

## ORDEM DE REMOÇÃO DE ELEMENTOS LIXIVIADOS EM EXPERIÊNCIAS DE ALTERAÇÃO

*Raphael Hypolito*

e

*José Vicente Valarelli*

*Departamento de Mineralogia e Petrologia*

### ABSTRACT

This paper presents the results of laboratory controlled weathering of fine and coarse grained diabase samples. Under pH and temperature control diabase fragments were leached by drops of aqueous solution.

The experiment was carried out with rocks of similar mineralogical composition but different grain sizes. The main mineral composition was: plagioclase (An<sub>55-60</sub>), pyroxene (augite and pigeonite), locally altered to hornblende, opaques (magnetite and ilmenite), besides small amounts of apatite, clay minerals and interstitial micropegmatite. The grain size of the fine grained diabase (D1) was 0,1 - 1,0 mm and the coarse grained (D2) about 1,0 - 10,0 mm.

The following decreasing relative mobility of elements was observed by comparisons between the chemical composition of the original diabases and the leached ones:

D1 - Fine grained Ca > K > Mg > Na > Si > Fe > Al

D2 - Coarse grained Ca > Na > K > Si > Mg > Fe > Al

### RESUMO

São apresentados os resultados de experiências de alteração de diabásios de granulações diferentes, em aparelho denominado "Intemperizador", que consiste num sistema de armazenamento de soluções aquosas que gotejam sobre as amostras contidas numa coluna de percolação, após o que são analisadas quimicamente.

Os dois diabásios tinham composição mineralógica semelhante: plagioclásios de composição An<sub>55-60</sub>; piroxênios: augita e pigeonita, localmente alterados em hornblenda; acessórios: magnetita, ilmenita, minerais argilosos e apatita; além de quartzo e intercrescimento gráfico.

As razões entre os constituintes iônicos removidos da rocha e os seus teores iniciais nas amostras, fornecem a seguinte sequência decrescente de mobilidade relativa:

D1 - diabásio de granulação fina (0,1 - 1,0 mm):  
Ca > K > Mg > Na > Si > Fe > Al

D2 - diabásio de granulação grossa (1 - 10 mm):  
Ca > Na > K > Si > Mg > Fe > Al

### INTRODUÇÃO

A mobilidade relativa pode ser definida como a relação entre os constituintes iônicos removidos de uma rocha e sua abundância relativa na rocha mãe.

As principais contribuições ao estudo da mobilidade relativa, até o presente se devem a

Smyth (1913), Polynov (1937), Anderson e Hawkes (1958) e Feth et al (1964).

Smyth (1913) trabalhou com valores médios das composições químicas de rochas sedimentares e ígneas da superfície da Terra, e numa estimativa das composições médias das águas dos rios (dados químicos extraídos de um trabalho



de F.W. Clarke 1910). Smyth considerou sete elementos das águas dos rios, recalculados a 100%.

Polynov (1937) por sua vez, baseou seus cálculos nas composições médias das rochas ígneas e nas composições médias das respectivas águas de drenagem destas rochas do globo. A composição média dessas águas foi obtida por Clarke (1924), e representa a média de trinta análises de águas de regiões de rochas ígneas.

Anderson e Hawkes (1958) calcularam a mobilidade relativa usando análises de rochas e águas de três locais com bacias de drenagem individuais. Essas três áreas compreendiam: a) rochas constituídas essencialmente pelos xistos: quartzo-mica-xisto, granada xisto, estauroilita-sillimanita xisto e sillimanita xisto; b) grupo de rochas que variam de quartzo diorito a granito, com constituição mineralógica essencial de: quartzo, microclínio, oligoclásio e biotita; c) rochas leucogranodioríticas contendo quartzo, microclínio, albita, oligoclásio, muscovita e biotita como minerais essenciais.

Feth et al (1964) fizeram um estudo em Serra Nevada analisando quimicamente as neves recém caídas, águas de degelo e das águas que penetraram em fraturas e que reapareciam como fontes permanentes e temporárias.

Em áreas graníticas, realizaram análises químicas de 79 amostras de neve, 64 de água de fontes permanentes, 49 de fontes temporárias e analisaram as águas de 25 fontes permanentes de zona basáltica e andesítica.

Smyth, Polynov e Feth concordam com a seguinte ordem de mobilidade dos 7 principais elementos constituintes das rochas:

Ca > Na > Mg > Si > K > Fe > Al

Os resultados obtidos por Anderson e Hawkes diferem dos anteriores, somente na posição do Mg que ocupa o primeiro lugar:

Mg > Ca > Na > Si > K > Fe > Al

Estes dados foram obtidos a partir de valores médios das composições químicas das águas que representam uma certa etapa do processo de dissolução dos minerais das rochas, que pode ser inicial, como os dados obtidos por Feth, ou corresponder a um estado já avançado do intemperismo.

Um grande número de fatores pode afetar a mobilidade relativa dos elementos, tais como: ação de agentes biológicos; a ação de agentes complexantes naturais; o pH do meio e as reações químicas que podem modificá-lo durante o processo intemperico; o potencial de oxidação; o maior ou menor poder de adsorção do material sólido do meio; o teor de eletrólitos na solução, etc...

As vezes os minerais se decompõem mais ou menos rapidamente, mas dão produtos, que permanecem no sítio do intemperismo, graças a formação de óxidos hidratados pouco solúveis, ou mesmo minerais argilosos. Por outro lado os elementos que não tomaram parte na formação de minerais secundários ou de produtos insolúveis, são rapidamente lixiados, fluindo para as águas superficiais.

#### DAS AMOSTRAS \*

Trabalhou-se com dois lotes de diabásios: um de granulação fina (0,1 - 1 mm) que será denominado D 1 e outro de granulação grossa (1 - 10 mm) que será chamado D 2. As amostras foram coletadas na Pedreira Chapadão (km 97,5 da Via Anhanguera) e apresentam composição química e mineralógica semelhantes (ver tabelas I e II).

#### TRABALHO EXPERIMENTAL

O equipamento utilizado consiste: num sistema de armazenamento de soluções aquosas, provido de termostato e sistema de saturação de gases; de um sistema de percolação: um tubo de vidro (coluna de percolação) dentro do qual são colocadas as amostras, britadas em fragmentos de 2 - 6 mm, e envolto externamente por uma resistência que aquece o sistema a uma temperatura de 65°C; e, por um sistema coletor das soluções de lixiviação, onde é feito o controle de pH de saída, seguido das análises do conteúdo iônico dessas soluções.

Trabalhou-se com solução saturada com gás carbônico, com pH próximo das águas naturais e condições de temperatura e precipitação intermitentes, simulando condições climáticas comparáveis às de um clima tropical úmido com alternância sazonal.

Esses dados eram caracterizados por períodos de 8 horas de precipitação à taxa de 10mm/h, à uma temperatura de 65°C, intercalados por pe-



ródos de 16h de precipitação nula e temperatura média de 25°C.

Efetuuou-se durante as experiências (um ano, 200 litros de lixiviação) controle rigoroso do pH de entrada e de saída das soluções, da taxa de precipitação, e análises químicas das soluções de saída, de 2 em 2 litros.

elementos para vários volumes de lavagem a partir dos dois primeiros litros, considerando também aqueles compreendidos entre o 166º e 176º litro, onde as soluções não foram saturadas de gás carbônico (tabela III).

A mobilidade relativa dos diabásios foi calculada segundo o procedimento proposto por

**TABELA I**

Composição Modal

	D 1 %	D 2 %
Plagioclasio	54,0	45,4
Piroxênio	29,8	25,6
Olivina	0,8	1,4
Opacos	7,6	7,8
Quartzo	1,0	4,0
Intercrescimento grafico	0,4	7,4
Minerais argilosos (no ntronita)	5,8	5,6
Apatita	0,2	0,2
Anfibolio	0,4	2,6

**TABELA II**

	D 1* %	D 2* %
SiO <sub>2</sub>	49,62	48,70
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,10	13,39
TiO <sub>2</sub>	2,90	3,17
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,66	7,74
FeO	8,01	8,67
MnO	0,09	0,10
MgO	4,45	3,75
CaO	9,14	8,51
Na <sub>2</sub> O	2,45	2,75
K <sub>2</sub> O	1,19	1,79
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,80	0,90
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0,01	0,01
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,11	0,09
TOTAL	99,53	99,57
P. E.	3,012	2,994

\*Média obtida a partir de oito análises

#### DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste trabalho obteve-se a reprodução do processo natural correspondente aos primeiros estádios do intemperismo e graças às características do intemperizador, foi possível exprimir, com razoável precisão, a ordem de eliminação dos principais elementos.

Afim de se ter a sequência de remoção dos íons desde as primeiras fases de transformação das rochas, calculou-se a mobilidade relativa dos

Smyth(1913) que consite na relação entre as porcentagens dos óxidos das águas de percolação e as porcentagens dos óxidos da rocha.

Para cada elemento considerado, a mobilidade relativa é dada pela relação:

$$MR : \frac{\% \text{ do óxido em solução}}{\% \text{ do óxido na rocha}}$$

A maior razão obtida, corresponde a maior mobilidade do elemento considerado.

TABELA III - MOBILIDADE RELATIVA DOS ELEMENTOS

VOLUME (litros)		ORDEM DECRESCENTE →						
diabásio D1	2	Ca 6,97	K 6,85	Na 3,95	Mg 0,67	Si 0,24	Fe 0,01	Al 0,00
	4	Ca 6,86	K 6,13	Na 3,11	Mg 0,80	Si 0,31	Fe 0,01	Al 0,00
	8	Ca 6,94	K 5,60	Na 2,41	Mg 0,96	Si 0,32	Fe 0,03	Al 0,00
	16	Ca 6,64	K 5,78	Na 1,91	Mg 1,15	Si 0,37	Fe 0,06	Al 0,00
	32	Ca 6,15	K 5,54	Na 1,37	Mg 1,34	Si 0,48	Fe 0,07	Al 0,01
	64	Ca 5,62	K 4,62	Mg 1,48	Na 0,89	Si 0,59	Fe 0,08	Al 0,02
	128	Ca 4,85	K 4,02	Mg 1,95	Si 0,73	Na 0,57	Fe 0,06	Al 0,02
	164	Ca 4,63	K 3,60	Mg 2,22	Si 0,76	Na 0,53	Fe 0,05	Al 0,02
	170	Ca 4,58	K 3,55	Mg 2,20	Si 0,77	Na 0,52	Fe 0,05	Al 0,02
	176	Ca 4,52	K 3,50	Mg 2,18	Si 0,79	Na 0,51	Fe 0,05	Al 0,02
	200	Ca 4,47	K 3,16	Mg 2,33	Si 0,79	Na 0,45	Fe 0,05	Al 0,02
diabásio D2	2	Ca 7,42	Na 6,01	K 2,58	Si 0,23	Mg 0,13	Al 0,01	Fe 0,00
	4	Ca 7,64	Na 5,15	K 2,35	Si 0,25	Mg 0,18	Fe 0,00	Al 0,00
	8	Ca 7,62	Na 3,90	K 1,99	Si 0,31	Mg 0,22	Fe 0,06	Al 0,00
	16	Ca 7,31	Na 2,90	K 1,74	Si 0,39	Mg 0,27	Fe 0,16	Al 0,02
	32	Ca 6,70	Na 2,06	K 1,57	Si 0,53	Mg 0,44	Fe 0,17	Al 0,02
	64	Ca 6,17	Na 1,51	K 1,28	Si 0,66	Mg 0,57	Fe 0,16	Al 0,03
	128	Ca 5,29	K 0,98	Na 0,92	Si 0,84	Mg 0,83	Fe 0,14	Al 0,03
	164	Ca 4,95	Mg 0,93	Si 0,90	K 0,86	Na 0,77	Fe 0,15	Al 0,04
	170	Ca 4,89	Mg 0,93	Si 0,91	K 0,85	Na 0,76	Fe 0,15	Al 0,04
	176	Ca 4,85	Mg 0,93	Si 0,92	K 0,85	Na 0,78	Fe 0,15	Al 0,04
	200	Ca 4,80	Mg 1,00	Si 0,92	K 0,82	Na 0,72	Fe 0,16	Al 0,05



Verifica-se que a maior mobilidade do cálcio e a menor do alumínio e ferro concordam com as apresentadas por Smyth e outros, mas existem algumas discrepâncias quanto aos outros elementos principalmente a posição ocupada pelo potássio. Entretanto, na ordem de remoção dos elementos, calculada por Polynov para as rochas ígneas o potássio ocupa o quarto lugar, com mobilidade relativa cerca de oito vezes maior que o elemento seguinte.

D 1	Ca	K	Mg	Na	Si	Fe	Al
M. R. (média)	5,66	4,76	1,57	1,47	0,56	0,05	0,02
%	40,17	33,78	11,14	10,43	3,97	0,35	0,14

  

D 2	Ca	Na	K	Si	Mg	Fe	Al
M. R. (Média)	6,15	2,32	1,44	0,62	0,58	0,12	0,02
%	54,66	20,62	12,82	5,51	5,15	1,07	0,18

As discrepâncias refletem principalmente as diferenças texturais e a elevada mobilidade relativa do cálcio e seu elevado teor nas soluções de lixiviação mostram que a hidrólise dos plagioclásios, (e também dos piroxênios), desempenhou

Utilizando-se os valores apresentados por Pedro(1964) referentes aos estudos de intemperismo de basaltos com extrator do tipo Soxhlet, foram calculadas as mobilidades relativas dos elementos, verificando-se que o potássio foi o elemento mais removido durante o processo com lixiviação carbohidricas.

Baseando-se nos valores médios das mobilidades relativas, obtiveram-se as seguintes ordens de remoção dos elementos:

papel importante nos processos de alteração. Este elemento, juntamente com o sódio e potássio, foram os mais eliminados nos primeiros litros de lixiviação, quando houve também maior consumo hidrogênico.

#### BIBLIOGRAFIA

- Anderson, D.H., Hawkes, H.E. - 1958 - "Relative Mobility of the common elements in weathering of some schist and granite areas. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, v.14, nº3, pp. 204-210.
- Clarke, F.W. - 1910 - "A preliminary study of chemical denutrio". *Smithsonian Coll*, v.LVI, nº 5, p.8.
- Clarke, F.W. - 1914 - "The data of geochemistry (5th Ed.)" *Bull. US. Geol. Surv.* 770 p.
- Feth, J. H., Roberson, C.E., and Polser, W.L. - 1964 - Sources of mineral constituents in water from granitic rocks, Sierra Nevada. California and Nevada - U.S.Geol.Survey Water - Supply Paper 1535 - I, 70 p.
- Pedro, G. - 1964 - "Contribution a l'étude expérimentale de l'alteration géochimique des roches cristallines". - Institut National de la Recherche Agronomique, Paris, 345 p.
- Polynov, B.B. - 1937 - "Cycle of weathering-Mury" - Publishing Co. London, 220 p.
- Smyth, C.H., Jr. - 1913 - "The relative solubilities of chemical constituents of rocks - *Jour. Geology*, v.21, nº2, pp.105-120.