

SOBRE A MAGNETIZAÇÃO DE LAVAS BASÁLTICAS DOS AÇORES

Frederico Machado, (1)

Fernando de Almeida (2)

RESUMO A magnetização das rochas vulcânicas está certamente relacionada com a susceptibilidade e com o teor dos minerais magnéticos. A distribuição errática destes parâmetros parece devida a alterações secundárias, ocorridas durante o arrefecimento das correntes de lava.

ABSTRACT *On the magnetization of basaltic lavas from the Azores* Magnetization of volcanic rocks is expected to be related to the magnetic susceptibility and to the amount of magnetic minerals. The distribution of these properties is somewhat erratic, which seems to be due to deuteric alterations, during the cooling of lava flows.

1. ANTECEDENTES

Em 1975 foram publicadas algumas medidas da magnetização remanescente de lavas dos Açores (Machado & Costa, 1975).

Pareceu então que os valores mais altos da magnetização se distribuíam nas faixas onde se supõem localizados os centros de expansão (este-oeste), de acordo com as ideias da Tectónica de Placas (cf. Machado & al., 1972). Para um e outro lado, o magma iria perdendo minerais magnéticos por diferenciação gravitativa ao longo do percurso na câmara magmática. Os fenómenos não estavam, porém, muito bem compreendidos e pareceu conveniente estudar uma nova colecção de amostras das ilhas do Faial e do Pico.

Nestas ilhas (Fig. 1) os possíveis centros de expansão estão localizados na parte oeste do Faial onde houve erupções muito recentes (1972 e 1957) e na parte central do Pico onde houve também várias erupções históricas (1572, 1718 e 1720).

A distribuição das intensidades de magnetização (referidas a rocha compacta) obtidas nesse estudo anterior, vai indicada na Fig. 2, onde os pontos estão marcados no local de colheita.

2. NOVAS DETERMINAÇÕES DA INTENSIDADE DE MAGNETIZAÇÃO

A ilha do Pico é constituída por materiais basálticos. As escoadas de lava espalharam-se nas vertentes do elevado cone vulcânico (altitude 2351 m). Há também numerosos cones de escórias que marcam as chaminés das erupções periféricas.

No Faial, só o extremo oeste é que apresenta manchas apreciáveis de rochas basálticas à superfície. A parte restante da ilha está coberta por camadas de pedra-pomes traquítica. Contudo, por baixo destas camadas, as rochas são também geralmente basálticas.

Foi assim possível escolher nas duas ilhas apenas rochas basálticas (que apresentam magnetização muito mais elevada). As medidas foram feitas em amostras de mão com um magnetómetro Highmoor, do tipo «flux-gate». O método usado foi semelhante ao descrito anteriormente (Machado & Costa, 1975): os resultados (em gauss) constam do Quadro I.

A distribuição dos resultados (referidos a rocha compacta) vai indicada na Fig. 3, onde os valores estão marcados nas chaminés por onde as lavas foram emitidas. Esta distribuição é apreciavelmente diferente da

(1) Univ. dos Açores, 9502 Ponta Delgada; presentemente no Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro, 3800 Aveiro.

(2) Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, 3800 Aveiro.

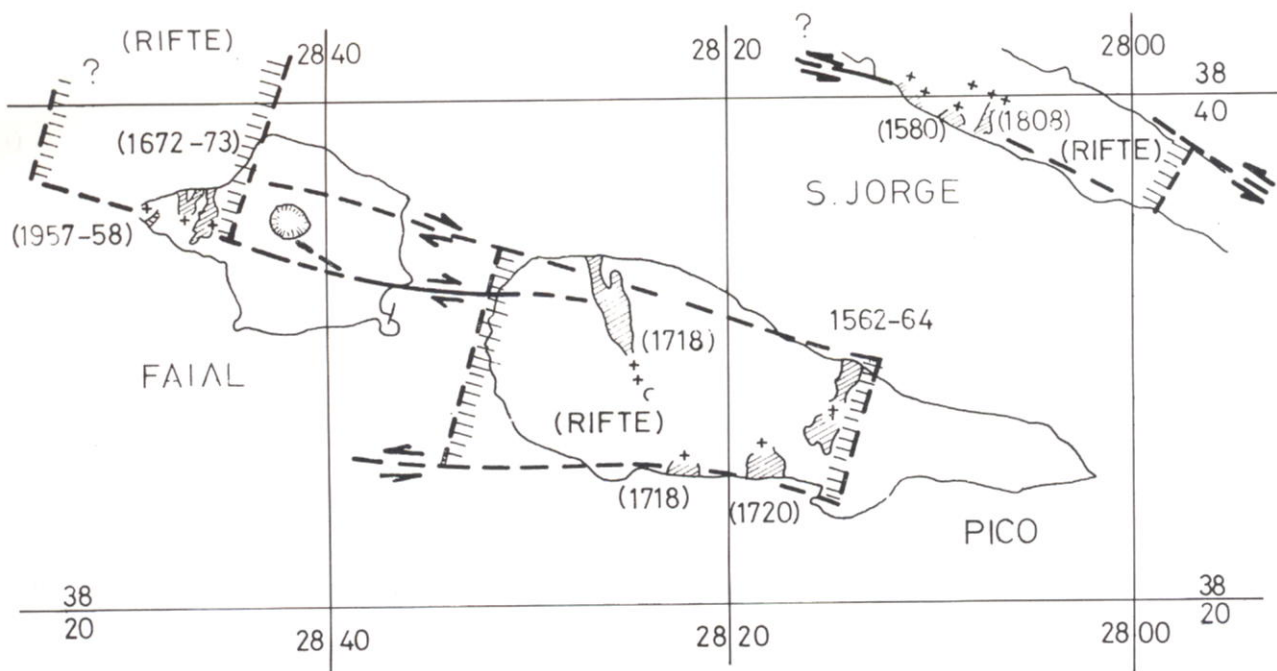


Fig. 1 — Lavas históricas das ilhas do Faial e do Pico e possíveis centros de expansão (riftes).

QUADRO I
Parâmetros magnéticos

N.º da Amostra	J (10^{-5} gauss)	K (10^{-3} gauss/oersted)	Q
P1	739	2.49	6.5
P2	489	3.63	2.9
P3	581	0.84	15.0
P4	1225	2.84	10.7
P5	363	2.66	3.0
P6	1029	3.30	6.8
P7	344	1.66	4.5
P8	396	3.66	2.4
P9	872	3.93	4.8
F10	520	3.18	3.6
F11	1027	0.71	31.5
F12	282	0.42	14.5
F13	1180	4.64	5.5
F14	260	4.37	1.3
T15	60	2.56	0.5
F17	1192	1.84	14.1
F18	2014	1.02	42.8
F19	1554	4.22	8.0
F20	1185	0.73	35.3
F21	384	2.74	3.0
F22	1033	2.88	7.8

indicada na Fig. 2 (as diferenças excedendo muito as pequenas variações resultantes da mudança no critério da marcação dos pontos).

A falta de repetitividade (um tanto inesperada) justificou o desenvolvimento que foi dado ao presente estudo. Para tentar compreender os fenómenos, determinaram-se sucessivamente as susceptibilidades magnéticas das amostras, e os teores e natureza dos respectivos minerais magnéticos (cf. Almeida, 1984).

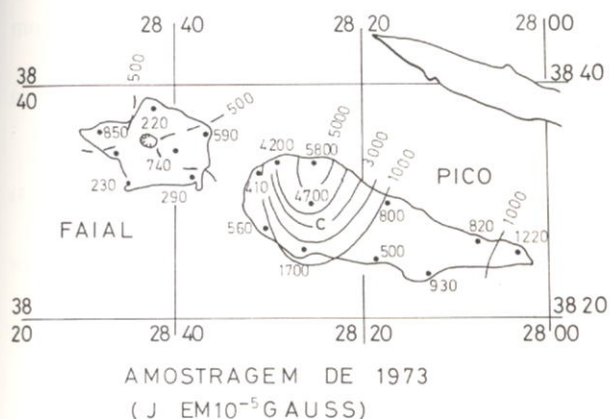


Fig. 2 — Distribuição das intensidades de magnetização da amostragem de 1973 (os pontos foram marcados nos locais da colheita).

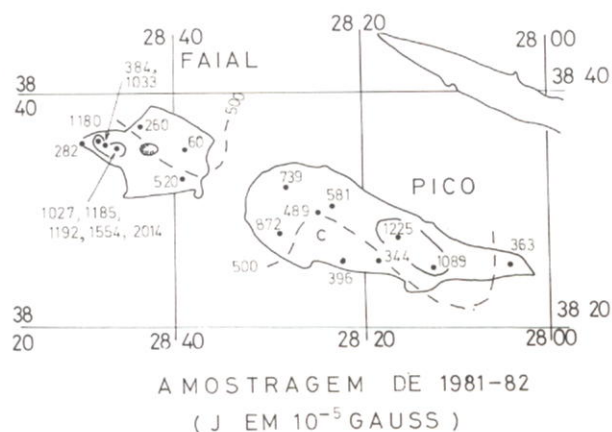


Fig. 3 — Distribuição das intensidades de magnetização da amostragem de 1981-82 (os pontos foram marcados nas chaminés de emissão).

3. DETERMINAÇÕES DA SUSCEPTIBILIDADE MAGNÉTICA

A partir das amostras de mão, talharam-se no laboratório pequenos cilindros com diâmetro de 2,5 cm e altura também de 2,5 cm. A susceptibilidade magnética da rocha de cada cilindro foi medida numa «ponte» Highmoor da Universidade dos Açores. Os resultados (em gauss/oersted, referidos a rocha compacta), foram incluídos no Quadro I.

Tem muito interesse considerar a relação entre a magnetização remanescente e o produto da susceptibilidade pelo campo magnético (expresso em oersteds).

O cociente

$$Q = \frac{J}{K H} \quad (1)$$

é chamado factor de Koenigsberger; J é a intensidade da magnetização, K a susceptibilidade e H o campo magnético.

Utilizando, para os Açores, um valor médio $H = 0,46$ oersted, calcularam-se os factores Q indicados também no Quadro I. Estes factores traduzem, de certo modo, o efeito dos chamados domínios magnéticos na magnetização remanescente.

Os valores de Q variam de forma irregular, o que resulta de não haver certamente correlação entre J e K.

4. VALORES MODAIS DE TITANOMAGNETITE

Os minerais que parecem responsáveis pela magnetização remanescente de rochas basálticas são as titanomagnetites (Ti-Mt). Os respectivos valores modais (Quadro II) foram determinados no microscópio petrográfico, em luz reflectida.

É possível estabelecer uma relação (mais ou menos aproximada) entre a susceptibilidade magnética duma rocha e o teor do correspondente mineral magnético. Essa relação é da forma (cf. Stacey & Banerjee, 1974, p. 71).

$$K = \frac{x k_i}{1 + N k_i} \quad (2)$$

Aqui K é a susceptibilidade, x é o teor do mineral magnético da rocha, k_i é a susceptibilidade intrínseca de cada grão magnético e N é o chamado factor de desmagnetização.

Se k_i e N forem sensivelmente constantes, a susceptibilidade K será proporcional ao teor x. Nas amostras estudadas a composição das titanomagnetites parece ser, porém, um tanto variável, o que faz com que os pontos (correspondentes a K e x) se afastem duma recta passando na origem (Fig. 4). Apesar da dispersão, os pontos parecem realmente ajustar-se melhor a uma parábola do 2.º grau.

5. COMPOSIÇÃO DA TITANOMAGNETITE

As titanomagnetites são soluções sólidas de magnetite e ulvospinela. O método que pareceu mais conveniente para determinar as respectivas composições foi a difracção de raios X.

O baixo teor de Ti-Mt tornava, porém, difíceis as determinações se se trabalhasse com a rocha total pulverizada. Houve assim necessidade de concentrar aquele mineral. Utilizou-se para isso separação magnética por via húmida: a rocha pulverizada, numa suspensão

em água, era passada por um tubo transparente, entre os polos dum electro-íman, que retinha as partículas magnéticas da Ti-Mt.

O concentrado (de granulometria inferior a $37 \mu\text{m}$) foi montado em porta-amostras e submetido aos raios X num difractómetro Philips da Universidade de Aveiro. Isto permitiu determinar o parâmetro de malha a_0 e a fracção molar de magnetite. As determinações foram tratadas estatisticamente, o que as torna mais fidedignas (cf. Almeida, 1984).

Os resultados finais indicam-se também no quadro II (valores da fracção molar de magnetite na solução sólida). Há uma grande variação nesta fracção molar

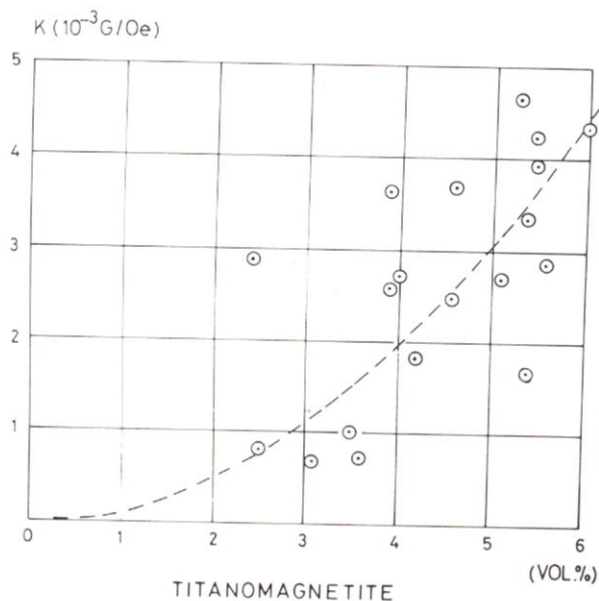


Fig. 4 — Susceptibilidade magnética em função do teor de titanomagnetite, s amostras do Faial e do Pico.

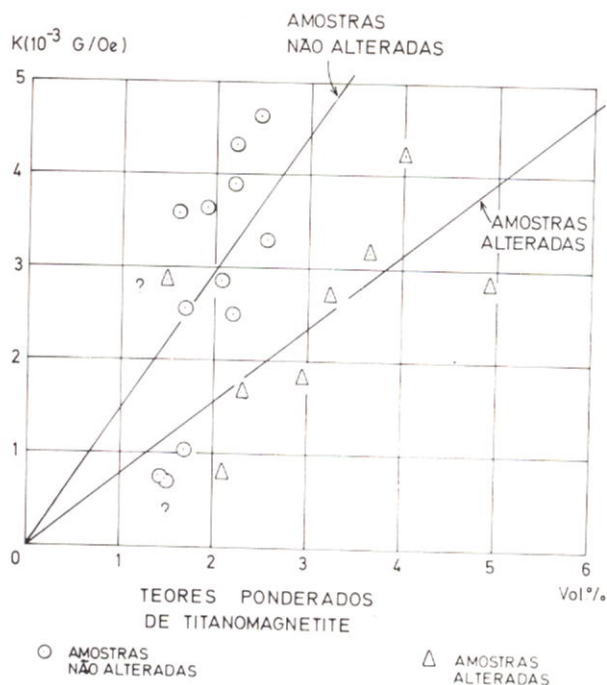


Fig. 5 — Susceptibilidade magnética em função do teor ponderado de titanomagnetite, nas amostras do Faial e do Pico. Separam-se as amostras com Ti-Mt não alterada (Tipo A), daquelas com Ti-Mt alterada (Tipo B), de acordo com o Quadro IV.

(entre 32 e 88%), o que justifica algumas das irregularidades encontradas na relação entre a susceptibilidade e os teores de Ti-Mt. Pareceu então razoável ponderar estes últimos valores multiplicando-os pela referida fracção molar, conforme se indica no Quadro II.

Os pontos correspondentes aos teores ponderados foram marcados na Fig. 5. Parece haver duas populações distintas de amostras. Conforme se verá adiante, há diferenças apreciáveis no grau de alteração da titanomagnetite (Quadro IV); e, de forma notável, uma das populações da Fig. 5 parece corresponder às amostras com Ti-Mt não alterada, e a outra, às amostras com Ti-Mt alterada.

Qualquer das populações ajusta-se sensivelmente à recta

$$K = a\bar{X} \quad (3)$$

onde \bar{X} é o teor ponderado de titanomagnetite que, por comparação com (2), é multiplicado pelo factor,

$$a = \frac{k_j}{1 + N k_j} \quad (4)$$

Para a população de amostras não alteradas, um ajustamento pelos mínimos quadrados deu $a = 0.148$ gauss/oersted, e, para a população de amostras alteradas, $a = 0.079$ gauss/oersted.

Usando $N = 3.9$ oersted/gauss, obteve-se por (4) $k_j = 0.35$ e $k_j = 0.11$ gauss/oersted, respectivamente para a susceptibilidade intrínseca dos grãos de Ti-Mt não alterada, e alterada.

Para grãos de magnetite pura (com diâmetro de $50 \mu\text{m}$) o valor de k_j é de cerca de 1,3 gauss/oersted (Stacey & Banerjes, 1974, p. 71); as titanomagnetites estudadas (alteradas ou não) têm portanto susceptibilidade intrínseca muito mais baixa, o que era certamente de esperar.

6. CORRELAÇÕES ENTRE OS VÁRIOS PARÂMETROS

Em virtude da dispersão dos dados, há interesse em ver as suas correlações. Para isso adoptou-se o coeficiente de Spearman que se adapta bem a pequenas amostras que possam não obedecer à lei normal. Para 20 ou 21 pares de dados, a correlação é significativa para coeficientes superiores a cerca de 0.37 com intervalo de confiança de 95% (Mc Cullagh, 1974, pp. 85 e seg.)

Os resultados constam do Quadro III. Vemos que há uma boa correlação entre a magnetização e o factor Q e uma correlação ainda razoável entre o teor ponderado de Ti-Mt e a susceptibilidade (o que concorda com os diagramas da Fig. 5). A correlação negativa entre Q e K resulta da equação (1).

QUADRO II

Teores de titanomagnetite

N.º da Amostra	x (val. modais)	n (fr. ¯o molar de Mt)	$\bar{x} = x \cdot n$ (val. ponder.)
	%	%	%
P1	4.6	47	2.16
P2	3.9	41	1.60
P3	2.5	84	2.10
P4	5.6	88	4.93
P5	5.1	40	2.04
P6	5.4	47	2.54
P7	5.4	43	2.32
P8	4.6	41	1.89
P9	5.5	48	2.20
F10	4.2	87	3.65
F11	3.6	42	1.51
F12	—	32	—
F13	5.3	46	2.44
F14	6.0	37	2.22
F15	3.9	43	1.68
F17	4.2	70	2.94
F18	3.5	48	1.68
F19	5.4	74	4.00
F20	3.1	46	1.43
F12	4.0	81	3.24
F22	2.4	64	1.54

Podemos talvez concluir que a magnetização J depende do arranjo dos domínios magnéticos (factor Q), não estando correlacionada com a susceptibilidade K. Aquela dependência dos domínios parece mesmo ser maior para baixos valores de K.

A magnetização pode ser influenciada por algum fenómeno secundário, assunto que vai ser discutido na secção seguinte.

7. OXIDAÇÃO DOS MINERAIS MAGNÉTICOS

Conforme temos dito, os principais minerais magnéticos dos basaltos são as titanomagnetites que são soluções sólidas de ulvospinela e magnetite. Por oxidação, as Ti-Mt passam geralmente a minerais de outra solução sólida (praticamente não magnética) que tem por extremos a ilmenite e a hematite (veja-se por exemplo, Haggarty, 1976).

Em condições favoráveis de temperatura, a oxidação pode conduzir a exsolução, dando uma ilmeno-hematite

e uma titanomagnetite muito rica em magnetite que vai aumentar os valores de J dos basaltos (e alterar outros parâmetros magnéticos). O fenómeno parece ser controlado pela chamada fugacidade de oxigénio (Spencer & Lindsley, 1981; veja-se também Almeida, 1984).

A exsolução dá-se aparentemente num intervalo estreito de temperatura. A exsolução será então mais intensa nas escoadas espessas que, por arrefecerem lentamente, se mantêm mais tempo naquelas temperaturas críticas.

Tentou-se determinar ao microscópio o grau de oxidação das Ti-Mt das várias amostras (Quadro IV). A alteração das Ti-Mt conduz, como vimos, a uma diminuição de susceptibilidade (cf. Fig. 5).

O efeito na magnetização é mais complexo, devendo haver modificação nos limites dos domínios magnéticos. Nalguns casos, há magnetizações apreciáveis com oxidações fortes (caso das amostras P4, F17, F19, e F22), mas os fenómenos não estão completamente compreendidos, sendo desejável que prossiga esta linha de investigação.

QUADRO III

Correlações entre parâmetros magnéticos

	J	K	Q	$\bar{x}_{\text{pond.}}$
$\bar{x}_{\text{pond.}}$	+0,15	+0,41	-0,09	1
Q	+0,70	-0,59	1	
K	+0,04	1		
J	1			

QUADRO IV

Oxidação das titanomagnetites

N.º da Amostra	Grau de oxidação	N.º da amostra	Grau de oxidação
P1	A1	F12	A0
P2	A0	F13	A1
P3	B1	F14	A0
P4	B1	F15	A0
P5	A0	F17	B0
P6	A1	F18	A1
P7	B0 (?)	F19	B0
P8	A0	F20	A1
P9	A0	F21	B0
F10	B1	F22	B0
F11	A0		

A0= Titanomagnetite (Ti-Mt) praticamente inalterada.

A1= Alteração da Ti-Mt < 5%

B0= Alteração da Ti-Mt 5 a 50%

B1= Alteração da Ti-Mt > 50%

8. CONCLUSÕES

Apesar das incertezas do presente estudo, podemos estabelecer os seguintes factos:

a) A diferenciação gravitativa (que é certamente responsável pelo aparecimento de rochas traquíticas) não parece ter influência apreciável nas propriedades magnéticas das lavas basálticas.

b) Os parâmetros magnéticos dos basaltos dependem não só do teor e composição das titanomagnetites, mas também da respectiva oxidação secundária (deutérica).

c) Esta oxidação é influenciada pelo tempo de arrefecimento e, portanto, pela espessura local das correntes de lava, o que parece justificar o carácter errático da distribuição dos parâmetros magnéticos.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F. (1984) — *Propriedades Magnéticas de Lavas do Pico - Faial (Açores)*. Relatório para provas de aptidão pedagógica e capacidade científica na Universidade de Aveiro.
- HAGGARTY, S. E. (1976) — Oxidation of opaque mineral oxides in basalt. *Mineralogical Society of America, Short Course Notes*, vol. 3, pp. Hg 16-27.
- MACHADO, F. & COSTA, A. M. (1975) — Estudo paleomagnético de lavas dos Açores. *Com. Serv. Geol. Port.*, t. 59, pp. 229-242.
- MACHADO, F., QUINTINO, J. & MONTEIRO, J. H. (1972) — Geology of the Azores and the mid-Atlantic rift. *24 th Int. Geol. Congr. (Montreal)*, section 3, pp. 134-142.
- McCULLAGH, P. (1974) — *Data Use Interpretation*. Oxford Univ. Press, Oxford.
- SPENCER, K. Y. & LINDSLEY, D. H. (1981) — A solution model for coexisting iron-titanium oxides. *The American Mineralogist*, vol. 66, pp. 1189-1201.
- STACEY, F. D. & BANERJEE, S. K. (1974) — *The Physical Principles of Rock Magnetism*. Elsevier, Amsterdam.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio valioso de Celso Gomes, professor da Universidade de Aveiro, nos trabalhos de difracção de raios X. A preparação de amostras foi feita na Universidade dos Açores, por Ernesto Sousa. Os desenhos foram preparados por M. Graça Marques, na Universidade de Aveiro. A todos são devidos agradecimentos.

Manuscrito depositado em Dezembro de 1985