

QUANTIFICAÇÃO DA ALTERABILIDADE DE UM GNAISSE

Fernando L. Ladeira (1)

Marcelo Gomes (2)

RESUMO — Obter a curva total ou parcial de alteração de uma dada rocha e quantificá-la no tempo, é assunto que evitará problemas em certos tipos de obras civis ou poderá levar a condenar ou usar certos materiais rochosos. Nesta publicação esboça-se uma tentativa de consegui-la com dados experimentais obtidos numa rocha gnaissica e apresenta-se a quantificação da alterabilidade (alteração no tempo).

ABSTRACT — *Weatherability of a gneiss and its quantification* To obtain the total or partial weathering curve of a rock and to quantify it in the time is subject that can avoid problems in certain types of civil engineering works or can lead to avoid or to use certain types of rock materials. In this paper one outlines an attempt to get it with experimental data obtained in a gneissic rock and one presents the weatherability quantification.

INTRODUÇÃO

A alteração de rochas tem despertado desde há algumas décadas grande interesse por parte de diferentes pesquisadores (físicos, químicos, geólogos, engenheiros civis, engenheiros de minas e agrónomos). O progresso alcançado tem sido muito grande, principalmente no que concerne à área de geoquímica, onde se desenvolveram vários índices quantificadores da alteração (Aires Barros, 1977 e 1978; Onodera et alii, 1974; Parker, 1970; Reiche, 1945); na área petrográfica foi desenvolvido um índice micropetrográfico (Mendes et alia, 1966); com os ultrassons foi desenvolvido o índice ultrassónico (Iliev, 1966) e com as propriedades físicas das rochas, alguns índices físicos (Ladeira e Minette, 1984a); com as propriedades mecânicas desenvolveram-se índices geomecânicos (Ladeira e Minette, 1984b).

A quantificação da alterabilidade (alteração no tempo) foi objecto de algumas tentativas por Delgado Rodrigues (1978), Farjallat (1971), Farjallat et alii (1974) e Farran e

Thénoz (1965); a metodologia usada nessa quantificação foi apresentada pela primeira vez por Ladeira e Minette (1984c); embora essa metodologia possa ser contestada, devido a que a superfície específica de ataque aos agentes de intemperismo tenha sido tremendamente aumentada, permite quantificar a alterabilidade em materiais rochosos usados como britas ou enrocamentos e servir como guia para os maciços rochosos «in natura».

Fará sentido falar em alteração de rochas, quando ainda existe o conceito de que a sua alterabilidade dá-se em centenas, milhares ou mesmo milhões de anos? Para a quase totalidade das pessoas, a ideia de que as rochas não se alteram no tempo de vida útil das obras, parece ser dogmática; é um conceito tão difícil de banir como foi o conceito euclidiano sobre rochas, até que apareceu Hooke (séc. XVIII) demonstrando que as rochas se deformam, mas ainda no séc. XX essa ideia não terá sido completamente eliminada. Não somos, nem seremos os últimos a afirmar que qualquer tipo de rocha, em determinadas circunstâncias, pode alterar-se num intervalo de tempo relativamente curto, isto é, num intervalo de três, duas,

(1) Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, 3800 Aveiro

(2) Universidade Fed. Ouro Preto (Brasil)

uma década, ou até em tempo menor. A literatura documenta alguns casos em que rochas completamente sãs após o seu desmonte por fogo, alteraram-se completamente em espaço de tempo inferior a uma década de anos, (Delgado Rodrigues, 1972; Farjallat, 1974; Farran e Thénoz, 1965; Ladeira, 1984; Struillou, 1966 e 1971), sem contar com as observações visuais e a nós transmitidas mas não documentadas, de alguns construtores de rodovias e outras obras que ao desmontarem com explosivos rochas filonianas (diabásios e anfíbolitos), viram esses taludes transformarem-se em saprólitos ou mesmo em solos (preservando alguns núcleos de rocha), num curto espaço de tempo de muitas vezes de menos de dois anos. Então em que circunstâncias a velocidade de alteração de uma rocha pode aumentar? Convém lembrar que a velocidade de alteração de qualquer rocha está intimamente relacionada com as suas características intrínsecas (composição, cristalização, fracturação, grau de alteração, etc.) e com os agentes de intemperismo actuantes; além do mais, essa velocidade de alteração poderá aumentar várias ordens de grandeza se a rocha tiver sofrido choque térmico ou dinâmico, ou poder libertar as suas tensões residuais ou outras e essencialmente se a superfície específica de exposição aos agentes intemperisadores tiver aumentado.

METODOLOGIA

A metodologia usada nesta pesquisa foi praticamente a mesma apresentada por Ladeira e Minette (1984c), tendo-se contudo usado um intemperizador completamente diferente. O intemperizador, como a fig. 1 mostra esquematicamente, é constituído por um tubo extractor com a única finalidade de aproveitar o sifão existente nele, sendo a água quente obtida de um destilador eléctrico, mas em que a água utilizada não é a destilada, mas sim a água supérflua expulsa pelo destilador.

Como material para a pesquisa, colheram-se amostras de um granito-gnaissico em diferentes estágios visuais de alteração dos quais se obtiveram amostras granulares de cerca de duas polegadas em diâmetro e corpos de prova de forma prismática. Das amostras granulares, parte foi colocada em exposição aos agentes atmosféricos, após a determinação de algumas das suas propriedades (massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água) para se poder acompanhar a sua evolução no tempo; a outra parte, após a determinação das mesmas propriedades, foi colocada no intemperizador (fig. 1) a fim de sofrer alteração artificial cíclica, isto é, ciclos de saturação com água aquecida a cerca de 70°C (correspondendo cada ciclo ao enchimento e esvaziamento por sifonagem do intemperizador). Após os primeiros 300 ciclos de alteração acelerada foram novamente determinadas aquelas propriedades, bem como após os 1.000, 2.000, 3.000, 4.000 e 5.000 ciclos. Este procedimento é absolutamente indispensável para se obterem as curvas de alteração artificial para cada

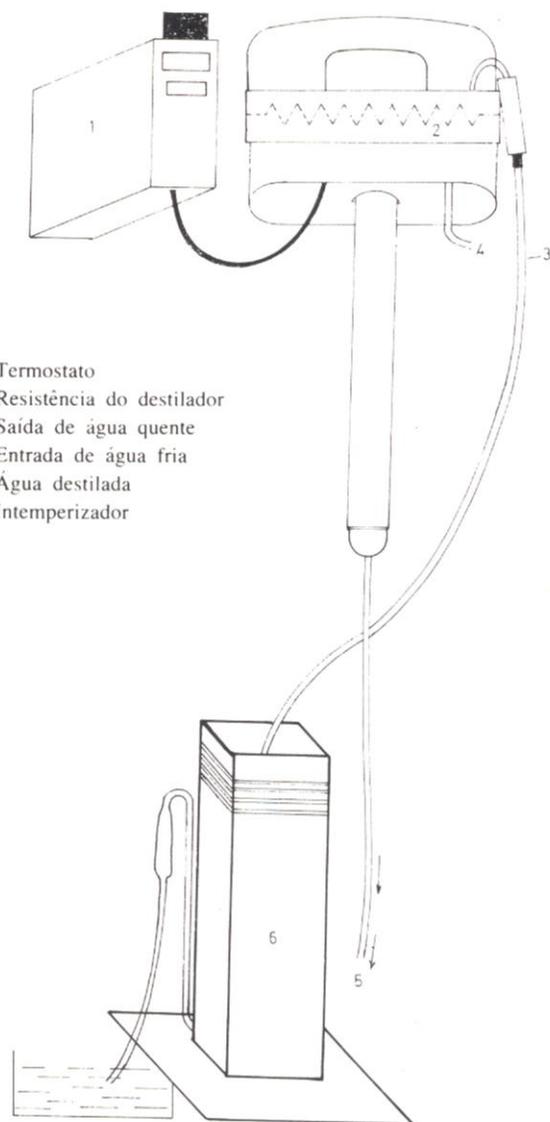


Fig. 1 — Intemperizador usado na pesquisa.

propriedade (absorção versus ciclos, por exemplo). Procedimento análogo foi feito para as amostras colocadas à acção dos agentes atmosféricos, sendo que neste caso obter-se-á tempo, isto é, meses, que permitirá obter a velocidade de alteração natural para cada uma das propriedades referidas.

Das amostras prismáticas, parte foi colocada aos agentes atmosféricos e parte no intemperizador a fim de sofrer os processos de intemperismo natural e artificial respectivamente. Determinaram-se igualmente as propriedades físicas já mencionadas anteriormente, no início e ao fim de 1.000 e 2.000 ciclos de alteração artificial. Para o caso particular das amostras prismáticas, e ao fim de cada conjunto de ciclos ou de tempo de alteração natural mencionado, determinou-se a sua resistência à compressão simples, para se ter igualmente a variação dessa resistência com a alteração natural e artificial. Achamos importante que se apresente o modo como foi obtida uma das curvas experimentais de alteração (absorção versus ciclos, por exemplo), porque é a primeira vez que se apresenta, com dados obtidos experimentalmente.

Assim e para melhor entendimento observe-se a fig. 2; aqui se observa que no eixo dos ciclos aparece a letra M correspondente a mil; partindo da amostra SP-2 e durante 2.000 ciclos de alteração acelerada, marcou-se o início do processo passando pela absorção inicial da amostra (1,19%) e a partir de um ponto qualquer arbitrário «n» (do eixo dos ciclos). Pré-estabelecido este ponto inicial marcaram-se as absorções obtidas após a alteração acelerada dos 1.000 e 2.000 ciclos. Pelos três pontos assim obtidos fez-se passar uma linha recta cujo prolongamento intersectou a linha horizontal correspondente à absorção inicial da amostra SP-3 (8,42%); obteve-se então o 1.º ponto da amostra SP-3 e depois

marcaram-se os outros dois pontos correspondentes às absorções dessa amostra aos 1.000 a 2.000 ciclos; fez-se passar uma nova recta por esses três pontos e a intersecção dessa recta com a horizontal, correspondente à absorção inicial da amostra SP-4 (12,46%) deu novamente o 1.º ponto desta amostra; o resto da curva, obteve-se do mesmo processo já descrito. Após a marcação de todos os pontos experimentais, ajustou-se a melhor curva aos pontos obtidos e que o gráfico da fig. 2 apresenta duas curvas, uma das quais relativa à absorção e a outra relativa à porosidade aparente (obtida de modo idêntico àquela).

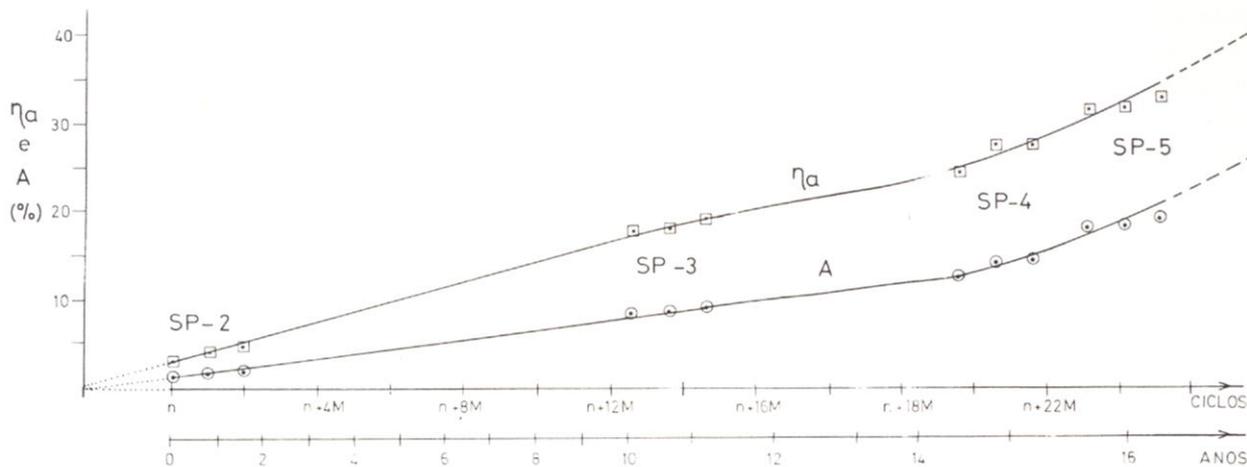


Fig. 2 — Curvas experimentais de alteração para um granito-gnaissico a partir da porosidade aparente (η_a) e absorção (A). (A letra M maiúscula refere-se a mil ciclos). A linha mais inferior paralela às abcissas apresenta a quantificação da alterabilidade dessa rocha relativamente àquelas duas propriedades.

RESULTADOS

A quase totalidade dos dados obtidos por alteração artificial em amostras granulares não mereceu a nossa confiança e não serão por isso apresentados; apresentam-se apenas aqueles correspondentes à alteração artificial de amostras prismáticas; esse facto negativo, trouxe, contudo, os seus ensinamentos e por isso apresentam-se alguns cuidados que devem ser levados em consideração em pesquisas deste género:

1. é absolutamente necessária a verificação contínua e crítica de todas as pesagens que se efectuarem; de preferência deve-se proceder a duas pesagens para cada conjunto de amostras. Esse rigor deve existir desde o início de todo o processo e no final de cada conjunto de ciclos.;

2. após as pesagens devem-se plotar os dados para se ter um sentido crítico dos mesmos, porque nesse momento ainda é possível voltar a pesar sem que se alterem as condições do processo; se isto não for feito, corre-se o risco de perder todos ou parte dos dados, como no caso presente, destruindo semanas ou meses de intenso labor (no caso presente foram 4 meses de alteração acelerada ininterrupta, num total de 5.000 ciclos).

A. Exposição aos agentes atmosféricos

Os resultados que se apresentam, representam as variações das absorções e porosidades aparentes ocorridas em amostras granulares ocorridas durante sete meses de exposição às intempéries, no clima de altitude de Ouro Preto (Brasil), de Junho a Janeiro. De notar que da amostra SP-4 não são apresentados valores, uma vez que os dados obtidos foram incongruentes em comparação com os resultados obtidos das outras e suspeitou-se que tenha havido uma má pesagem. A Tabela 1 apresenta essas variações percentuais, conjuntamente com as variações da velocidade de alteração natural relativa a cada uma das propriedades físicas estudadas, isto é, porosidade aparente (η_a) e absorção de água (A).

B. Alteração laboratorial acelerada

A alteração artificial apresentada refere-se apenas às amostras prismáticas que após a alteração foram submetidas a ensaios de compressão simples e levadas à rotura. Como foi dito anteriormente, para as amostras granulares, não se apresentam quaisquer valores, embora se tenham realizado nelas 5.000 ciclos. Para as amostras

prismáticas, alteradas no intemperizador usado na pesquisa, a Tabela 2, apresenta variações percentuais médias dos valores encontrados para a porosidade aparente e absorção de água, no início, ao fim de 1.000 e 2.000 ciclos do processo de alteração.

Para a amostra SP-1 não se apresentam quaisquer valores de alteração artificial por não ter havido variação das propriedades. Recorde-se que esta amostra é a que não apresentava quaisquer indícios de alteração e pode ter acontecido que a balança utilizada não tivesse sensibilidade suficiente ou as pesagens tivessem sido incorrectas.

Cada valor apresentado representa a média de quatro corpos de prova; como existem pequenas variações para as propriedades estudadas de amostra para amostra, determinou-se a variação média de cada propriedade ao fim de 1.000 e 2.000 ciclos. Como para os corpos de prova rompidos com 2.000 ciclos, não se determinaram aquelas propriedades ao fim de 1.000 ciclos, determinaram-se aquelas nessa altura, admitindo-se uma variação linear, tendo entrado nos cálculos as propriedades determinadas experimentalmente e as calculadas.

Os resultados finais estão apresentados na fig. 2, que traduzem uma variação contínua da porosidade aparente e absorção de água do gnaiss quando passa de um estado ligeiramente alterado (SP-2) para um estado extremamente alterado (SP-5). No gráfico da fig. 2 também se quantificou a alterabilidade desta rocha, tendo como base a velocidade de alteração natural das diferentes amostras, como é mostrado na Tabela 1 e a metodologia já descrita por Ladeira e Minette (1984c).

C. Ensaio de compressão simples

Os ensaios de compressão simples realizados nos corpos de prova prismáticos foram em número insuficiente, devido a problemas ligados à ausência dos pesquisadores do local da pesquisa e impossibilidade de continuação da mesma. Não será por isso possível tecer grandes considerações sobre os resultados, visto que quando se cortam os prismas, muitas vezes a homogeneidade do material não é mantida (acontece muitas vezes que o núcleo de um pedaço de rocha está menos alterado que as suas bordaduras). Apesar disso, pode-se dizer que da amostra SP-1 (a que não apresentava alteração aparente), até à amostra mais alterada (SP-5) verificou-se uma redução da resistência à compressão simples da ordem dos 99,3 por cento; para as outras amostras, e em relação à menos alterada (SP-1) verificaram-se as seguintes reduções: 31 por cento para a amostra SP-2, 81 por cento para a amostra SP-3 e 99 por cento para a amostra SP-4. A alteração acelerada de laboratório nos 2.000 ciclos produziu uma redução da resistência de cerca de 1,5 por cento na amostra SP-1, 8 por cento na SP-2, 15 por cento na SP-3, 39 por cento na SP-4 e 32,5 por cento na SP-5.

D. Quantificação da alterabilidade

Como se observa na fig. 2 o eixo das abcissas mais

inferior apresenta a quantificação da alterabilidade do granito-gnaissico partindo da amostra SP-2 e levando em consideração que os estados de alteração das diferentes amostras apresentaram velocidades de alteração naturais diferentes (vide Tabela 1). Para a quantificação da alterabilidade procedeu-se conforme metodologia apresentada por Ladeira e Minette (1984c) e que aqui se exemplifica. Para o efeito, determinaram-se quantos ciclos de alteração artificial acelerada seriam precisos para passar da porosidade aparente de 3.03 por cento (amostra SP-2) para uma outra porosidade, admitida a velocidade de alteração natural anual de 1,44 obtida para esse tipo de amostra; esse valor foi de 1.250 ciclos que entrando na curva de alteração artificial da fig. 2 e admitindo-se o mesmo até chegar à amostra SP-3, uma vez que o declive da curva entre essas duas amostras é a mesma. Para o intervalo entre as amostras SP-3 e SP-4 procedeu-se de igual modo e entre SP-4 e SP-5 também. O valor obtido para a quantificação da alterabilidade foi de 16 anos.

Embora não se tenha obtido a curva entre a amostra SP-1 e SP-2 é possível fazer um cálculo analítico admitindo uma variação linear entre ambas, com uma velocidade de alteração natural anual de 0.24 e 0.084 para a porosidade aparente e absorção de água respectivamente. Os valores obtidos foram respectivamente de 5.5 e 6.0 anos aproximadamente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Do exposto pode-se concluir que:

1. é possível obter, em curto espaço de tempo, a curva de alteração de qualquer rocha desde que se consigam amostras em estágios de alteração sucessivos para que em laboratório se proceda à alteração acelerada dessas amostras;

2. a quantificação da alterabilidade de qualquer rocha num determinado ambiente também se pode obter em relativamente pouco tempo e de forma que interesse à obra que se pretenda, permitindo saber qual o comportamento desse material rochoso e como pode variar o factor de segurança da obra durante o tempo de vida útil. No caso presente obteve-se cerca de 22 anos para que a rocha passasse de um estado pouco alterado a muito alterado, diminuindo a sua resistência de cerca de 99 por cento. Este facto pode parecer alarmista, mas convém não esquecer que a rocha foi fragmentada e que a sua superfície específica foi bastante aumentada. Interessante é o facto de se poder conhecer o comportamento de rochas bastante alteradas que possam vir a ser usadas em certas obras.

TABELA 1 — Variações percentuais da porosidade aparente (n_a) e absorção de água (A) em amostras granulares expostas aos agentes atmosféricos.

AMOSTRA					
		SP-1	SP-2	SP-3	SP-5
TEMPO Início do processo (T= 0)	n_a	1.01	5.10	7.95	24.92
	A	0.39	2.08	3.29	13.61
Após sete meses (t= 7m)	n_a	1.15	5.93	8.71	28.67
	A	0.44	2.35	3.58	15.64
Velocidades de alteração natural	V_{n_a}/ano	0.24	1.44	1.32	6.48
	V_A/ano	0.084	0.48	0.48	3.48

TABELA 2 — Variações percentuais da porosidade aparente e absorção de água em amostras prismáticas alteradas em laboratório.

AMOSTRAS						
CICLOS			SP-1	SP-2	SP-3SP-4	SP-5
0.000	n_a	1.72	3.03	17.81	24.31	31.42
	A	0.68	1.19	8.42	12.46	17.92
1.000	n_a	—	4.21	18.03	27.39	31.65
	A	—	1.67	8.51	14.08	18.07
2.000	n_a	—	4.79	19.34	27.17	32.68
	A	—	1.90	9.12	14.10	19.03

BIBLIOGRAFIA

- AIRES BARROS, L. 1977 — Experimental laboratory weathering of rocks. Rates of experimental natural weathering of rocks, an attempt of comparison. Comunic. Serv. Geol. Portugal, Lisboa. Tomo LXII, pp. 59-67.
- AIRES BARROS, L. 1978 — Comparative study between rates of experimental laboratory decay. Bull. Intl. Ass. Engng. Geology n.º 18, pp. 169-174.
- DELGADO RODRIGUES, J. 1972 — Nota sobre as características de alteração e alterabilidade do dolerito de Ribamar (Ericeira). Geotecnia, n.º 3 pp. 29-37.
- DELGADO RODRIGUES, J. 1978 — About the quantitative determination of rock weatherability. A case history. Memória n.º 499 LNEC — Lisboa e 3rd Intl. Congr. of Engng. Geology — Madrid.
- FARJALLAT, J. E. S. 1971 — Critério de avaliação da alterabilidade de rochas. 7.º Simp. Pesq. Rodov. — Rio de Janeiro. Publ. Inst. Pesq. Tecnol. n.º 925 — São Paulo.
- FARJALLAT, J. E. S., TATAMIYA, C. T. e YOSHIDA, R. 1974 — An experimental evaluation of rock weatherability. 2nd Intl. Conf. Intl. Ass. of Engng Geology, vol. IV, pp. 30. 1-30.9.
- FARRAN, J. e THENOZ, B. 1965 — L'altérabilité des roches, ses facteurs, sa prévision. Annales de l'Inst. Batim. Travaux Publics, 215 — Paris.
- ILIEV, I. G. 1966 — An attempt to estimate the degree of weathering of intrusive rocks from their physico-mechanical properties. Proc. 1st Cong. Intl. Soc. Rock Mechanics, vol. I, pp. 109-114 — Lisboa.
- LADEIRA, F. L. 1984 — Instabilidade em taludes rochosos provocada por rápido intemperismo. 4.º Congr. Bras. de Geol. Eng.ª, pp. 377-382. Belo Horizonte.
- LADEIRA, F. L. e MINETTE, E. 1984a — Índices físicos de alteração na quantificação da alterabilidade de rochas. 4.º Cong. Bras. de Geol. Eng.ª, vol. 3, pp. 359-363 — Belo Horizonte.
- LADEIRA, F. L. e MINETTE, E. 1984b — Índices geomecânicos de alteração na quantificação da alterabilidade de rochas. 4.º Cong. Bras. de Geol. de Eng.ª, pp. pp. 364-370 — Belo Horizonte.
- LADEIRA, F. L. e MINETTE, E. 1984c — A quantificação da alterabilidade das rochas. Geotecnia, n.º 40, pp. 27-36.
- MENDES, F. de M., AIRES BARROS, L. e RODRIGUES, F. P. 1966 — The use of modal analysis in the mechanical characterization of rock masses. Proc. 1st Conf. Intl. Soc. Rock Mechanics, vol. I, pp. 217-223. Lisboa.
- ONODERA et alii, 1974 — Weathering and its relation to mechanical properties of granite. Proc. 3rd Conf. Intl. Soc. Rock Mech., vol. II, pp. 71-78.
- PARKER, A. 1970 — An index of weathering for silicate rocks. Geol. Mag. vol. 107, n.º 6.
- REICHE, P. 1945 — A survey of weathering process and products. New México. Univ. Pub. in Geology n.º 3, 95pp. Albuquerque.
- STRUILLOU, R. 1966 — Quelques aspects de l'altération rapide des roches silicatés en climat tempéré. Proc. 1st Congr. Intl. Soc. Rock Mechanics pp. 303-306 — Lisboa.
- STRUILLOU, R. 1971 — Stabilité des talus rocheux. Révue de l'Ind. Min. N.º Special — Juillet.

Manuscrito depositado em Dezembro de 1985