses pontos fixo (ponto 1) variando-se os restante. Os locais de detonação e de medição encontram-se indicados na Figura 1.

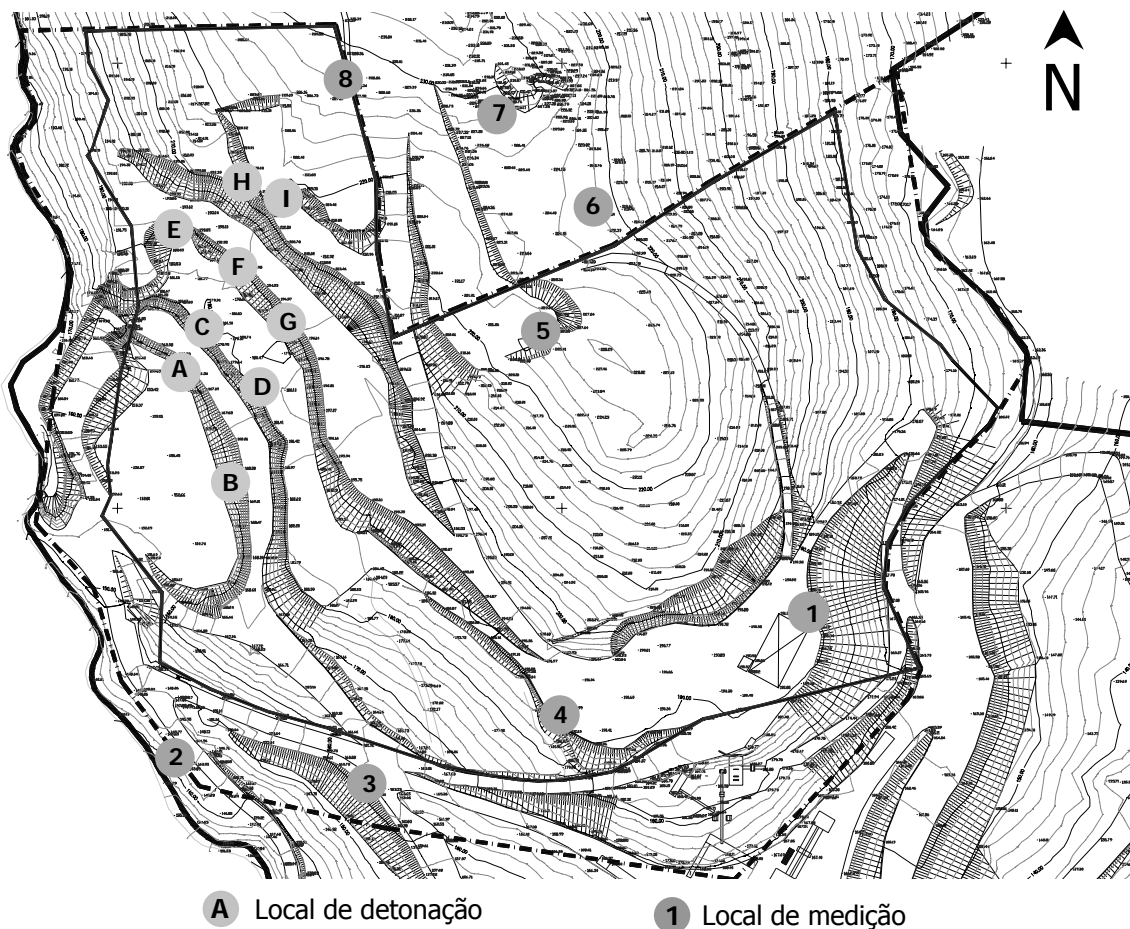


Figura 1: Localização dos pontos de detonação e de medição de vibrações (sem escala)

3.5. Resultados obtidos

Os resultados obtidos nos diferentes locais, bem como as distâncias entre os pontos de detonação e de medição encontram-se indicados na Tabela 4.

Tabela 4 - Resultados obtidos



Código da detonação	Código do local de medição	Distância entre o local de detonação e o equipamento de medição [m]	Velocidade de vibração de pico [mm.s ⁻¹]	Nível sonoro de pico [dB]
A	1	300	1,350	107
	2	170	3,112	110
B	1	280	2,390	121
	3	150	3,207	124
C	1	300	1,270	106
	4	230	1,461	100
D	1	275	1,580	110
	4	170	3,747	110
E	1	315	1,020	128
	7	170	8,192	110
F	1	270	1,710	125
	8	130	16,129	124
G	1	260	1,860	117
	5	170	2,413	115
H	1	310	2,230	109
	6	160	2,445	106
I	1	300	2,450	112
	6	150	2,960	106



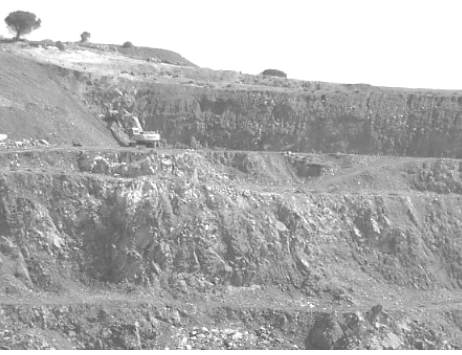
4. Análise de resultados

Na Tabela 5 apresentam-se imagens de cada uma das detonações monitorizadas, identificando-se o objectivo e os parâmetros alterados em cada diagrama em relação ao diagrama de referência (A). Nesta tabela procede-se também a uma breve análise dos resultados obtidos tendo em conta os objectivos preconizados.

Tabela 5 - Resultados obtidos

Código da detonação	Imagem	Análise
A		Objectivo: Detonação de referência
		Parâmetros alterados: não aplicável
		Resultados: não aplicável

Código da detonação	Imagem	Análise
B		<p>Objectivo: Avaliar os efeitos da variação da carga de explosivo por furo</p> <p>Parâmetros alterados: Aumento da carga de explosivo por furo; redução do número de furos e a carga total de explosivo</p> <p>Resultados: observou-se o aumento nos níveis de vibração e de ruído. Ao nível da fragmentação não se observaram diferenças significativas visto que a malha de furação se manteve inalterada. Como consequência do aumento da carga de explosivo por furo, o consumo específico de explosivo aumentou significativamente</p>
C		<p>Objectivo: Avaliar a consequência do aumento da malha de furação ao nível da fragmentação da rocha</p> <p>Parâmetros alterados: Foi alargada a malha de furação, mantendo-se a carga de explosivo por furo</p> <p>Resultados: Os níveis de vibração sofreram uma ligeira redução, pouco significativa. Os níveis de ruído mantiveram-se inalterados A fragmentação da rocha foi bastante reduzida obtendo-se bastantes blocos de elevadas dimensões O consumo específico de explosivo foi reduzido em relação à detonação de referência</p>
D		<p>Objectivo: Avaliar o efeitos de um tipo de explosivo diferente do normalmente utilizado na pedreira, em especial sobre as vibrações e a fragmentação</p> <p>Parâmetros alterados: A carga de explosivo por furo foi aumentada de forma pouco significativa. Foi alterado o tipo de explosivo, utilizando-se apenas emulsões</p> <p>Resultados: Os níveis de vibração e de ruído foram superiores aos medidos na detonação de referência, ainda que esse aumento seja pouco significativo. A fragmentação da rocha foi superior à verificada na detonação de referência ainda que pouco significativa. O consumo específico de explosivo foi ligeiramente superior ao obtido na detonação A.</p>

Código da detonação	Imagem	Análise
E		<p>Objectivo: Avaliar os efeitos, ao nível da fragmentação, da redução da malha de furação e do aumento da carga de explosivo por furo</p> <p>Parâmetros alterados: Redução da malha de furação e do aumento da carga de explosivo por furo</p> <p>Resultados: A fragmentação da rocha foi bastante elevada, sendo o consumo específico de explosivo bastante elevado Os níveis de vibração no ponto 1 (ponto fixo) não variaram significativamente ainda que, no ponto 7, o nível de vibração tenha sido bastante elevado</p>
F		<p>Objectivo: Avaliar os níveis de ruído devido à utilização de cordão detonante.</p> <p>Parâmetros alterados: Tipo de escorvamento, com utilização de cordão detonante.</p> <p>Resultados: Os níveis de ruído medidos foram superiores aos medidos na detonação de referência. Os níveis de vibração no ponto de medição fixo sofreram um ligeiro aumento, em função do aumento na carga de explosivo por furo. No ponto de medição móvel o nível de vibração foi bastante elevado (o mais elevado de toda a campanha de medição), o que ficará a dever-se à carga de explosivo por furo e à reduzida distância entre o local de medição e a detonação (cerca de 130 metros). A fragmentação foi reduzida obtendo-se alguns blocos de grandes dimensões. A carga de explosivo por furo foi elevada, pelo que, o consumo específico de explosivo foi elevado.</p>
G		<p>Objectivo: Avaliar o efeito da cobertura do cordão detonante nos níveis de ruído</p> <p>Parâmetros alterados: O diagrama de fogo foi igual ao utilizado na detonação F, no entanto, o cordão detonante foi tapado com terras.</p> <p>Resultados: Os registos desta detonação serão comparados com os registos da detonação de referência e da detonação F. Os níveis de ruído foram inferiores aos observados na detonação F sendo, no entanto, superiores aos medidos na detonação de referência. Os níveis de vibração não variaram significativamente em relação à detonação F sendo superiores aos níveis medidos na detonação A. Tal como na detonação F, a fragmentação foi reduzida obtendo-se alguns blocos de grandes dimensões. O consumo específico de explosivo igual ao da detonação F</p>

Código da detonação	Imagem	Análise
H		<p>Objectivo: Avaliar o efeito do número de retardos nos níveis de vibração. A análise das detonações H e I será realizada em simultâneo, não sendo comparadas com a detonação de referência</p> <p>Parâmetros alterados: Os diagramas de fogo de ambas as detonações são semelhantes, diferindo apenas no tipo de escorvamento. Foram utilizados detonadores eléctricos com microretardos de 25 ms na detonação H e de 50 ms na detonação I.</p>
I		<p>Resultados: Os níveis de vibração medidos na detonação I foram superiores aos medidos na detonação H. Este facto indicia que o aumento do tempo de retardo permite a ocorrência uma sobreposição das ondas vibratórias e o conseqüente aumento na velocidade de vibração de pico. Os níveis de ruído e de fragmentação da rocha não variam significativamente.</p>

5. Conclusões

A optimização do diagrama de fogo utilizado na exploração da pedreira "Moita da Ladra" permitirá a redução dos impactes ambientais, ao nível das vibrações e do ruído, induzidos pelos desmontes com explosivos. Por outro lado, os trabalhos desenvolvidos permitiram optimizar a fragmentação da rocha, com óbvios benefícios ao nível da redução dos custos associados à remoção e processamento dos materiais explorados.

O diagrama de fogo óptimo será aquele que apresentar o melhor compromisso entre os níveis de vibração e ruído, por um lado, e a fragmentação da rocha e o consumo específico de explosivo, por outro.

O diagrama de fogo C foi o que apresentou melhores resultados ao nível das vibrações, do ruído e do consumo específico de explosivo. Esse desmonte caracterizou-se por apresentar uma malha de detonação mais larga do que a detonação de referência. Apesar dos bons resultados a nível ambiental, a fragmentação foi bastante reduzida tendo-se obtido um grande número de blocos de grandes dimensões, o que aumentará os custos de remoção e fragmentação secundária.

Ao nível da fragmentação, as detonações A e D, foram a que apresentaram melhores resultados.

Dos ensaios realizados, conclui-se que as detonações A e D são as que apresentam melhores desempenhos, gerando reduzidos níveis de vibração e ruído e um bom nível de fragmentação da rocha. O consumo específico de explosivo é também reduzido.

O tipo de escorvamento actualmente utilizado revelou-se o mais adequado, tendo em conta que foi o que apresentou melhor desempenho ao nível das vibrações e do ruído. O cordão detonante é desaconselhado tendo em conta os elevados níveis de ruído gerados.

O estudo realizado, apesar de permitir a definição de um diagrama de fogo óptimo, apresenta algumas limitações. O facto de se variar diferentes parâmetros do diagrama de fogo como sejam, a malha de furação, o tipo de explosivo, o tipo de escorvamento, etc., permite realizar uma análise comparativa dos efeitos dessas alterações nos factores ambientais em análise.

No entanto, este estudo não permite a recolha de dados concretos das características do maciço rochoso onde se desenvolve a exploração. O conhecimento destas características permitirá a definição de cargas de

explosivo por furo de forma a controlar e minimizar os níveis de vibrações nas edificações mais próximas da pedreira.

A concretização do plano de monitorização definido para a pedreira "Moita da Ladra" permitirá a recolha sistemática de informações e a constituição de uma base de dados que possibilitará o conhecimento aprofundado das características geomecânicas do maciço explorado. Assim, será possível estabelecer e aferir uma equação que represente a propagação das ondas sísmicas no maciço rochoso em análise, com benefícios para a gestão ambiental e económica da pedreira.

No âmbito dos trabalhos definidos para o presente estudo preconiza-se que no futuro sejam realizadas medições que permitam o conhecimento aprofundado e a determinação das características de propagação das ondas sísmicas na interface basalto/calcário.

Referências bibliográficas

Visa Consultores, S.A. (2003) "Adaptação ao Decreto-Lei n.º 270/2001, de 6 de Outubro da pedreira de basalto n.º 2029 Moita da Ladra".

Norma Portuguesa NP 2074 (1983). "Avaliação da influência em construções de vibrações provocadas por explosões ou solicitações similares". Instituto Português da Qualidade (IPQ), Lisboa.