

## **NOTA TÉCNICA SOBRE AS VIBRAÇÕES INERENTES À SITUAÇÃO DE REFERÊNCIA DO PROJECTO DA LAGOA SALGADA (GRÂNDOLA)**

### **Resumo**

Pretende-se analisar a situação de referência, a nível das vibrações, em terrenos situados a cerca de 10 km (direcção ENE) de Grândola, nas imediações dos locais: “Cilha Pascoal” e “Fresta”, através da monitorização de 4 estruturas correntes aí fundadas (Figura 1), as quais foram consideradas representativas, no que diz respeito às diversas estruturas limítrofes ao Projecto da Lagoa Salgada, cujo método de exploração prevê trabalhos de escavação com explosivos, cuja afectação circundante é necessário avaliar.



Figura 1. Localização dos pontos de monitorização

Procura-se abordar este problema através do desenvolvimento dos seguintes capítulos:

- 1) Enquadramento técnico do fenómeno das vibrações decorrentes de desmontes com explosivos.
- 2) Resultados da campanha de monitorização, que decorreu a 21 de Março de 2024.
- 3) Limites aplicáveis às amplitudes vibratórias (velocidade de vibração), a que podem ser submetidas as fundações de estruturas habitadas, à luz das normalizações: visando a sua protecção estrutural (a NP 2074:2015, vigente em Portugal) e à incomodidade humana (a Norma Britânica, BS 6472-2:2008).
- 4) Recomendações adicionais aplicáveis ao caso em apreço.
- 5) Conclusões essenciais desta análise.
- 6) Bibliografia técnica usada na elaboração deste documento.

Anexo 1 – certificados de calibração dos sismógrafos usados.

Anexo 2 – relatórios (Log) obtidos pelos sismógrafos, nesta campanha de monitorização.

## 1. Enquadramento técnico do fenómeno das vibrações decorrentes de desmontes com explosivos

As solicitações dinâmicas transmitidas através dos terrenos, sejam por causas naturais (sismos) ou por acções humanas (por exemplo: detonações em maciços rochosos, impactos relativos à cravação de estacas para fundações, etc.), ocorrem por meio de vibrações que se propagam na forma ondulatória, até se atenuarem, a uma certa distância, que no caso das detonações depende do maciço rochoso em apreço e das cargas explosivas usadas por cada retardo (temporização).

Os problemas ocasionados por estes fenómenos colocam-se a dois níveis: perturbações causadas às pessoas que se encontram nas proximidades (incluindo as que ocupam edifícios que vibram) e danos em estruturas e/ou em equipamentos, sítos na vizinhança.

No que se refere às perturbações causadas às pessoas, sabe-se que são menos gravosas na medida em que os seres humanos estão habituados, na sua rotina, a serem sujeitos a situações vibratórias, muito mais intensas que as motivadas por detonações (na gama de distâncias a que geralmente se posicionam, por motivos de segurança relacionados com outros efeitos, por exemplo a projecção de blocos). Por exemplo, ao utilizar os meios de transporte ferroviários ou mesmo rodoviários os seres humanos podem ser sujeitos a amplitudes vibratórias 100 vezes (ou mais) superiores aquelas que resultam de desmontes com explosivo aquelas distâncias. Prova disso é que não existe lei ou normalização específica, no nosso país, para limitar as vibrações ocupacionais (leia-se sentidas à distância), devido a situações de incomodidade humana, embora existam normas (e leis) para limitar este efeito para quem opera (directamente) equipamentos vibratórios (sistema braço-mão, por exemplo: nos martelos pneumáticos manuais).

Contudo, atendendo à definição de substância perigosa, é fácil de compreender as razões que levam a considerar as substâncias explosivas dentro desse conceito, pois são considerados potencialmente nocivos ou perigosos, mas para quem os manuseia e se (e só se) não possui os conhecimentos necessários à sua manipulação sem risco. Assim, todas as actividades humanas que, de alguma forma, envolvam a utilização destes produtos, como é o caso particular de minas, pedreiras e certas obras geotécnicas, são objecto de especial atenção por parte das populações, que dificilmente ficam tranquilas sabendo que existem trabalhos, nas suas imediações, fazendo uso desses produtos.

Acresce a esta circunstância uma outra causa de considerável influência: o medo, dadas as evidentes conotações destas substâncias com propósitos nefastos (como guerra, terrorismo, etc.). Este receio pode aumentar muito a percepção do risco, levando as pessoas a confundir as noções de falha técnica devida a factores não controláveis (que é aceitável, dentro de determinados limites, em Engenharia) e de acidente, obrigando, por isso, os geotécnicos a trabalhar dentro de gamas excessivamente seguras, morosas e antieconómicas. Analisando a percepção do risco, refere-se a título indicativo um estudo que contabilizou os acidentes participados nos EUA, envolvendo os diversos meios de transporte, exemplificando o acréscimo na percepção do risco. Foram declarados, num dado período, nos EUA, 775 acidentes aéreos, 755 acidentes com composições ferroviárias e 722 acidentes com bicicletas (suspeita-se que este valor estará muito aquém da realidade, dado que não é frequente este tipo de acidentes serem declarados). De facto, verifica-se que, embora a ordem de grandeza dos acidentes relacionados com os diversos tipos de veículos seja semelhante, a percepção humana do risco associado às viagens é normalmente muito maior no caso dos aviões que nos comboios e, certamente, que nas bicicletas. As razões que estão na base de tal interpretação são o elevado número de mortes associado a um único acidente com aeronaves, o efeito amplificador devido à difusão por parte da comunicação social e, principalmente, a sensação de impossibilidade de controlo sobre o veículo, nas diversas situações, o que resulta em medo acrescido e num elevado grau de percepção do risco. Julga-se que esta situação tem paralelo com a que aqui está em análise. De facto, há um desconhecimento por parte das populações vizinhas aos trabalhos de escavação, que lhes transmite a tal impossibilidade de controlo sob as situações que observam (ou sentem) gerando pânico.

Relativamente aos efeitos das vibrações sobre as estruturas construídas, à luz dos princípios éticos da Engenharia, a sua segurança tem de ser garantida, constituindo uma das preocupações básicas da

Geotecnia. Nas obras geotécnicas, a especificidade da segurança estrutural reside, antes de mais, no carácter muito particular que as estruturas apresentam e nos diversos domínios de ocorrência espacial (tanto de superfície, como subterrâneo). Em qualquer dos casos, os movimentos nas estruturas, resultantes dos movimentos do terreno, dependem (como antes referido) de uma multiplicidade de factores, entre os quais se destacam:

- a quantidade de energia libertada no fenómeno que as ocasionou,
- a distância entre a origem e o ponto onde se registam os seus efeitos,
- as propriedades transmissoras ou dissipadoras dos terrenos envolvidos e
- a resistência dinâmica da estrutura e dos seus componentes mais frágeis.

## 2. Resultados da campanha de monitorização que decorreu a 21 de Março de 2024

Apresentam-se em seguida (Tabela 1) as informações básicas relevantes sobre os 4 pontos de monitorização, indicados na Figura 1, assim como um pormenor da sua localização relativa (Figura 2).

Tabela 1. Coordenadas e períodos de monitorização dos diversos pontos

Ponto	Locais	Latitude	Longitude	Comentários	Período de monitorização
1	Solicitado inicialmente	38°13'01.57"N	8°28'33.10"W	Sismógrafo instalado num ponto diferente, mas próximo, do estipulado inicialmente, o qual não tinha acesso, isto é, a cerca de 160 m (na estrutura mais próxima)	Dia: 21/03/2024 (manhã) Início: 9h41min Final: 12h41min
	Instalação Sismógrafo	38°12'56.17"N	8°28'32.97"W		
2	Solicitado inicialmente	38°13'12.21"N	8°27'39.39"W	Local do Sismógrafo aproximadamente igual ao local pré-estabelecido, o qual não tinha acesso, isto é, na estrutura adjacente	Dia: 21/03/2024 (tarde) Início: 14h48min Final: 17h48min
	Instalação Sismógrafo	38°13'12.57"N	8°27'38.83"W		
3	Solicitado inicialmente	38°13'21.10"N	8°28'22.07"W	Sismógrafo instalado local pré-estabelecido	Dia: 21/03/2024 (manhã) Início: 9h30min Final: 12h33min
	Instalação Sismógrafo	38°13'21.05"N	8°28'22.17"W		
4	Solicitado inicialmente	38°13'02.82"N	8°26'26.66"W	Sismógrafo instalado muito próximo do local pré-estabelecido, que estava vedado	Dia: 21/03/2024 (tarde) Início: 15h06min Final: 18h06min
	Instalação Sismógrafo	38°13'03.25"N	8°26'26.18"W		



Figura 2. Localização relativa dos pontos de monitorização

É de referir que, nesta campanha de monitorização, foram usados 2 Sismógrafos de Engenharia, dotados de geofones triaxiais, tal como é exigido no capítulo 6 da NP 2074:2015, os quais foram fabricados de acordo com os preceitos da Norma DIN 4150 (congénere da NP 2074 e explicitamente referida no capítulo 3 desta).

Ambos os aparelhos (fabricados em 2020) são da marca INSTANTEL (<https://www.instanтел.com/>), modelo MICROMATE, cujas características estão disponíveis em: <https://www.instanтел.com/products/micromate>. Estes 2 aparelhos têm os seguintes números de série (únicos): UM16948 e UM16950.

Do ponto de vista das calibrações, ambos têm a sua situação regularizada, pois foram calibrados em Agente Autorizado do fabricante (<https://www.instanтел.com/calibration-sites> & <https://www.instanтел.com/dealer/ceme-centre-dactivite-nouvelles>), há menos de 1 ano, tal como previsto no capítulo 6 da NP 2074:2015. São apresentados os respectivos certificados de calibração, no Anexo 1, a este documento, neste caso, evidenciando que as calibrações se encontram válidas até 22/02/2025 (UM16948) e 15/09/2024 (UM16950).

Conforme recomendam as boas práticas, previamente a cada período de medição, foi colocado um saco de areia em cada geofone, de modo a evitar quaisquer interferências externas, como por exemplo as causadas pelo vento ou por algum objecto transportado por este, que possa embater no geofone. De acordo com o preceituado na NP 2074:2015, estes geofones foram sempre colocados num elemento rígido, plano e horizontal, solidário com a fundação, situado a menos de 50 cm de altura relativamente à cota do terreno exterior, com a direcção longitudinal (L) voltada para o local do Projecto e outro eixo na vertical (V), Figura 3.

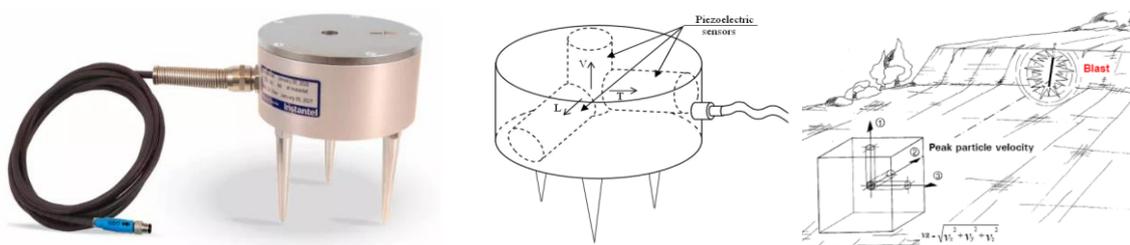


Figura 3. Aspectos de um geofone e sua orientação, em função das direcções principais de medição (L,V,T)

No que diz respeito ao *trigger* (que é o valor mínimo a partir do qual o sismógrafo é accionado, regista e arquiva na memória um qualquer evento), foi escolhido o valor de 0,3 mm/s porque, é consensual na Comunidade Técnica que, este é o valor habitual da sensibilidade humana às vibrações, ainda que o mesmo seja variável (de pessoa para pessoa – susceptibilidade de cada indivíduo) e muito dependente da actividade que a pessoa em causa está a levar a cabo, no instante do evento vibratório. Acredita-se que este valor só será atingido, se a posição da pessoa for de repouso (sentada ou deitada) e em trabalho intelectual (concentrado) ou descanso (ambos pressupondo um ambiente calmo). Note-se que este é considerado o valor mínimo da percepção humana, mas não da admissibilidade (normativa), relativamente às vibrações, pois todas as normas a nível internacional definem valores mínimos muito acima deste (no caso da NP 2074:2015, o valor mínimo, para a situação mais conservadora que a norma contempla, é 5 vezes maior do que este, ou seja, igual a 1,5 mm/s).

Apresentam-se nas figuras seguintes algumas imagens relevantes, dos 4 pontos monitorizados, assim como um extracto do relatório (Log) obtido a partir do sismógrafo (no Anexo 2), comprovando que os sismógrafos estiveram instalados e ligados, com o *trigger* referido, nos períodos indicados, naqueles 4 pontos (Tabela 1).

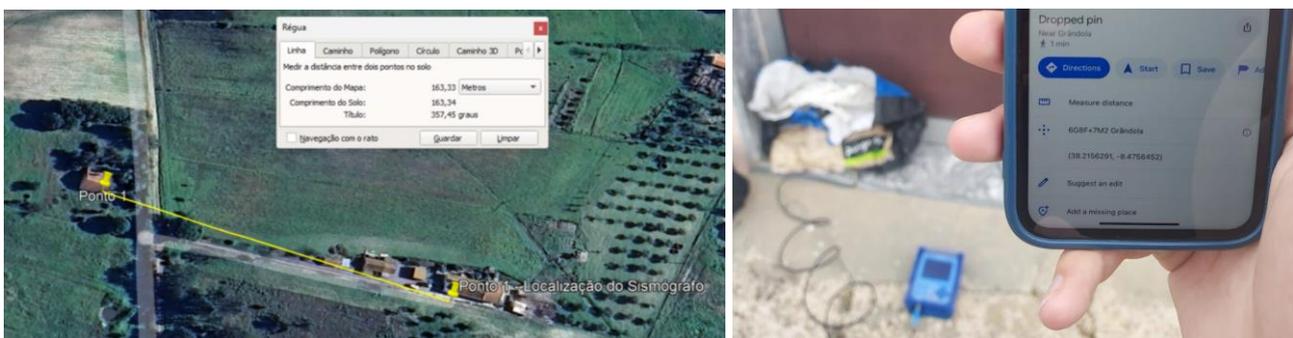


Figura 4. Desvio do Ponto 1, face ao local pré-estabelecido (por falta de acesso)



Figura 5. Aspectos da estrutura monitorizada e instalação do sismógrafo, com o respectivo geofone (ponto 1)



### Monitor Log

<b>Project name</b>	Default Project	
<b>File name</b>	UM16950_20240321094159.MLG	
<b>Serial Number</b>	UM16950	
<b>Unit Name</b>	UM16950	
<b>Description</b>		
<b>Start Date/Time</b>	<b>End Date/Time</b>	<b>Description</b>
3/21/2024 9:41:59 AM		Start Monitoring Waveform Geo: 0.300 mm/s
3/21/2024 9:41:52 AM	3/21/2024 12:41:03 PM	No events recorded. (Keyboard Exit) Waveform Geo: 0.300 mm/s

(...)

Created by version 1.5.0.29. Format © 2021 Xmark Corporation Page 1 / 1

Figura 6. Relatório (Log) do sismógrafo, com o período de medição e o *trigger*, referindo o número de eventos registados, nesse período, no ponto 1, neste caso 0/nenhum (o ficheiro original que gerou este extracto, também apresentado no Anexo 2, **UM16950\_20240321094159** é um ficheiro encriptado pela INSTANTEL, logo não passível de sofrer qualquer alteração, disponível a pedido)

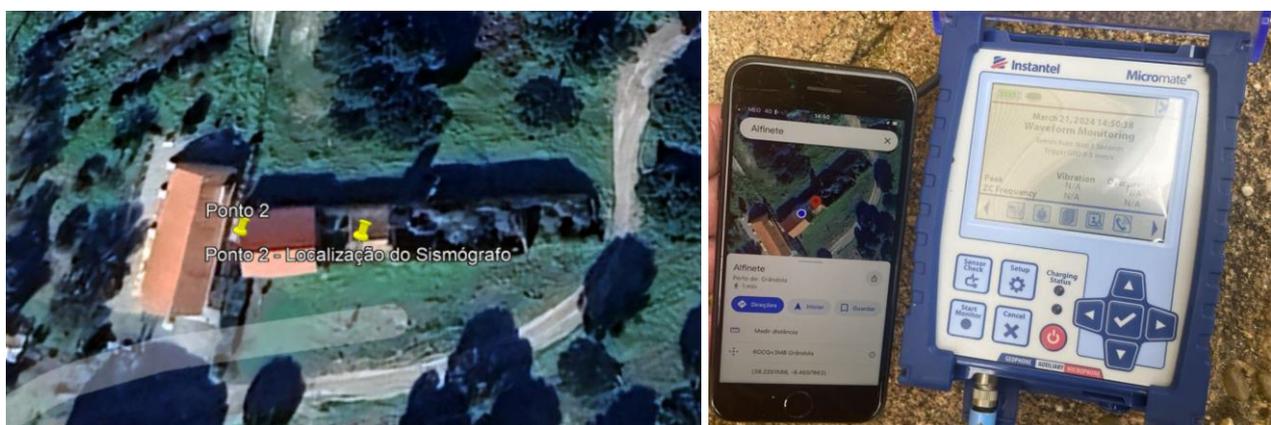


Figura 7. Desvio do Ponto 2, face ao local pré-estabelecido (por falta de acesso)





Figura 11. Aspectos da estrutura monitorizada e instalação do sismógrafo, com o respectivo geofone (ponto 3)



### Monitor Log

<b>Project name</b>	Default Project	
<b>File name</b>	UM16948_20240321093019.MLG	
<b>Serial Number</b>	UM16948	
<b>Unit Name</b>		
<b>Description</b>		
<b>Start Date/Time</b>	<b>End Date/Time</b>	<b>Description</b>
3/21/2024 9:30:19 AM		Start Monitoring Waveform Geo: 0.300 mm/s
3/21/2024 9:30:09 AM	3/21/2024 12:33:06 PM	No events recorded. (Keyboard Exit) Waveform Geo: 0.300 mm/s

(...)

Created by version 1.5.0.29.
Format © 2021 Xmark Corporation
Page 1 / 1

Figura 12. Relatório (Log) do sismógrafo, com o período de medição e o *trigger*, referindo o número de eventos registados, nesse período, no ponto 3, neste caso 0/nenhum (o ficheiro original que gerou este extracto, também apresentado no Anexo 2, **UM16948\_20240321093019** é um ficheiro encriptado pela INSTANTEL, logo não passível de sofrer qualquer alteração, disponível a pedido)



Figura 13. Localização do Ponto 4, muito próximo do local pré-estabelecido, que estava vedado



Figura 14. Aspectos da estrutura monitorizada e instalação do sismógrafo, com o respectivo geofone (ponto 4)



### Monitor Log

Project name	Default Project	
File name	UM16950_20240321150631.MLG	
Serial Number	UM16950	
Unit Name		
Description		
Start Date/Time	End Date/Time	Description
3/21/2024 3:06:31 PM		Start Monitoring Waveform Geo: 0.300 mm/s
3/21/2024 3:06:25 PM	3/21/2024 6:06:33 PM	No events recorded. (Keyboard Exit) Waveform Geo: 0.300 mm/s

(...)

Created by version 1.5.0.29. Format © 2021 Xmark Corporation Page 1 / 1

Figura 15. Relatório (Log) do sismógrafo, com o período de medição e o *trigger*, referindo o número de eventos registados, nesse período, no ponto 4, neste caso 0/nenhum (o ficheiro original que gerou este extracto, também apresentado no Anexo 2, **UM16950\_20240321150631** é um ficheiro encriptado pela INSTANTEL, logo não passível de sofrer qualquer alteração, disponível a pedido)

Pela inexistência de qualquer evento, nestes 4 pontos, em que foram usados 2 Sismógrafos de Engenharia, cumprindo todos os requisitos da NP 2074:2015, conclui-se que não existem, nas imediações dos locais monitorizados, quaisquer fontes vibratórias capazes de accionar os sismógrafos, com um *trigger* de 0,3 mm/s que é o valor considerado habitual da sensibilidade humana às vibrações.

**3. Limites aplicáveis às amplitudes vibratórias (velocidade de vibração), a que podem ser submetidas as fundações de estruturas habitadas, à luz das normalizações: visando a sua protecção estrutural (a NP 2074:2015, vigente em Portugal) e à incomodidade humana (a Norma Britânica, BS 6472-2:2008)**

Em Portugal, vigora (pelo Termo de Homologação do IPQ nº 40/2015, de 2015-06-08) a Norma Portuguesa (NP) nº 2074, intitulada "Avaliação da influência de vibrações impulsivas em estruturas", que visa limitar os efeitos nocivos que as vibrações podem motivar em estruturas vizinhas aos trabalhos de escavação com explosivos, de cravação de estacas, ou de outros da mesma índole. Esta norma (NP2074, 2015) estabelece o valor limite para a velocidade da vibração de pico, conforme indicado na tabela seguinte.

Tabela 2. Limites estabelecidos na NP 2074:2015, para a velocidade da vibração de pico resultante (mm/s)

Tipo de estruturas	Frequência dominante, f		
	f ≤ 10 Hz	10 Hz < f ≤ 40 Hz	f > 40 Hz
Sensíveis	1,5	3,0	6,0
Correntes	3,0	6,0	12,0
Reforçadas	6,0	12,0	40,0

A comunidade técnica concorda em classificar esta norma como adequada e até bastante conservadora, orientada para a protecção de todos e quaisquer danos em estruturas, incluindo os cosméticos (como fissuração capilar de estuques), para além dos próprios danos estruturais, que raramente ocorrem, já que se previnem até os anteriores.

Coloca-se ainda um cenário alternativo, de consideração da normalização internacional habitualmente considerada para a incomodidade humana (a *British Standard: BS 6472-2:2008*).

Tabela 3. Limites estabelecidos na BS 6472-2:2008, para a velocidade da vibração de pico em qualquer direcção (mm/s)

**Maximum satisfactory magnitudes of vibration with respect to human response for up to three blast vibration events per day**

Place	Time	Satisfactory magnitude <sup>A)</sup> ppv mm·s <sup>-1</sup>
Residential	Day <sup>D)</sup>	6.0 to 10.0 <sup>C)</sup>
	Night <sup>D)</sup>	2.0
	Other times <sup>D)</sup>	4.5
Offices <sup>B)</sup>	Any time	14.0
Workshops <sup>B)</sup>	Any time	14.0

A) The satisfactory magnitudes are the same for the working day and the rest of the day unless stated otherwise.

B) Critical working areas where delicate tasks impose more stringent criteria than human comfort are outside the scope of this standard.

C) Within residential properties people exhibit a wide variation of tolerance to vibration. Specific values are dependent upon social and cultural factors, psychological attitudes and the expected degree of intrusion. In practice the lower satisfactory magnitude should be used with the higher magnitude being justified on a case-by-case basis.

D) For the purpose of blasting, daytime is considered to be 08h00 to 18h00 Monday to Friday and 08h00 to 13h00 Saturday. Routine blasting would not normally be considered on Sundays or Public Holidays. Other times cover the period outside of the working day but exclude night-time, which is defined as 23h00 to 07h00.

Verifica-se que todos os valores desta norma britânica (considerando o período do dia, em que se pode facilmente convencionar que se darão os desmontes – das 8:00h às 18:00h nos dias úteis, período aliás muito próximo do que é sugerido pela NP 2074:2015 – das 7:00h às 20:00h) se encontram acima (de 6,0 a 10,0 mm/s) do que aqueles que são sugeridos pela NP 2074 (máximo de 6,0 mm/s, em estruturas correntes, que foram as que, de acordo com os critérios patentes na NP 2074:2015, foram monitorizadas), pelo que se considera a análise anterior mais conservadora e, conseqüentemente, mais adequada ao caso em apreço. Para efeitos desta comparação, admite-se que não serão esperadas frequências muito elevadas (acima de 40 Hz) pois de acordo com a bibliografia da especialidade, essas são típicas de desmontes com perfil de obra pública, isto é, com cargas mais aligeiradas do que qualquer trabalho mineiro e cujas vibrações são habitualmente medidas a distâncias muito menores. Assim, o limite de 12 mm/s não é/foi considerado nesta comparação da NP 2074:2015 com a BS 6472-2:2008.

A carga máxima admissível por retardo pode ser cuidadosamente pré-estabelecida, observando os requisitos normativos, especialmente quando se encontrarem reduzidas as distâncias envolvidas entre determinadas zonas da mina e quaisquer estruturas adjacentes, o que se julga não ser aplicável nesta situação, porque se trata de uma mina subterrânea com profundidades de exploração consideráveis. Para xistos, os quais se julga que se podem encontrar a encaixar os depósitos minerais, com interesse económico, em profundidade, pode ser estimada a velocidade previsível nesse caso usando a equação seguinte, para este tipo de litologia (Bernardo e Vidal, 2005):

$$v = 1598.Q^{0,88}.D^{-2,06} \quad \text{(Equação 1)}$$

em que 'v' é a velocidade vibratória (comparável com os valores da NP2074, Tabela 2), 'Q' é a carga máxima admissível por retardo (em kg de explosivo, por cada instante distinto ~ kg/#) e 'D' a menor distância entre o desmonte e a estrutura monitorizada (em m).

A equação anterior permite, para diversas distâncias (porque as frentes de desmonte são dinâmicas, no espaço subterrâneo da futura mina) e para várias cargas máximas por retardo a usar (em função do tipo de desmonte), estimar a velocidade vibração, para comparação com a NP 2074:2015 (a mais conservadora).

Tabela 4. Valores da velocidade vibratória (em mm/s), calculados através da Equação 1, para diversas situações de distância (D – m, em linha) e de carga máxima por retardo (Q – kg/#, em coluna), comparados com a NP 2074:2015, usando o código de cores indicado (do lado direito)

D (m)	Q (kg/#)	Cenários <i>drift</i> * (1, 3 e 5 furos/#)			Cenários em bancadas ** (dependendo do diâmetro de furação e tipo de iniciação)					Domínios (obtidos a partir dos valores numéricos à esquerda) da velocidade vibratória (v, em mm/s), comparados com a NP 2074:2015 e com a sensibilidade humana habitual às vibrações			
		7	21	35	50	75	100	125	150	v<3	6<v<12	12<v<40	v>40
50		2,8	7,37	11,5	15,8	22,6	29,1	35,4	41,6	v<3	6<v<12	12<v<40	v>40
100		0,672	1,767	2,769	3,790	5,415	6,976	8,489	9,966	v<1,5	v<3	3<v<6	6<v<12
150		0,291	0,766	1,201	1,644	2,349	3,026	3,682	4,323			v<3	3<v<6
200		0,161	0,424	0,664	0,909	1,299	1,673	2,036	2,390				v<3
250		0,102	0,268	0,419	0,574	0,820	1,056	1,286	1,509				
300		0,070	0,184	0,288	0,394	0,563	0,726	0,883	1,037				
350		0,051	0,134	0,210	0,287	0,410	0,528	0,643	0,755				
400		0,039	0,102	0,159	0,218	0,311	0,401	0,488	0,573				
450		0,030	0,080	0,125	0,171	0,244	0,315	0,383	0,450				
500		0,024	0,064	0,101	0,138	0,197	0,253	0,308	0,362				
550		0,020	0,053	0,083	0,113	0,162	0,208	0,253	0,297				
600		0,017	0,044	0,069	0,095	0,135	0,174	0,212	0,249				
650		0,014	0,037	0,059	0,080	0,115	0,148	0,180	0,211				
700		0,012	0,032	0,050	0,069	0,098	0,127	0,154	0,181				
750		0,011	0,028	0,044	0,060	0,085	0,110	0,134	0,157				
800		0,009	0,024	0,038	0,052	0,075	0,096	0,117	0,137				
850		0,008	0,022	0,034	0,046	0,066	0,085	0,103	0,121				
900		0,007	0,019	0,030	0,041	0,059	0,075	0,092	0,108				
950		0,007	0,017	0,027	0,037	0,052	0,068	0,082	0,096				
1000		0,006	0,015	0,024	0,033	0,047	0,061	0,074	0,087				

**v<0,3 mm/s (inferior à sensibilidade humana)**

(tratando-se de uma mina subterrânea, julga-se que a grande maioria dos valores, que vão ter origem nos desmontes, se situem neste domínio)

*Nota:* o extremo superior deste domínio (0,3 mm/s) é 5 vezes menor que o valor da NP 2074 (1,5 mm/s)

\* neste cenário (*drift*) considera-se que cada furo terá no máximo 7 kg, logo apresentam-se valores para 1, 3 e 5 furos/retardo

\*\* em bancadas, com iniciação múltipla, é normal ter valores mínimos de 50 kg/#, que podem ir até ~150 kg/#, caso seja usado apenas um detonador/furo, considerando nestes casos (*bancadas*) a utilização exclusiva de detonadores electrónicos, como sugerido na NP 2074, para obviar a sobreposição de temporizações (por exemplo, se forem disparadas várias fiadas, no mesmo desmonte, o que é habitual)

Finalmente, no contexto deste capítulo, há que referir que a análise aqui levada a cabo (usando a Eq. 1) é a possível neste momento, pela inexistência de uma caracterização dinâmica adequada ao maciço em questão, justificando o recurso à bibliografia da especialidade para definição dos coeficientes ('a', 'b' e 'c'), adequados ao tipo litológico inferido (tal como refere a NP 2074:2015, no seu Anexo). No futuro, devem ser recolhidos dados de registos obtidos no terreno, de desmontes reais ou de cargas teste, que reproduzam as expectáveis situações de desmonte, para vir a estabelecer estatisticamente (por regressão linear múltipla), uma relação deste tipo mais ajustada à realidade local, com coeficientes ('a', 'b' e 'c') consentâneos com este maciço rochoso e com o tipo de desmontes (incluindo os tipos específicos de explosivos) que vão ser usados.

Para terminar esta abordagem apresenta-se a Tabela 5, existente na bibliografia da especialidade (Daniel, 2000), que dá conta da velocidade vibratória que seria necessário verificar para que se verificassem danos cosméticos (apenas visíveis nas partes mais frágeis das estruturas, por exemplo em revestimentos interiores).

Tabela 5. Efeito da velocidade de vibração em construções e nível de risco (assinalado o caso do xisto)

Velocidade das ondas (m/s)	1000 – 1500 areia, gravilha	2000 – 3000 Xisto, calcário	4500 - 6000 Granito, gnaiss	Resultado em casas de fabrico normal	Nível de risco
	18	<b>35</b>	70	Sem efeito	3%
	30	55	100	Pequenas fracturas, queda de rebocos	6%
	40	80	150	Fracturas visíveis	12%
	60	115	225	Fracturação grave	25%
	75	150	300	Queda de blocos, desmoronamento	50%

Verifica-se que o menor valor assinalado, capaz de motivar qualquer tipo de dano (mínimo, risco de 3%), é bastante superior ao que prevê a NP 2074:2015 e ao esperado nas imediações deste Projecto (Tabela 4).

#### 4. Recomendações adicionais aplicáveis ao caso em apreço

As vibrações constituem a causa mais comum de preocupações e de protestos, por parte das pessoas na vizinhança de trabalhos de escavação com explosivos, pois o limiar da percepção humana (sujeito à susceptibilidade de cada indivíduo), pode alcançar valores mínimos da ordem de grandeza dos 0,3 mm/s (podendo ser inferior, dependendo essencialmente da actividade levada a cabo pelo receptor).

Esta susceptibilidade é a que está, muitas vezes, na base de reclamações, por parte de terceiros que, ao sentirem as detonações, vão imputar em primeira instância aos trabalhos de escavação todos os danos que encontrarem nas suas residências, ainda que as intensidades vibratórias devidas às acções de escavação sejam consideravelmente inferiores aos limites máximos admissíveis, preconizando outros fenómenos na origem desses danos. De facto, poderá comprovar-se fácil e tecnicamente que eventuais danos encontrados em qualquer estrutura, nem sempre (ou muito raramente) podem ser atribuídos às vibrações, mesmo que tenham origem em operações de escavação com explosivos. De facto, diversos especialistas e a própria NP 2074:2015 (no seu capítulo 7), apresentam uma série de motivos que, individual ou cumulativamente, podem conduzir à existência de fissuras nas estruturas e/ou nos seus revestimentos, como são exemplo:

- Expansões diferenciais térmicas (dada a diversidade dos materiais de construção hoje aplicados);
- Alterações de ordem química nos materiais de construção;
- Sobrecargas estruturais, devidas à utilização específica de cada fracção da estrutura;
- Variações sazonais de volume (ciclos de expansão/contracção) dos materiais de construção (especialmente da madeira, quando presente);
- Fadiga e envelhecimento dos revestimentos, aplicados em pisos e paredes, respectivamente;
- Assentamentos diferenciais da fundação, particularmente quando varia a capacidade de carga dos terrenos que a suportam (devido a heterogeneidades litológicas ou a diferentes níveis freáticos, logo a diferentes níveis de infiltração de águas nos terrenos, considerados os diversos lados da estrutura).

Assim, pelo facto de ter sido caracterizada uma situação de referência sem fontes vibratórias, julga-se que são de considerar as três seguintes estratégias:

- 1) Proceder a uma avaliação prévia de diversas estruturas nas imediações do Projecto (pelo menos as que se situarem mais próximas), procurando registar cuidadosamente qualquer dano pré-existente, aos trabalhos de desmonte com explosivo, idealmente recorrendo a um qualquer testemunho externo (às partes envolvidas no Projecto). Nessa análise, deve ser procurada a patologia mais frequente de danos provenientes de vibrações, que é o da ocorrência de fendas em forma de “x” (Figura 16). De facto, geralmente, nas paredes rebocadas e estucadas, essas fendas ocorrem devido ao facto de o movimento relativo das bases de uma estrutura, originar tensões de tracção, nas diagonais dos paralelogramos, que, ao vencerem a resistência dos materiais, causam esse tipo de danos.



Figura 16. Fendas típicas devidas a movimentos sísmicos/vibratórios

- 2) Usar detonadores electrónicos, tal como sugere o Anexo da NP 2074:2015, em todos os desmontes de bancada (o que não é necessário nos desmontes em *drift*, desde que as estruturas que se pretende proteger se situem a mais de 300 m dos desmontes, tal como sugerido pela Tabela 4, distância essa que parece provável de ser obtida, pelo facto dos desmontes serem subterrâneos). Em trabalhos mais superficiais, por exemplo de construção de acessos, em que essa distância não esteja salvaguardada, deve sempre ser usado este sistema de iniciação, porque é o único que permite, com precisão, distinguir os tempos de cada furo e evitar sobreposições de temporizações.
- 3) Procurar desde o início do Projecto, trabalhar com um sistema de monitorização remota, tal como sugere o Anexo da NP 2074:2015, instalado em múltiplos pontos considerados críticos e com o envio automático e em tempo real de avisos e registos às múltiplas partes envolvidas no Projecto e interessadas nos resultados da monitorização.

## 5. Conclusões essenciais desta análise

Como foi antes referido, esta apresenta-se como uma Situação de Referência “impoluta”, do ponto de vista das vibrações, o que se comprova pela ausência de qualquer actividade vibratória num período de 3 horas, verificado em 4 pontos próximos deste Projecto, que justificam todas as acções de monitorização sistemática, das operações de desmonte futuras, no dia-a-dia da Mina (por Sismógrafos de Engenharia devidamente calibrados e apropriadamente localizados nas suas imediações), estabelecendo permanentemente as comparações oportunas com a normalização aplicável (a NP 2074:2015) e a normalização adicional, mesmo que não vigore em Portugal, por ter sido sugerida pelas autoridades (a BS 6472-2:2008).

Acredita-se ainda que os promotores deste Projecto se preocupem em desenvolver os estudos técnico-científicos, actualizando constantemente (através das referidas monitorizações) uma adequada caracterização dinâmica aplicável aos terrenos nas imediações da Mina, visando estabelecer correlações, robustas e inquestionáveis do ponto de vista técnico, entre as cargas explosivas usadas (máximas por retardo), as distâncias verificadas (entre os pontos de monitorização e desmonte) e a velocidade vibratória previsível (indicador das tensões dinâmicas, transmitidas pelos terrenos, capazes de causar danos, se for atingida a gama de valores limite previstos na NP 2074).

Será necessário trabalhar, nestes desmontes, com “diagramas de fogo” bem definidos e convenientemente dimensionados (em termos da qualidade, quantidade e distribuição – no espaço e no tempo – das substâncias explosivas aplicadas), os quais são parte integrante do plano de lavra da Mina, usando, nesses desmontes, as substâncias explosivas e os sistemas de iniciação tecnologicamente mais avançados (e que mais recentemente foram desenvolvidos, designadamente as emulsões explosivas e os detonadores electrónicos, quando se justifique), para mitigar quaisquer efeitos colaterais, em detrimento da optimização económica que poderia ser conseguida, caso esta não fosse a principal preocupação.

Esperando ter contribuído, de alguma forma, para o esclarecimento das dúvidas inerentes a este problema, coloca-se o autor desta nota técnica ao dispor, para o esclarecimento de quaisquer outras que possam surgir.

08/042024



*Pedro Alexandre Marques Bernardo\**

*NOTA: Por opção própria, o autor escreve segundo o anterior Acordo Ortográfico*

\* breve resumo biográfico do autor:

- Engenheiro de Minas, IST 1993
- Mestrado em Mineralurgia e Planeamento Mineiro, IST 1995
- Doutoramento em Engenharia de Minas, IST 2004
- Membro Sénior, Ordem dos Engenheiros 2005
- Especialista em Geotecnia, Ordem dos Engenheiros 2007
- Prof. Auxiliar Convocado do IST (na carreira Docente Universitária desde 1992)
- Ex- Prof. Adjunto Convocado do ISEP (2015-2019), a Convite do Departamento de Eng. Geotécnica
- Presidente do Conselho de Administração da Orica Mining Services Portugal, a trabalhar na indústria desde 2006, inicialmente como Diretor Técnico e Comercial da Sociedade de Explosivos Civis, SA do então grupo CUF (pertencente à *holding* José de Mello)
- Responsável Técnico da Fábrica da Orica Mining Services Portugal, SA, em Aljustrel, desde 2013
- Membro da Direção da AP3E - Associação Portuguesa de Estudos e Eng<sup>a</sup> de Explosivos, desde 2009
- Membro (desde 2016) do Blasting Practice WG na Federation of European Explosives Manufacturers
- Membro (Suplente) do Colégio Nacional de Engenharia Geológica e de Minas da Ordem dos Engenheiros, no mandato 2022/2025
- Membro (Vogal efectivo) do Colégio Nacional de Eng. Geológica e de Minas da Ordem dos Engenheiros, nos mandatos 2004/2007 e 2007/2010
- Membro (Secretário-Adjunto) da Direção da Sociedade Portuguesa de Geotecnia, entre 2004 e 2008
- Membro eventual da Agência Nacional de Inovação (Painéis de Avaliação de Projetos)
- Cédula de Operador de Substâncias Explosivas (MAI - Portugal) nº 10817/2005
- Outras informações em: [pedro.bernardo@tecnico.ulisboa.pt](mailto:pedro.bernardo@tecnico.ulisboa.pt) e/ou [pedro.bernardo@orica.com](mailto:pedro.bernardo@orica.com)

## 6. Bibliografia técnica usada na elaboração deste documento.

Bernardo, P.A.M. (2004). "Impactes Ambientais do uso de Explosivos na Escavação de Rochas, com Ênfase nas Vibrações". Dissertação para obtenção do grau de Doutor em Eng<sup>a</sup> de Minas. IST, Lisboa. Portugal.

Bernardo, P.A.M. & Torres, V.F.N. (2005). "Metodologia para a prevenção de danos e controle ambiental de vibrações causadas por detonações em maciços rochosos". XV Encontro Nacional do Colégio de Engenharia Geológica e de Minas da Ordem dos Engenheiros. Ponta Delgada, 26 a 29/05/2005. Portugal.

Daniel F. (2000). "Manual de Utilização de Explosivos em Explorações a Céu Aberto". Divisão de Minas e Pedreiras do Instituto Geológico e Mineiro. Portugal.

Dinis da Gama, C. (1998). "Ruídos e Vibrações Ligados à Utilização dos Explosivos e Equipamentos". Comunicações do 1º Seminário de Auditorias Ambientais Internas. Divisão de Minas e Pedreiras do Instituto Geológico e Mineiro. Portugal.

Dowding, C. H. (1992). "Rock Breakage: Explosives – Monitoring and Control of Blast Effects". SME Mining Engineering Handbook. Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc. Hartman, H. L. (Editor). 2ª Edição. Volume 1, pp 746-760. Littleton, Colorado. E.U.A.

Jimeno, C. L. & Jimeno, E. L. & Carcedo, F. J. A. (1995). "Drilling and Blasting of Rocks". Balkema/ Rotterdam. Netherlands.

NP 2074:2015 (IPQ). Portugal

BS 6472-2:2008. UK

Documentos disponíveis em: [https://siaia.apambiente.pt/PDA.aspx?DAM\\_ID=223](https://siaia.apambiente.pt/PDA.aspx?DAM_ID=223)

Parecer comissão de avaliação

Relatório da consulta pública

Propostas de Definição de Âmbito

Decisão sobre a PDA

(N. PDA: 223; Nº AIA associado: 3701; Designação do projeto: Mina da Lagoa Salgada)

**Anexo 1:**

Certificados de calibração dos sismógrafos usados.

# Calibration Certificat

Part No 721A2601  
Description MICROMATE  
Calibration Date February 22, 2024  
Serial Number UM16948

TEST REFERENCE	MODEL	SERIAL
B&K Conditioning Amplifier	NEXUS 2692	2645353
LDS Shaker Contrôle System	COMET USB	12445427
B&K Charge Accelerometer	4383 V	30410
TIRA Shaker System	TV5220	207/08
G.R.A.S. Low-Frequency Calibrator	42AE	95643
B&K Reference Microphone	4193-L-004	2618270

SARL CEME certifies that the above product was calibrated in accordance with the applicable InstanTEL procedures.

All calibrations has been performed using standards whose accuracies are traceable to the National Institute of Standard and Technology.

Alternatively, accuracies have been derived from accepted values of natural physical constants, or have been derived by the ration of self-calibration techniques. This certificat applies only to the instrument identified above and shall not be reproduced, except in full, without the specific written approval by the calibration organization issuing this report.

Director Metrology  
Franck JOUFFROY

February 22, 2024

# Calibration Certificat

Part No 721A2601  
Description MICROMATE  
Calibration Date September 15, 2023  
Serial Number UM16950

TEST REFERENCE	MODEL	SERIAL
B&K Conditioning Amplifier	NEXUS 2692	2645353
LDS Shaker Contrôle System	COMET USB	12445427
B&K Charge Accelerometer	4383 V	30410
TIRA Shaker System	TV5220	207/08
G.R.A.S. Low-Frequency Calibrator	42AE	95643
B&K Reference Microphone	4193-L-004	2618270

SARL CEME certifies that the above product was calibrated in accordance with the applicable Instanatel procedures.

All calibrations has been performed using standards whose accuracies are traceable to the National Institute of Standard and Technology.

Alternatively, accuracies have been derived from accepted values of natural physical constants, or have been derived by the ration of self-calibration techniques. This certificat applies only to the instrument identified above and shall not be reproduced, except in full, without the specific written approval by the calibration organization issuing this report.

Director Metrology  
Franck JOUFFROY



September 15, 2023

**Anexo 2:**

Relatórios (Log) obtidos (4) pelos sismógrafos, nesta campanha de monitorização.



### Monitor Log

Project name	Default Project	
File name	UM16950_20240321094159.MLG	
Serial Number	UM16950	
Unit Name	UM16950	
Description		
Start Date/Time	End Date/Time	Description
3/21/2024 9:41:59 AM		Start Monitoring Waveform Geo: 0.300 mm/s
3/21/2024 9:41:52 AM	3/21/2024 12:41:03 PM	No events recorded. (Keyboard Exit) Waveform Geo: 0.300 mm/s



### Monitor Log

Project name	Default Project	
File name	UM16948_20240321144827.MLG	
Serial Number	UM16948	
Unit Name	UM16948	
Description		
Start Date/Time	End Date/Time	Description
3/21/2024 2:48:27 PM		Start Monitoring Waveform Geo: 0.300 mm/s
3/21/2024 2:48:17 PM	3/21/2024 5:49:06 PM	No events recorded. (Keyboard Exit) Waveform Geo: 0.300 mm/s



### Monitor Log

Project name	Default Project	
File name	UM16948_20240321093019.MLG	
Serial Number	UM16948	
Unit Name	UM16948	
Description		
Start Date/Time	End Date/Time	Description
3/21/2024 9:30:19 AM		Start Monitoring Waveform Geo: 0.300 mm/s
3/21/2024 9:30:09 AM	3/21/2024 12:33:06 PM	No events recorded. (Keyboard Exit) Waveform Geo: 0.300 mm/s



### Monitor Log

Project name	Default Project	
File name	UM16950_20240321150631.MLG	
Serial Number	UM16950	
Unit Name		
Description		
Start Date/Time	End Date/Time	Description
3/21/2024 3:06:31 PM		Start Monitoring Waveform Geo: 0.300 mm/s
3/21/2024 3:06:25 PM	3/21/2024 6:06:33 PM	No events recorded. (Keyboard Exit) Waveform Geo: 0.300 mm/s