



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

ALTERAÇÃO E ALTERABILIDADE DE ROCHAS XISTOSAS / VANTAGENS PARA OS PROJETOS GEOTÉCNICOS

WEATHERING AND WEATHERABILITY OF SCHIST ROCKS / ADVANTAGES FOR GEOTECHNICAL DESIGN

P. A. Ferreira¹ & F. L. Ladeira²

Resumo – A quantificação da alterabilidade de xistos é obtida a partir de índices físicos utilizando a lixiviação contínua num alterador apropriado para o efeito. Deste modo esta quantificação servirá como um alerta para o projetista, permitindo usar fatores de segurança adequados para a obra a construir, impermeabilizar ou impregnar a rocha de forma que esta não fique exposta aos agentes de meteorização a fim de reduzir a sua alterabilidade.

Palavras-chave – quantificação da alterabilidade, taxa de alteração natural, fatores de segurança.

Abstract – The weatherability quantification of schist rocks is obtained from physical parameters using continuous lixiviation in an appropriate apparatus. This quantification will be useful as an alarm to the designers, allowing the use of adequate security factors during construction, by sealing or impregnating the rocks, in order to avoid internal or external exposure to the weathering agents, reducing its weatherability.

Keywords – weatherability quantification, natural rate of weathering, security factors

1 – Introdução

O objetivo principal deste trabalho prende-se com a quantificação da alterabilidade de rochas xistentas. Através do processo de alteração acelerada de rochas xistentas, baseado numa lixiviação contínua, demonstra-se a possibilidade de obter a quantificação da

¹ Centro de Geologia da Universidade do Porto; paulo.ferreira@fc.up.pt

² Professor jubilado da Universidade de Aveiro; deltatau.lda@gmail.com

alterabilidade dessas rochas e incluir a tempo esses valores no projeto de qualquer obra (LADEIRA & FERREIRA, 2002). Paralelamente, esta quantificação pretende alertar para que o dimensionamento de diferentes obras de engenharia deverá ter em atenção a evolução da degradação dos maciços rochosos, como consequência da alteração dos minerais constituintes das rochas, em que essas obras forem implantadas.

O facto do estado de alteração modificar significativamente o comportamento geotécnico das rochas e dos maciços rochosos é bem conhecido (PINHO *et al.*, 2006).

Não é muito frequente que os processos de alteração sejam suficientemente uniformes para produzir modificações graduais e previsíveis das propriedades geotécnicas, ao longo dos perfis de alteração dos maciços rochosos. Os perfis de alteração são, em regra, heterogéneos, pois os maciços rochosos são formados por materiais com diferentes níveis de alteração. Esta complexidade depende de vários fatores tais como a litologia, a fracturação, a topografia, o clima e a oscilação do nível de água (PINHO *et al.*, 2006).

A experiência mostra que em poucas dezenas de anos, algumas vezes meses e, por vezes, em casos particulares e com condições especiais, em poucas semanas ou mesmo dias, uma rocha pode passar de um material bastante duro e compacto a um material friável e desprovido de qualquer coesão (RODRIGUES, 1975 & LADEIRA, 1984).

A alterabilidade pode afetar a segurança não só por via da estabilidade, como é mais corrente, mas também por intermédio de outras características da obra tais como a estanqueidade, no caso de reservatórios ou barragens, ou em certas qualidades da superfície, ligadas aos pavimentos rodoviários (NASCIMENTO, 1970).

Quanto maior for o grau de precisão na quantificação da alterabilidade, mais razoáveis poderão ser os fatores de segurança utilizados no dimensionamento das obras, o que resultará, na maioria dos casos, em custos finais mais baixos. Assim, através do conhecimento da evolução dos parâmetros geotécnicos do maciço, será possível utilizar fatores de segurança mais adequados, tendo em conta o tempo de vida útil das obras, evitando gastos excessivos e/ou acidentes desagradáveis, por não ter sido levada em linha de conta a evolução da alteração (alterabilidade), a qual se irá refletir na diminuição dos valores da resistência dos materiais onde são implantadas essas obras (FERREIRA, 2000).

Para alcançar o objetivo citado foram utilizadas amostras de xistos do Grupo das Beiras (ex. Complexo Xisto-Grauváquico), colhidas na zona envolvente à estrada Águeda-Talhadas, na vertente noroeste da Serra do Caramulo (carta topográfica 1:25000, folha 186).

Deve salientar-se que, os resultados obtidos e as ilações retiradas servirão apenas como guia para a evolução da alteração do tipo litológico referido e para regiões com características climáticas semelhantes.

2 – Metodologia utilizada

Realizou-se o reconhecimento da área de estudo tendo sido definidos os locais de amostragem de acordo com os objetivos que a seguir se descrevem.

Colheita de seis grupos de amostras distribuídas do seguinte modo: uma série de três grupos de três amostras de xistos, para cada um de três estágios visuais de alteração distintos W_1 , W_2 e W_3 (ISRM, 1981). Estas foram colocadas a alterar aos agentes atmosféricos na área de estudo - *amostras de campo*. Outra série idêntica foi colhida para ser colocada a alterar em laboratório, - *amostras de laboratório*. Na Fig. 1, apresentada na

página seguinte, representa--se, de forma esquemática, o equipamento onde se realizaram os ensaios de alteração laboratorial acelerada sendo cada uma das partes referenciadas através dos respectivos números.

À torneira da rede de água pública (1) ligou-se uma mangueira, de $\frac{3}{4}$ de polegada em borracha flexível (2) a qual vertia a água fria para o interior de um depósito de 200 litros, em fibrocimento (3) o qual possuía uma válvula acionada por uma boia de nível. Desta forma, foi possível manter uma carga hidráulica aproximadamente constante, à entrada do esquentador (5) a qual era feita através de uma mangueira semelhante à referida anteriormente (4). Através de uma carga hidráulica constante foi possível regular os tempos dos ciclos de carga e de descarga do alterador.

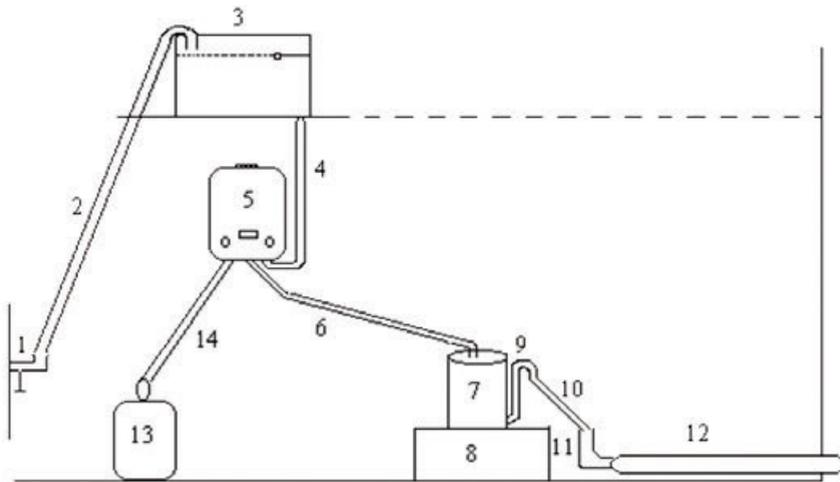


Fig. 1 – Montagem laboratorial para obtenção da alteração acelerada.

A saída de água quente do esquentador foi efetuada através de uma mangueira, de borracha flexível, de $\frac{1}{2}$ polegada (6) a qual vertia diretamente no alterador (7). Este, por sua vez, encontrava-se sobre um suporte elevado (8) para tornar viável o escoamento da água de descarga, por gravidade, após expulsão do alterador por sifonamento, através do tubo sifão do aparelho (9). Ligado a este tubo sifão existia uma mangueira, de borracha flexível, de $\frac{1}{2}$ polegada (10) a qual estava, com a outra extremidade, inserida num tubo de plástico rígido, em forma de “L” (11). Este, por sua vez, vertia para uma meia-cana, em plástico rígido (12) com uma inclinação de aproximadamente 3%, que lançava a água com lixiviados para a rede de águas pluviais. A fonte energética que alimentava o esquentador, para aquecimento da água, era uma garrafa de gás butano (13) ligada através de um tubo de borracha próprio para o transporte de gás (14).

Todas as amostras foram levadas para o laboratório onde se procedeu à sua serragem e determinação dos índices físicos.

Os índices físicos determinados, peso volúmico aparente (γ_a), porosidade aparente (η_a) e absorção de água (A), foram calculados através dos métodos sugeridos pelo comité para testes de laboratório (ISRM, 1972), através dos valores dos pesos seco, saturado e submerso das amostras, utilizando-se, para tal, as seguintes relações matemáticas:

$$\gamma_a = (P_1 / (P_2 - P_3)) * \gamma_w \text{ (kN/m}^3\text{)} \quad (1) \quad \eta_a = ((P_2 - P_1) / (P_2 - P_3)) * 100 \text{ (\%)} \quad (2)$$

$$A = ((P_2 - P_1) / P_1) * 100 \text{ (\%)} \quad (3) \quad \begin{array}{l} P_1 - \text{Peso da amostra seca; } P_2 - \text{Peso da amostra saturada;} \\ P_3 - \text{Peso da amostra submersa; } \gamma_w - \text{Peso específico da} \end{array}$$

404

Determinaram-se os valores iniciais, ou primeiros valores, para cada índice, os quais se encontram registados como primeiros valores, 0 dias na Tabela 1 e 0 ciclos na Tabela 2. Todas estas amostras foram divididas em dois grupos.

Um dos grupos, designado por *amostras de campo*, foi colocado a alterar aos agentes atmosféricos na zona de estudo, na povoação de Cadaveira - Valongo do Vouga, e foi recolhido para determinar a evolução dos índices físicos, com uma periodicidade próxima aos três meses. A evolução desses valores no tempo é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Evolução, no tempo, dos três índices físicos determinados: γ_a (kN/m³), η_a (%) e A (%) das amostras de xisto expostas aos agentes atmosféricos

Amostras		X1C	X2C	X3C	X4C	X5C	X6C	X7C	X8C	X9C
Dias	Índices									
0	γ_a	24,46	24,27	23,46	25,17	24,97	25,27	24,01	22,72	23,64
	η_a	8,06	9,01	9,37	4,40	5,52	4,80	7,96	15,18	11,32
	A	3,22	3,63	3,91	1,71	2,16	1,86	3,24	6,53	4,68
68	γ_a	24,39	24,21	23,29	25,14	24,91	25,21	23,98	22,67	23,61
	η_a	8,28	9,20	10,14	4,47	5,82	4,88	8,07	15,36	11,41
	A	3,32	3,71	4,25	1,74	2,28	1,89	3,29	6,62	4,72
152	γ_a	24,39	24,21	23,30	25,14	24,89	25,21	23,98	22,66	23,61
	η_a	8,36	9,25	10,17	4,59	6,04	4,92	8,13	15,42	11,45
	A	3,35	3,74	4,27	1,78	2,37	1,91	3,31	6,65	4,74
213	γ_a	24,40	24,21	23,26	25,12	24,87	25,21	23,98	22,65	23,62
	η_a	8,42	9,33	10,27	4,73	6,19	4,96	8,24	15,48	11,46
	A	3,38	3,77	4,32	1,84	2,43	1,92	3,36	6,68	4,74
282	γ_a	24,39	24,20	23,26	25,12	24,85	25,21	23,97	22,53	23,62
	η_a	8,48	9,44	10,30	4,81	6,33	4,99	8,29	16,07	11,50
	A	3,40	3,81	4,33	1,87	2,49	1,94	3,39	6,98	4,76
362	γ_a	24,37	24,18	23,06	25,09	24,82	25,18	23,95	22,49	23,59
	η_a	8,53	9,49	10,81	4,96	6,38	5,03	8,35	16,12	11,55
	A	3,42	3,84	4,58	1,93	2,52	1,95	3,41	7,01	4,78
448	γ_a	24,35	24,61	23,01	25,06	24,79	25,15	23,92	22,46	23,56
	η_a	8,56	8,00	10,92	5,11	6,56	5,07	8,41	16,19	11,58
	A	3,43	3,18	4,64	1,99	2,58	1,97	3,43	7,04	4,80
520	γ_a	24,37	24,53	23,00	25,07	24,80	25,17	23,93	22,45	23,57
	η_a	8,62	8,42	11,07	5,18	6,63	5,15	8,47	16,31	11,63
	A	3,46	3,36	4,71	2,02	2,61	2,00	3,46	7,10	4,82

Um outro grupo de amostras, designado por *amostras de laboratório*, foi colocado a alterar no alterador laboratorial, sujeitando-o a uma lixiviação contínua através de ciclos de carga/descarga do alterador com a temperatura da água aproximadamente constante, próxima a 60°C. Os ciclos de carga/descarga tinham uma duração aproximada de

7 minutos, uma vez que o enchimento demorava cerca de 5 minutos e o esvaziamento cerca de 2 minutos. De referir que, o enchimento ocorria continuamente, mesmo quando estava a acontecer o esvaziamento por sifonamento. Assim, a quantidade de água que entrava no alterador por cada ciclo correspondia ao volume útil do alterador (volume total menos o volume das amostras) mais o volume de água que entrava enquanto estava a ocorrer a descarga. Pelos cálculos efetuados esse volume de água seria de, aproximadamente, 13 litros.

Ao fim de alguns ciclos (entre 1000 e 2000) as amostras foram retiradas do alterador para se determinarem os valores dos índices físicos. Na Tabela 2 apresenta-se a evolução desses valores ao longo do “tempo laboratorial”.

Tabela 2 – Evolução dos três índices físicos determinados: γ_s (kN/m³), η_s (%) e A (%), com os ciclos, das amostras de xisto sujeitas a alteração laboratorial acelerada

Amostras		X1L	X2L	X'2'L	X3L	X4L	X5L	X'6'L	X7L	X8L
Ciclos	Índices									
0	γ_s	25,19	25,12	25,35	24,37	24,54	24,96	25,31	22,35	22,47
	η_s	6,17	6,07	5,04	8,34	6,47	4,77	5,63	15,14	10,32
	A	2,39	2,36	1,95	3,35	2,58	1,87	2,18	6,62	4,49
928	γ_s	25,17	25,08	25,30	24,20	24,45	24,91	25,26	22,32	22,45
	η_s	6,27	6,14	5,24	8,94	6,75	4,86	5,72	15,20	10,39
	A	2,43	2,39	2,02	3,61	2,70	1,90	2,21	6,65	4,52
2250	γ_s	25,18	25,09	25,28	24,18	24,40	24,87	25,27	22,32	22,45
	η_s	6,31	6,22	5,43	9,10	7,04	5,05	5,82	15,25	10,46
	A	2,45	2,42	2,10	3,68	2,82	1,99	2,25	6,68	4,56
4224	γ_s	25,18	25,09	25,28	24,16	24,34	24,85	25,27	22,33	22,43
	η_s	6,34	6,26	5,46	9,21	7,33	5,19	5,86	15,25	10,53
	A	2,46	2,44	2,11	3,73	2,94	2,04	2,27	6,68	4,59
5946	γ_s	25,16	25,07	25,25	24,13	24,29	24,83	25,24	22,28	22,42
	η_s	6,36	6,30	5,54	9,30	7,48	5,30	5,91	15,31	10,60
	A	2,47	2,45	2,14	3,77	3,01	2,09	2,29	6,71	4,62
7948	γ_s	25,15	25,05	25,21	24,07	24,24	24,80	25,23	22,29	22,39
	η_s	6,38	6,32	5,67	9,53	7,64	5,41	5,96	15,37	10,67
	A	2,48	2,46	2,20	3,87	3,08	2,13	2,31	6,74	4,66
9460	γ_s	25,13	25,04	25,19	24,03	24,22	24,77	25,21	22,26	22,38
	η_s	6,42	6,36	5,72	9,72	7,72	5,50	6,03	15,46	10,74
	A	2,49	2,48	2,22	3,95	3,12	2,17	2,34	6,79	4,69
11467	γ_s	25,12	25,03	25,19	24,01	24,21	24,76	25,20	22,25	22,37
	η_s	6,45	6,39	5,75	9,96	7,81	5,55	6,10	15,52	10,81
	A	2,51	2,50	2,23	4,05	3,15	2,19	2,36	6,80	4,72

Para determinar as taxas de alteração natural anual dos xistos nas *amostras de campo* utilizou-se a seguinte metodologia, para cada amostra: (i) determinou-se a diferença entre os valores inicial e final (ou vice-versa, conforme o índice físico) para cada um dos índices determinados; (ii) esta diferença foi dividida por 520 para obter o valor da taxa de alteração natural diária, uma vez que as amostras estiveram 520 dias a alterar

no campo; (iii) o valor encontrado foi multiplicado por 365, para obter o valor da taxa de alteração natural anual (FERREIRA, 2000).

Os valores obtidos são apresentados na Tabela 3, tendo-se verificado que existiam taxas de alteração natural quase iguais e por isso se associaram imediatamente, para obter um valor médio.

Tabela 3 – Taxas anuais de alteração natural para cada propriedade física, das amostras de xisto expostas aos agentes atmosféricos (amostras de campo), durante 520 dias

Índices	Amostras									
	X1C	X2C	X3C	X4C	X5C	X6C	X7C	X8C	X9C	
γ_a (kN/m ³)	0,067	0,095	0,325	0,076	0,122	0,072	0,058	0,186	0,049	
η_a (%)	0,391	0,485	1,193	0,550	0,778	0,246	0,357	0,792	0,219	
A (%)	0,165	0,209	0,560	0,218	0,316	0,100	0,153	0,399	0,100	

Como existiam, para cada índice, taxas anuais de alteração natural relativamente próximas, agruparam-se algumas para apenas se obterem apenas três taxas de alteração natural bem distintas, as quais são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Taxas anuais de alteração natural agrupadas (mínima, média e máxima) para amostras de campo dos xistos para os diferentes índices físicos

	γ_a ($\Delta\gamma_a/\text{ano}$)	η_a ($\Delta\eta_a/\text{ano}$)	A ($\Delta A/\text{ano}$)
T_{\min}	0,063	0,362	0,154
T_{med}	0,090	0,525	0,211
T_{\max}	0,187	0,734	0,353

O agrupamento das taxas de alteração natural das diferentes amostras não deixa dúvidas aos autores, contudo é um ponto que poderá ter alguma subjetividade e influenciar, de algum modo, os resultados finais da quantificação da alterabilidade (alteração no tempo).

A evolução de cada índice físico com a alteração das amostras sujeitas aos agentes atmosféricos, aqui designada por *alteração natural*, e com a alteração das amostras sujeitas aos ciclos do alterador, aqui designada por *alteração laboratorial*, encontra-se registada nas Tabelas 1 e 2. Se para a alteração laboratorial é possível produzir um gráfico que possa caber dentro do papel, o mesmo não é possível para a alteração natural. Apresentam-se, nas Fig. 2, Fig. 3 e Fig. 4, os gráficos obtidos por *alteração laboratorial* experimental para cada índice estudado.

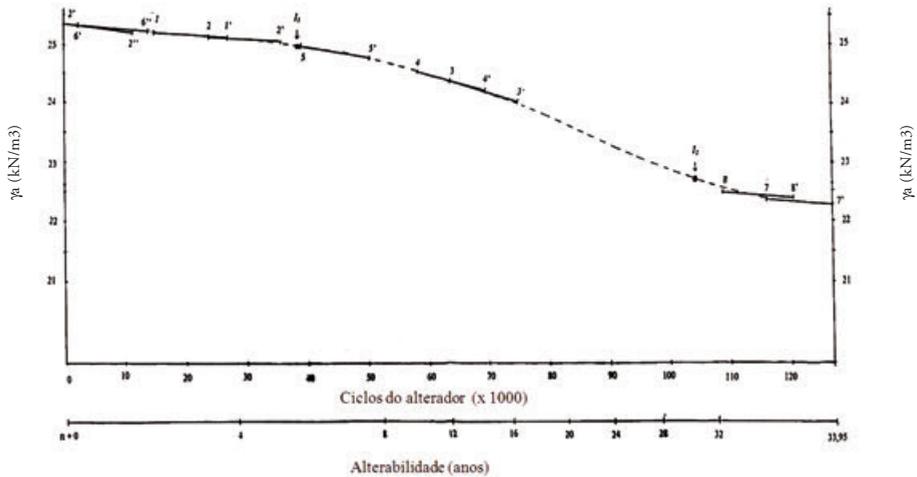


Fig. 2 – Curva de alteração experimental para xistos, relativa ao peso volúmico aparente (γ_a) e respetiva quantificação da alterabilidade

Como cada amostra tem uma alteração específica, dependente do seu estágio inicial visual de alteração, projetou-se a evolução de cada propriedade de forma que no conjunto de todas as amostras ensaiadas para cada índice descrevesse uma curva, sem modificar (para cada índice e em cada amostra) o ângulo de inclinação entre o 1º valor (início do processo, ou seja no ciclo zero) e o 8º valor (ao fim de 11467 ciclos), com os valores intermédios a serem levados em consideração. Há alguma subjetividade relativamente aos ajustes realizados, os quais, por vezes, não foram perfeitos. Isso acontece devido às amostras não apresentarem exatamente a mesma composição química, mineralógica e textural e a evolução da alteração para um determinado índice físico poderá pertencer a uma outra curva paralela, ou seja, na construção da curva pressupõe-se que as diferentes amostras, com diferentes estágios visuais de alteração, sejam uma sequência contínua de estágios de alteração, quando na verdade isso não corresponde à realidade. Apesar disso e considerando que se trabalha com valores médios, esta definição da curva é bastante importante para se obter a quantificação da alterabilidade, como será referido mais adiante.

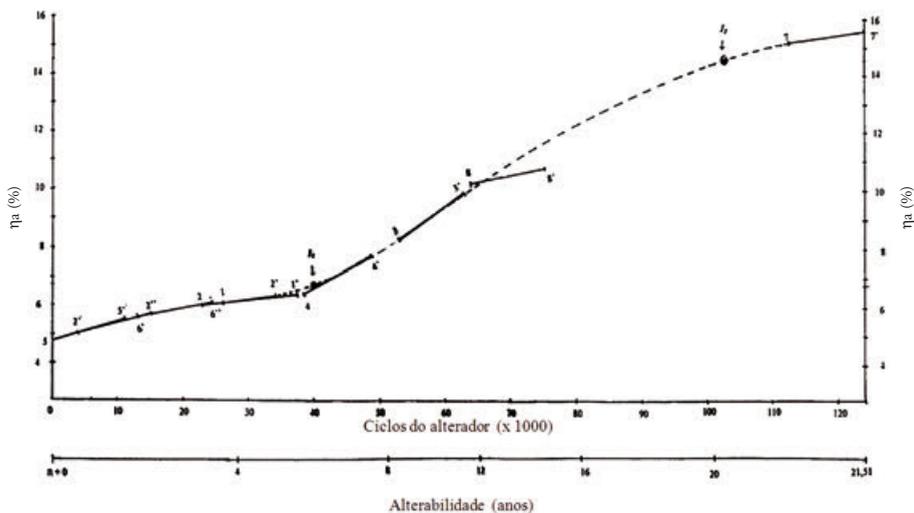


Fig. 3 – Curva de alteração experimental para xistos, relativa à porosidade aparente (η_a) e respetiva quantificação da alterabilidade

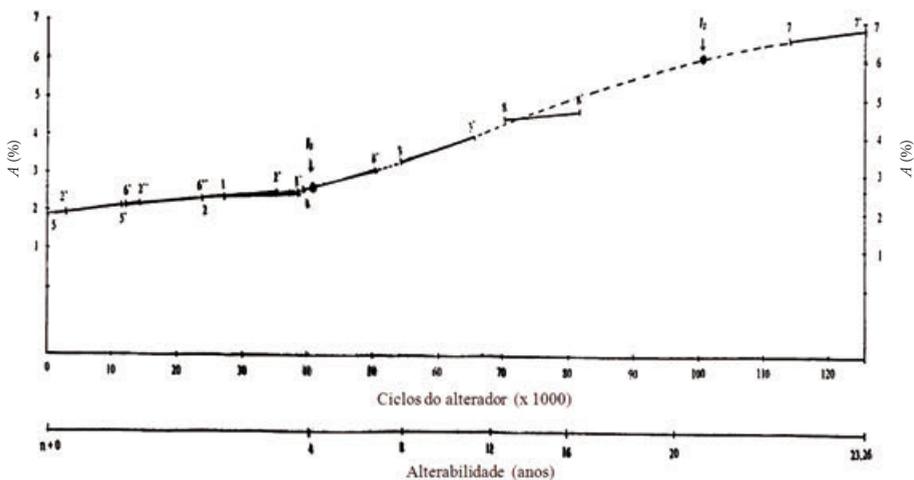


Fig. 4 – Curva de alteração experimental para xistos, relativa à absorção de água (A) e respetiva quantificação da alterabilidade

3 – Quantificação da alterabilidade dos xistos

Para obter a quantificação da alterabilidade dos xistos para cada índice estudado, utilizou-se a metodologia usada por LADEIRA & MINETTE (1984 a e b) e LADEIRA & GOMES (1985). Assim, a partir de cada curva de alteração experimental determinaram-se os pontos de inflexão I_1 e I_2 de cada curva, que são de grande importância (ver Fig. 2,

Fig. 3 e Fig. 4). Como é sabido, cada valor da taxa de alteração natural (T_{\min} , T_{med} e T_{\max}) apresentado na Tabela 4, corresponde à variação média de um determinado índice físico num ano. No eixo dos YY, dos gráficos das referidas figuras, estão marcadas as variações dos respetivos índices. Se for marcada nesse eixo a variação anual desse índice e se seguir horizontalmente para a curva de alteração experimental, obtém-se o espaço de um ano no eixo dos XX. Será necessário verificar como varia o índice e de acordo com essa variação utilizar T_{\min} , T_{med} ou T_{\max} . A T_{med} (taxa intermédia) foi sempre aplicada entre os pontos de inflexão I_1 e I_2 , sendo que as outras taxas foram aplicadas nos outros extremos. Contudo, atendendo à inclinação das curvas, talvez fosse conveniente utilizar entre os pontos de inflexão I_1 e I_2 a T_{\max} . Para que fique de fácil leitura deve marcar-se abaixo do eixo dos XX um outro eixo paralelo correspondente à alterabilidade em anos, como se apresentou nas Fig. 2, Fig. 3 e Fig. 4.

De salientar que, se tudo estiver bem marcado, a quantificação da alterabilidade, para um determinado tipo litológico, não deverá haver uma variação de mais de 10 a 20% entre os diferentes índice físicos utilizados. Na Tabela 5 apresentam-se os resultados obtidos para as quantificações da alterabilidade do tipo litológico estudado.

Tabela 5 – Quantificação da alterabilidade dos xistos utilizando três taxas anuais de alteração natural

	Tempo médio de alteração (anos e dias)	Tempo médio de alteração (anos)
γ_a	n + 33 anos + 347 dias	33,95
η_a	n + 21 anos + 186 dias	21,51
A	n + 23 anos + 95 dias	23,26

4 – Conclusões

O valor obtido para a quantificação da alterabilidade dos xistos utilizando o volume específico aparente foi significativamente diferente daquele obtido para os outros dois índices. As razões para este facto poderão dever-se às variações ocorridas num curto intervalo de tempo serem mais sensíveis para o volume específico aparente, fazendo com que pequenos erros acumulados, quer no decurso da aplicação do método para a determinação dos valores dos índices físicos, quer na projeção e utilização das curvas de alteração acelerada para a quantificação da alterabilidade, se fazerem sentir com maior acuidade para esse índice.

Deve-se realçar que com esta metodologia se pretende apenas alertar o projetista de uma determinada obra que as rochas xistentas, em condições climatéricas semelhantes às que se verificam na zona em que se desenvolveu esta investigação, poderão passar de pouco alteradas a muito alteradas em x anos, para que sejam tomadas as cautelas adequadas em função dessa informação. No caso presente, passam de aproximadamente 4,8% de porosidade aparente para 15,5% em cerca de 22 anos. Contudo, deve acrescentar-se que o maciço não estará tão fraturado como foram estas amostras e que este tempo terá sido substancialmente reduzido. Para o caso de ter sido utilizada a taxa natural de alteração mínima para toda a curva obter-se-iam cerca de 35 anos. Provavelmente, o primeiro valor poderá interessar mais por questões de segurança.

Esta investigação não sendo absolutamente conclusiva, serve no entanto como guia e poderá contribuir para que se adotem soluções tais como impermeabilizações ou impregnações das rochas para que não fiquem diretamente em contacto com os agentes atmosféricos e/ou sejam colmatados espaços vazios existentes no maciço rochoso.

Referências Bibliográficas

410

- RODRIGUES, D. (1975) - "Alterabilidade de rochas em problemas de Geologia de Engenharia. Aplicação a casos portugueses". *Tese para especialista do LNEC* – Lisboa.
- FERREIRA, P. (2000) - "Alteração e alterabilidade das rochas. Implicações em obras de engenharia". *Tese de Mestrado*. Universidade de Coimbra, 246pp.
- ISRM (1972) - "Committee on laboratory Tests: Suggested methods for determining water content, porosity, density, absorption and related properties and swelling and slake-durability index properties". Document nº 2, 36p.
- ISRM (1981) - "Basic geotechnical description of rock masses". *International Journal of Rock Mechanics Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*, 18, pp. 85-110.
- LADEIRA, F. (1984) - "Instabilidade em taludes rochosos provocado por rápido intemperismo". *4º Cong. Bras. de Geol. Eng.ª*, pp. 377-382 – Belo Horizonte.
- LADEIRA, F. e MINETTE, E. (1984a) - "Índices físicos de alteração na quantificação da alterabilidade de rochas". *4º Cong. Bras. de Geol. Eng.ª*, vol. 3 pp. 359-363 – Belo Horizonte.
- LADEIRA, F. e MINETTE, E. (1984b) - "A quantificação da alterabilidade das rochas". *Geotecnia* nº 40, pp. 27-36.
- LADEIRA, F. e GOMES, M. (1985) - "Quantificação da alterabilidade de um gnaíse". *Revista de Geociências, Aveiro*, vol. 1, pp. 61-66.
- LADEIRA, F. e FERREIRA, P. (2002) - "Alteração e alterabilidade das rochas/Implicações em obras de engenharia". *8º Congresso Nacional de Geotecnia, vol.1, pp. 471-481* – LNEC – Lisboa.
- NASCIMENTO, U. (1970) - "O problema da alterabilidade das rochas em engenharia civil". *Memória nº 363* – Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- PINHO, A., CARVALHO, J., GOMES, C. e DUARTE, I. (2006) - "Overview of the evaluation of the state of rock weathering by visual inspection". IAEG, Paper number 260, 7pp. The Geological Society of London.