

ESTUDO PALEOMAGNÉTICO E CRONOLOGIA ESTRATIGRÁFICA DE FORMAÇÕES VULCÂNICAS DA ILHA DE SANTA MARIA, AÇORES

MÁRIO A. O. SALGUEIRO

ARQUIPÉLAGO



SALGUEIRO, MÁRIO A.O. 1991. Paleomagnetic study and chronological stratigraphy of volcanic formations from Santa Maria Island, Azores. *Arquipélago*. Life and Earth Sciences. 9:83-99. Angra do Heroísmo. ISSN 0870-6581.

An analysis of paleomagnetic results from basalt sequences of lavas and dykes, cropping out in the Praia region along the south coast of Santa Maria Island, is presented. The volcanic units were sampled in vertical profiles from the sea level up to 244 m, comprising a subaerial basement complex of lava flows and dykes, a submarine volcano-sedimentary complex of pillow lavas and fossiliferous calcarenites and other sediments, and finally by subaerial basalt lavas. Tests for stability against AF and thermal demagnetisation confirm that the remanent paleomagnetism is of Pliocene origin. The virtual geomagnetic poles obtained led to the determination of a paleomagnetic pole for all formations at $80^{\circ}24'N$, $147^{\circ}48'E$ ($\alpha_{95} = 7.3^{\circ}$). The identification of a polarity sequence, supported by K/Ar ages of some units, establishes a paleomagnetic stratigraphy for the Pliocene. The polarities and the comparison of the pole position with the European APW path and other pole positions, at about $80^{\circ}N$, for some volcanic islands in the central North Atlantic, indicate a mid-Pliocene age for the studied volcanic formations from Santa Maria.

SALGUEIRO, MÁRIO A.O. 1991. Estudo paleomagnético e cronologia estratigráfica de formações vulcânicas da Ilha de Santa Maria, Açores. - *Arquipélago*. Ciências da Natureza. 9:83-99. Angra do Heroísmo. ISSN 0870-6581.

Apresenta-se uma análise de resultados paleomagnéticos de sequências basálticas de lavas e filões que ocorrem na região da Praia na costa sul da Ilha de Santa Maria. Colheram-se amostras em perfis verticais, desde o nível do mar até à altitude de 244 m, compreendendo um complexo basal subaéreo de derrames e filões, um complexo vulcano-sedimentar submarino de lavas "pillow", calcarenitos fossilíferos e outros sedimentos, e ainda uma série de lavas basálticas subaéreas. As magnetizações remanentes características dos derrames foram determinadas após tratamento selectivo de desmagnetização das amostras, por campos alternados e tratamento térmico. A partir dos polos geomagnéticos virtuais obtidos foi determinado um polo paleomagnético para todas as formações em $80^{\circ}24'N$, $147^{\circ}48'E$ ($\alpha_{95} = 7.3^{\circ}$). Com apoio em idades K/Ar de algumas unidades foi identificada e estabelecida a estratigrafia paleomagnética para o Pliocénico. As polaridades e a comparação da posição do polo com a curva de deriva polar aparente europeia e com outras posições polares de algumas ilhas vulcânicas do Atlântico Norte Central (cerca dos $80^{\circ}N$) indicam uma idade pliocénica para as formações estudadas de Santa Maria.

Mário Salgueiro, Departamento de Geociências, Universidade dos Açores, 9500 Ponta Delgada, Açores, Portugal.

INTRODUÇÃO

A Ilha de Santa Maria pertence ao Arquipélago dos Açores e situa-se no Atlântico Norte, a cerca de 37° de latitude N e 25° de longitude W, a oriente da dorsal média atlântica. Inserida na tectónica da junção tripla dos Açores, Santa Maria encontra-se na proximidade da Falha Glória, término sudeste da zona de expansão oceânica definida por SEARLE (1980), também designada por Rife da Terceira.

O Arquipélago dos Açores, formado por nove ilhas e alongado na direcção NW-SE, eleva-se da região submarina da Plataforma dos Açores e é atravessado pela dorsal atlântica, entre as Flores e o Faial.

A distribuição insular enquadra-se na evolução da abertura do Atlântico, tendo em conta as idades geológicas mais antigas, de cerca de 5 Ma, atribuíveis à Ilha de Santa Maria, no extremo SE, e de cerca de 4 Ma, atribuíveis à ilha submersa que se encontra a cerca de 50 km

a W das Flores, no extremo NW (RYALL & al. 1983).

Para as ilhas oceânicas, como Santa Maria, são apropriados estudos de paleomagnetismo devido ao grande número de escoadas lávicas disponíveis. Como na maioria das lavas basálticas, a polaridade magnética é função do campo geomagnético presente durante o arrefecimento inicial dos derrames, os resultados paleomagnéticos, nomeadamente as magnetizações características, mostram-se de grande valor em estratigrafia vulcânica com base na premissa da alternância de polaridade do campo ao longo do tempo geológico.

Neste trabalho, apresenta-se um estudo paleomagnético de sequências de derrames e filões basálticos da região sul-central da Ilha de Santa Maria, ao longo dos perfis Praia-Brejo e Praia-Malbusca. Por ordem estratigráfica as-

cendente, desde o nível do mar até aos 244 m de altitude, colheram-se amostras orientadas de lavas e filões dum complexo basal subaéreo, de lavas "pillow" dum complexo vulcano-sedimentar submarino, e de uma série de derrames subaéreos.

Nesta sequência vulcano-estratigráfica de rochas de tipo basáltico, alcalinas, o complexo basal e a série de escoadas lávicas submarinas e subaéreas superiores são constituintes, respectivamente, do Complexo dos Anjos e do Complexo do Facho-Pico Alto assinaladas na Carta Vulcanológica da Ilha de Santa Maria, à escala 1/15.000 (SERRALHEIRO & al. 1987) (perfil da Fig. 1).

Salientando aspectos da petrologia e da mineralogia magnética dos basaltos insulares, apresentam-se as magnetizações remanentes naturais (MRN) e as características, bem como

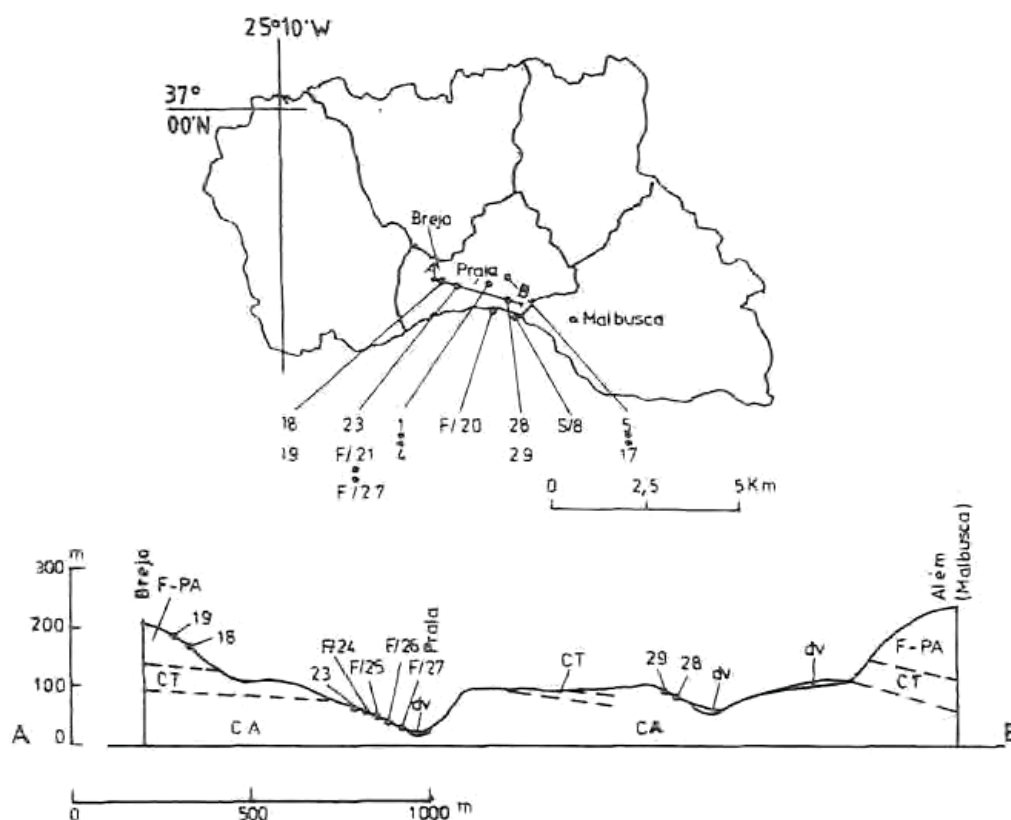


Fig. 1 - Mapa da ilha de Santa Maria, com a localização da amostragem paleomagnética de derrames (número) e filões (F/número). AB - é um perfil geológico esquemático da Carta Vulcanológica de Santa Maria (SERRALHEIRO & al. 1987). CA - Complexo dos Anjos; CT - Complexo do Touril; F-PA - Complexo do Facho-Pico alto; dv - depósito de vertente.

Map of Santa Maria island showing paleomagnetic sampling localities of lava flows (number) and dykes (F/number). AB - schematic geological profile from the Volcanological Map of Santa Maria (SERRALHEIRO & al. 1987). CA - Anjos Complex; CT - Touril Complex; F-PA - Facho-Pico Alto

os polos geomagnéticos virtuais obtidos. Estes permitiram calcular três polos paleomagnéticos, dos quais o polo P(T) do conjunto das formações estudadas tem as coordenadas de 80° 24' N e 147° 48' E e apresenta o valor $\alpha_{95} = 7.3^\circ$, diferindo nitidamente do polo geomagnético actual: 75° 42' N e 236° 42' E. Este polo P(T), comparativamente a polos análogos de algumas ilhas das Canárias e da Madeira e à curva de deriva polar aparente da Europa, situa-se na posição de idade da transição do Miocénico para o Pliocénico, adjacente ao paralelo dos 80° N.

Os resultados paleomagnéticos experimentais, com apoio em idades K/Ar fiáveis, permitem ainda estabelecer zonagens de polaridade original que cobrem diversas épocas e eventos, enquadrando as formações estudadas da Ilha de Santa Maria numa estratigrafia paleomagnética do Pliocénico que se esquematiza numa ampla secção da escala-tempo de reversões geomagnéticas, conforme

ilustrado na Fig. 7, e é concordante com a posição de idade do polo P(T).

MATERIAL E MÉTODOS

1. Amostragem e enquadramento geológico

Procedeu-se à amostragem tão representativa quanto possível das lavas e filões basálticos, tendo em vista a individualização de sequências com bom ordenamento estratigráfico.

As amostras de mão colhidas em Santa Maria, em Agosto de 1981, são de rochas que no campo se mostram com aspecto não alterado e em atitude original. Na separação e individualização de sequências de derrames, atendeu-se à intercalação de níveis piroclásticos e à existência de zonas vesiculares, de zonas escurecidas e de diaclasamentos.

Os derrames têm espessura média de alguns metros, com excepção das lavas colunares maciças do Brejo (derrames 18 e 19) e suas equivalentes na vertente da Malbusca (der-

PERFIL/PROFILE		Unidades Geológicas Geological Units	PERFIL/PROFILE		Altitude (m)
Altitude (m)	Praia-Brejo		Praia-Malbusca	Altitude (m)	
	(W)		(E)		
		Superior Upper	sequência derrames/tufos lava flows/tuffs sequence	17	244
178		basaltos subaéreos		8	
159	basalto maciço 19 massive basalt 18	subaerial basalts	basalto maciço massive basalt	6 5	173
	arenito tufáceo tuffaceous sandstone	Média Middle	lava submarina pillow lava	4 3 2	153
	calcarenitos fossilíferos fossiliferous calcarenites	complexo submarino	conglomerados conglomerates	1	136
	conglomerado/brecha conglomerate/breccia	submarine complex	sedimentos fossilíferos fossiliferous sediments		
75					75
60	27 (F) 26 (F)	Inferior Lower		29 28	60
	25 (F) 24 (F) 23 (F) 21 (F)	derrames/filões subaéreos subaerial lava flows/dykes			
0.0			20 (F)		0.0

Fig. 2 - Secções estratigráficas das sequências basálticas amostradas. Os derrames e os filões (F) estão referenciados por números, à direita à esquerda, respectivamente.

Stratigraphic sections of sampled basalt sequences. Symbols are the same as in Fig.1 (lava flows and dykes are numbered right and left, respectively).

ramos 5 e 6) com espessuras de cerca de 10 m. A espessura dos filões é de aproximadamente 0.5 m. Nas secções estratigráficas das rochas amostradas consideraram-se dois perfis: Praia da Malbusca e Praia-Brejo (Fig. 2). No primeiro foram amostrados, no complexo basal subaéreo, os derrames 28 e 29 e o filão 20. A amostragem prossegue pelos derrames ordenados de 1 a 17, por cotas ascendentes. Os derrames 1 a 4 são de lavas "pillow" que se encontram no topo dum complexo submarino, com diversos níveis de conglomerados, brechas, calcarenitos e arenitos tufáceos. Os derrames 5 a 17 são de lavas subaéreas superiores. No perfil Praia-Brejo, foram amostrados, no complexo basal subaéreo, o derrame 23 e os filões 21 a 27 e, no complexo subaéreo superior, os derrames 18 e 19.

É de salientar que, em ambos os cortes, na região da Praia, o complexo basal se mostra cortado superiormente por uma importante descontinuidade de erosão marinha que, desde a cota dos 70 m, se inclina para leste ao longo da costa sul até mergulhar no mar, na margem sudeste da Ilha.

As amostras foram orientadas, na sua maioria, com bússola magnética e com compasso solar. Com base neste, procedeu-se ao cálculo dos azimutes verdadeiros (Tabela 1). Na maioria dos casos, a diferença entre estes e os azimutes da bússola foi superior a 7°. No laboratório, para a medição das direcções de magnetização, utilizaram-se os valores azimutais provenientes das leituras solares, com excepção das amostras 3 a 8, colhidas sem sol, e da 21, 22, 23, 26, 27, 31, 32 e 48. Na representação estereográfica das direcções de magnetização destas amostras, introduziram-se as direcções dadas pela bússola, por se ajustarem às tendências de agrupamento de derrames ou de inversões de posicionamento. O cálculo das direcções médias das magnetizações características foi realizado com base nestes valores.

Em regra, para cada amostra prepararam-se dois cilindros (com 2,5 cm de diâmetro) e de cada cilindro, dois discos (com 1,0 cm de altura) onde foram marcadas as orientações das amostras respectivas.

2. Equipamento de laboratório e sequência operativa

Para a medição das magnetizações remanentes utilizou-se um magnetómetro rotativo de sondas tipo "fluxgate", com sensibilidade da ordem de 1/10.000 Am.

Na lavagem por campos alternados, utilizou-se um desmagnetizador com pico máximo de 80 mT, com bobina desmagnetizadora no centro de arranjo de bobinas de Helmholtz que cancelam o campo externo.

Na lavagem térmica, utilizou-se um forno com cerca de 10 litros de capacidade podendo atingir a temperatura de 800 °C (superior ao ponto de Curie da maioria dos minerais magnéticos), colocado no centro de arranjo de bobinas de Helmholtz.

Após cada etapa de desmagnetização, traçaram-se em gráfico as respectivas curvas de desmagnetização, para cada disco. No tratamento térmico, traçaram-se ainda as curvas de variação da susceptibilidade magnética dos discos, permitindo, assim, o controlo da estabilidade magnética e, eventualmente, aferir possíveis alterações termoquímicas.

Pelo tratamento selectivo de desmagnetização, definiram-se os campos óptimos e estabeleceram-se as magnetizações remanentes primárias (MRP) características, cujo sentido de inclinação define a polaridade original.

Um computador DIGICO, acoplado ao magnetómetro, calculou as intensidades de magnetização, direcções expressas em declinação e inclinação, médias e os parâmetros estatísticos de FISHER (1953) da dispersão vectorial numa esfera. Destes parâmetros, K quantifica a dispersão dos pontos sobre o vector polar, α_{95} corresponde à população de N direcções dentro do cone sobre o vector resultante, com semi-ângulo α , abrangente de 95% das direcções, e R representa o somatório dos vectores para o número considerado de direcções ou polos.

Após o estudo dos resultados experimentais, rejeitaram-se os que se mostravam instáveis, excluindo-se as respectivas amostras nos cálculos analíticos de direcções polares.

Como cada direcção de magnetização por "site" pode ser especificada por um polo

Tabela 1. Cálculo astronómico dos azimutes relativos aos ângulos ao sol medidos com um compasso solar segundo a orientação das amostras de Santa Maria (coordenadas geográficas médias dos "sites": 36° 57' N; 25° 07' W).

Conversion of sun compass directions to azimuths for all samples from Santa Maria (medium geographical coordinates: 36° 57' N; 25° 07' W).

Am S. nº	Comp. Sol Sun Comp.	08/1981 (d-h-m)	Decl. Sol (+) Sun Decl.	Var. h h Var (s)	Equa. Tempo Time Equat.	Var h h. Var. (s)	Azim. Búss. Mag. Calc. Compass	Incl.	
1	010	13:10:20	14°45'56"	45.5	4m 53.0s	0.44	292	137	38 NE
2	000	13:10:34	14°45'56"	45.5	4m 53.0s	0.44	285		90
3			14°45'56"	45.5	4m 53.0s	0.44		167	03 E
4			14°45'56"	45.5	4m 53.0s	0.44		170	16 W
5			14°45'56"	45.5	4m 53.0s	0.44		066	26 S
6			14°45'56"	45.5	4m 53.0s	0.44		160	77 W
7			14°45'56"	45.5	4m 53.0s	0.44		210	70 NE
8			14°45'56"	45.5	4m 53.0s	0.44		162	13 W
9	319	13:13:13	14°45'56"	45.5	4m 53.0s	0.44	299		12 NE
10	312	13:13:24	14°45'56"	45.5	4m 53.0s	0.44	299		10 NE
11	094	13:13:34	14°45'56"	45.5	4m 53.0s	0.44	087	080	20 S
12	182	13:13:45	14°45'56"	45.5	4m 53.0s	0.44	182	345	15 E
13	228	13:13:52	14°45'56"	45.5	4m 53.0s	0.44	232	213	69 NE
14	340	13:14:03	14°45'56"	45.5	4m 53.0s	0.44	351	335	11 E
15	062	13:14:10	14°45'56"	45.5	4m 53.0s	0.44	077	054	34 SE
16	122	13:14:36	14°45'56"	45.5	4m 53.0s	0.44	152	147	16 W
18	156	13:14:54	14°45'56"	45.5	4m 53.0s	0.44	195	190	25 NW
19	034	13:14:57	14°45'56"	45.5	4m 53.0s	0.44	134	137	11 SW
20	129	13:15:12	14°45'56"	45.5	4m 53.0s	0.44	175	165	15 W
21	093	13:16:15	14°45'56"	45.5	4m 53.0s	0.44	159	243	16 N
22	299	13:16:22	14°45'56"	45.5	4m 53.0s	0.44	007	299	15 NE
23	038	13:16:30	14°45'56"	45.5	4m 53.0s	0.44	108	095	22 SW
24	186	13:17:06	14°45'56"	45.5	4m 53.0s	0.44	108	095	22 SW
25	221	14:12:01	14°27'38"	46.1	4m 42.1 s	0.46	168	156	25 W
26	056	14:16:18	14°27'38"	46.1	4m 42.1s	0.46	122	182	55 W
27	019	14:16:20	14°27'38"	46.1	4m 42.1s	0.46	086	230	72 NE
28	199	14:16:20	14°27'38"	46.1	4m 42.1s	0.46	266	257	68 N
29	150	14:16:22	14°27'38"	46.1	4m 42.1s	0.46	217	128	90
30	240	14:16:23	14°27'38"	46.1	4m 42.1s	0.46	308	304	68 NW
31	226	14:16:24	14°27'38"	46.1	4m 42.1s	0.46	294	192	28 NW
32	255	14:16:25	14°27'38"	46.1	4m 42.1s	0.46	323	176	48 NW
33	234	14:16:26	14°27'38"	46.1	4m 42.1s	0.46	002	265	77 N
34	318	14:13:14	14°27'38"	46.1	4m 42.1s	0.46	299	276	34 NE
35	230	14:13:28	14°27'38"	46.1	4m 42.1s	0.46	219	219	23 NW
36	205	14:13:36	14°27'38"	46.1	4m 42.1s	0.46	199	201	90
37	145	16:13:30	13°50'20"	47.2	4m 18.9s	0.51	136	133	16 SW
38	034	15:12:16	14°09'05"	46.6	4m 30.8s	0.48	356	350	17 E
39	042	15:12:18	14°09'05"	46.6	4m 30.8s	0.48	356	352	12 E
40	010	15:12:21	14°09'05"	46.6	4m 30.8s	0.48	325	322	70 E
41	075	15:12:35	14°09'05"	46.6	4m 30.8s	0.48	036	029	06 SE
42	347	15:12:42	14°09'05"	46.6	4m 30.8s	0.48	312	297	47 NE
43	060	15:12:39	14°09'05"	46.6	4m 30.8s	0.48	023	008	18 SE
45	086	16:13:07	13°50'20"	47.2	4m 18.9s	0.51	064	045	62 S
46	078	16:13:07	13°50'20"	47.2	4m 18.9s	0.51	056	029	52 S
47	354	16:13:03	13°50'20"	47.2	4m 18.9s	0.51	330	134	73 NE
48	292	16:09:21	13°50'20"	47.2	4m 18.9s	0.51	205	019	13 NE
49	238	16:09:30	13°50'20"	47.2	4m 18.9s	0.51	153	136	73 NW
50	205	16:09:36	13°50'20"	47.2	4m 18.9s	0.51	121	120	53 SW
51	208	16:09:42	13°50'20"	47.2	4m 18.9s	0.51	125	112	75 S
53	210	17:10:45	13°31'21"	47.7	4m 06.5s	0.53	138	136	51 SW
54	210	17:10:45	13°31'21"	47.7	4m 06.5s	0.53	138	144	52 W
55	242	16:10:41	13°50'20"	47.2	4m 18.9s	0.51	169	163	12 W
56	203	16:10:45	13°50'20"	47.2	4m 18.9s	0.51	131	133	68 SW
57	153	16:10:51	13°50'20"	47.2	4m 18.9s	0.51	082	076	56 S

geomagnético virtual (PGV), procedeu-se ao cálculo dos PGV a partir das magnetizações características por derrame (ou filão), sendo a declinação substituída pela longitude leste e a inclinação pela latitude.

A partir da média dos PGV, determinaram-se os polos paleomagnéticos.

RESULTADOS

1. Informação petrográfica restrita

As sequências de derrames e filões estudados, representadas nos perfis (Fig.2) e no mapa de amostragem (Fig.1), respeitam a rochas basálticas subaéreas e submarinas.

O estudo do filão S/8 revelou magnetização característica, com declinação de $183^{\circ}.6$ e inclinação de $-79^{\circ}.7$, mostrando polaridade original reversa. Trata-se dum filão para o qual se obteve idade K/Ar de 4.70 ± 0.13 Ma (Laboratório de Geocronologia da Universidade de Coimbra).

No grupo de lavas e filões do complexo basal subaéreo, a observação em luz reflectida, de amostras dos derrames 23 e 29 e do filão S8 permitiu a identificação da mineralogia magnética, constituída por magnetite e alguma hematite e por titanomagnetites com exsoluções de ilmenite. A análise petrográfica do derrame 29 identificou uma clinopiroxena no domínio da augite, abundante e com predomínio nos fenocristais e também na matriz.

No grupo de lavas subaéreas superiores, o derrame 19 revelou a presença de titanomagnetites em grãos límpidos e sem exsoluções. O seu estudo petrográfico mostrou uma geração fenocristalina de olivina com orla de idingsite e de cristais de clinopiroxena no domínio da augite, também abundantes na matriz onde se identificam ainda feldspatos potássicos e plagioclases, olivina, alguma analcite, vidro em pequenas áreas e opacos octaédricos, provavelmente de magnetite.

2. Informação paleomagnética

O trabalho paleomagnético, cuja sequência se pode analisar nas tabelas 2 e 3 dos resultados

experimentais, bem como na Fig. 3 da representação em estereogramas de direcções médias das magnetizações medidas, iniciou-se com as medições das MRN dos discos das amostras, expressas em direcção e intensidade.

Em continuação, submeteu-se um disco piloto, por cada amostra, a tratamento de lavagem por campos alternados crescentes até 800 Oe, em intervalos de 50 Oe, seguido de lavagem térmica desde os 200°C até aos 600°C , por reaquecimentos sucessivos em intervalos de 50°C .

O estudo, por espécime, da tendência de agrupamento das direcções de MRN e das magnetizações residuais medidas, após cada etapa de desmagnetização, fez-se em redes estereográficas onde as direcções se representam por pontos sobre uma esfera de raio unitário.

Para cada disco, fizeram-se gráficos da variação da intensidade de magnetização ao longo do tratamento desmagnetizante e mediram-se as susceptibilidades magnéticas durante a lavagem térmica dos pilotos. •

Na Fig. 4, mostram-se curvas de desmagnetização, seleccionadas de amostras representativas das sequências basálticas, em relação aos campos alternados e térmicos utilizados.

No grupo A, respeitante ao complexo basal subaéreo, quer para o derrame 28, quer para o filão 22, o troço das curvas, nos campos alternados, indica estar a maior parte da remanência associada com coercividades fracas, diminuindo as intensidades de cerca de 50% a 90% entre os campos de 30 mT e de 50 mT. Na sequência do tratamento, a parte térmica das curvas evidencia valores muito residuais de MRN que se mantêm sensivelmente constantes. Este patamar pode indicar terem os espécimes alcançado magnetização estável até declínio final para os 570° , valor próximo do ponto de Curie da magnetite.

No grupo B, respeitante às lavas "pillow" e aos derrames 3 e 4 do complexo vulcano-sedimentar submarino, verifica-se no derrame 4 uma fraca diminuição da intensidade inicial da MRN aos 30 mT, decaindo progressivamente até aos 80 mT, e, no derrame 3, a curva marcante de baixo valor da força coerciva remanente. As curvas térmicas são consistentes com composições ferromagnéticas variáveis.

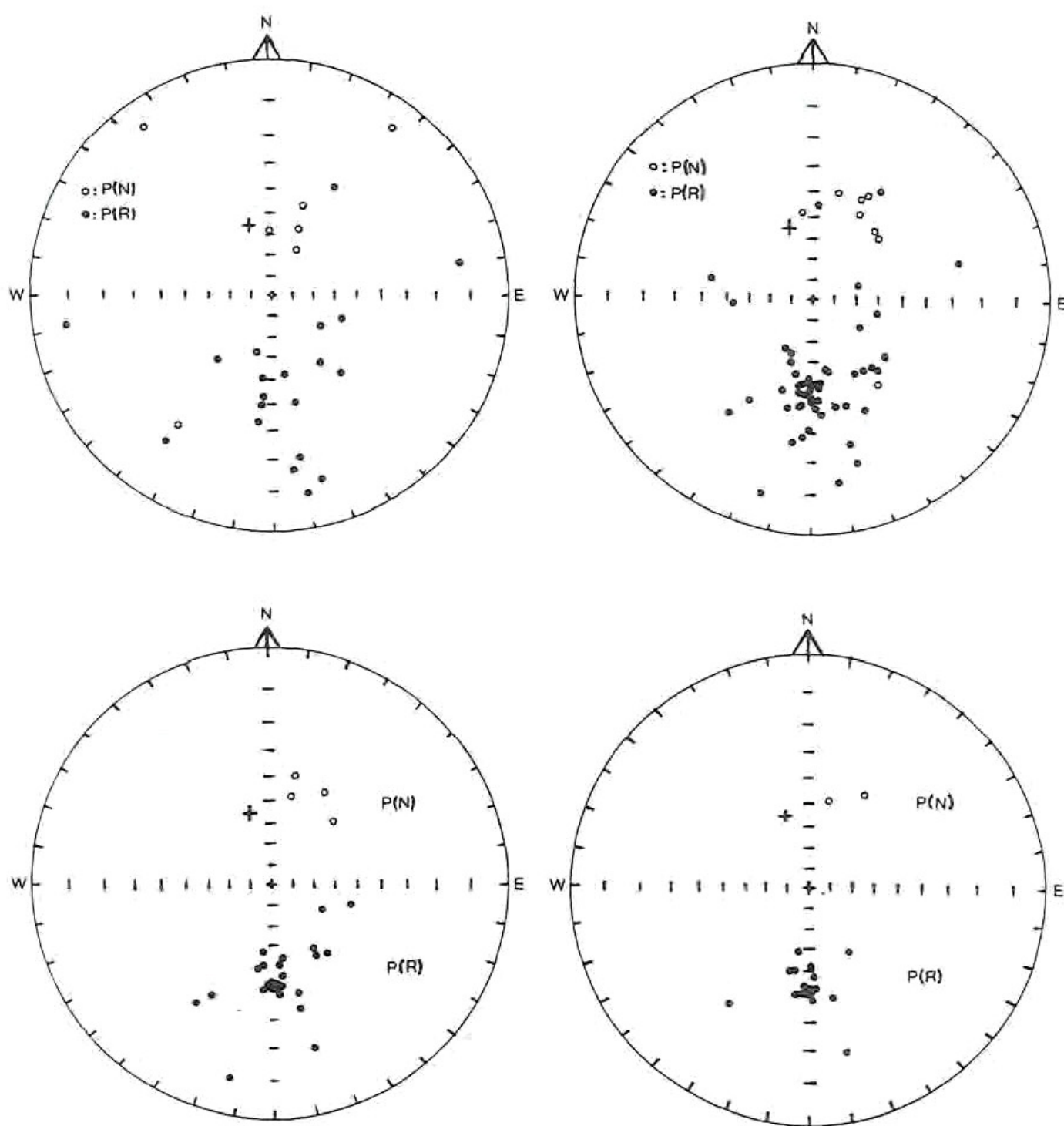


Fig. 3 - Estereogramas: (a) das direcções médias da MRN de todos os derrames e filões; (b) das magnetizações características de todas as amostras; (c) de todos os derrames e filões, e (d) dos derrames mais recentes 1 a 19. O sinal + indica a direcção do campo geomagnético actual e P indica a polaridade.

Stereograms: (a) of NRM of all lavas and dykes and; (b) of characteristic remanence of all samples; (c) of all lavas and dykes, and (d) of the youngest lavas 1 to 19. Symbol + indicates the present geomagnetic field, and P indicates the polarity.

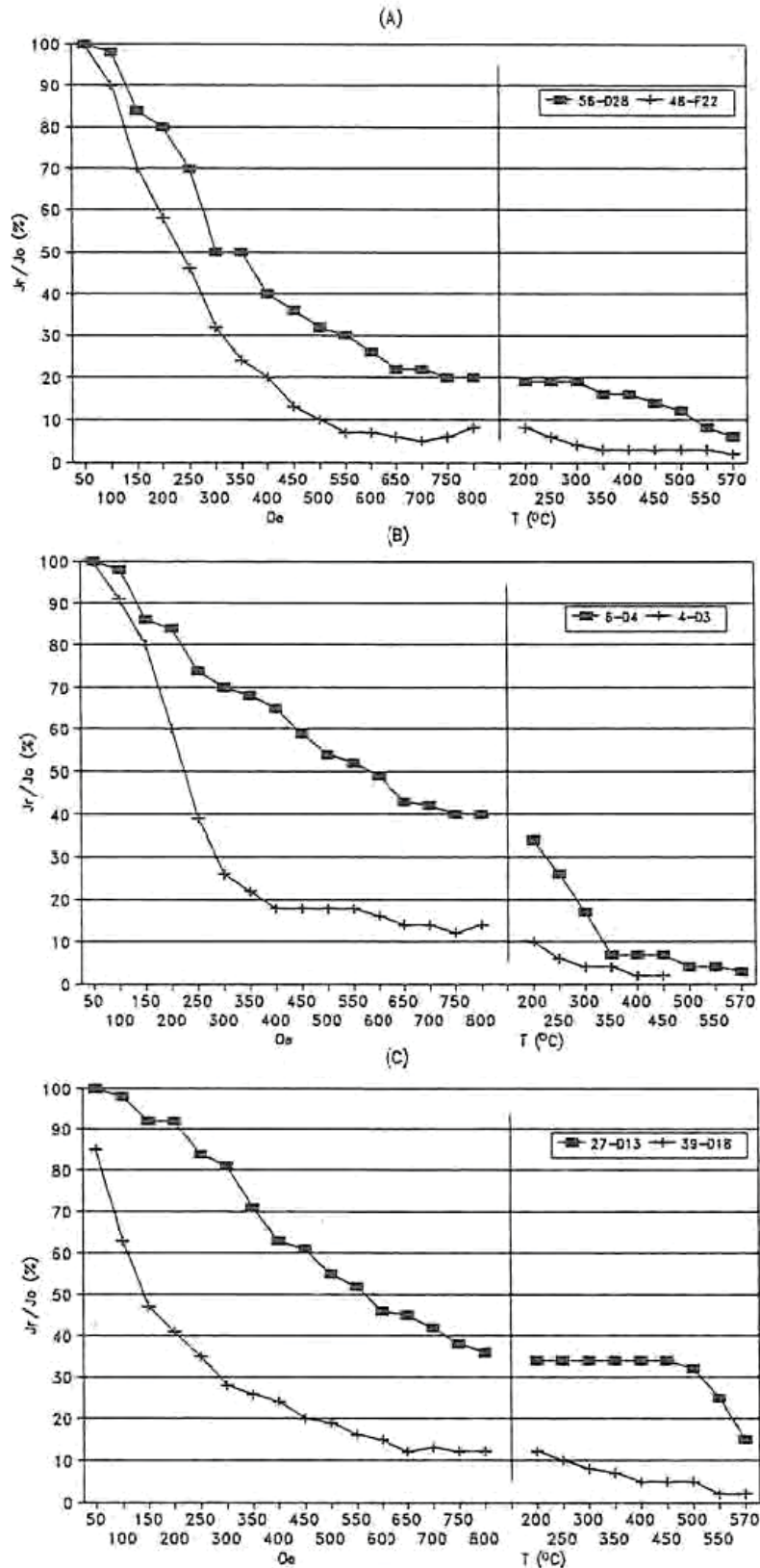


Fig. 4 - Curvas de desmagnetização por campos alternados e térmicos. Os símbolos representam amostra/derrame (D) ou filão (F). Estabeleceram-se os grupos representativos (A), (B) e (C).
 AF and thermal demagnetization curves. Symbols are sample number/lava number (D) or dyke number (F).
 (A), (B) and (C) are representative groups.

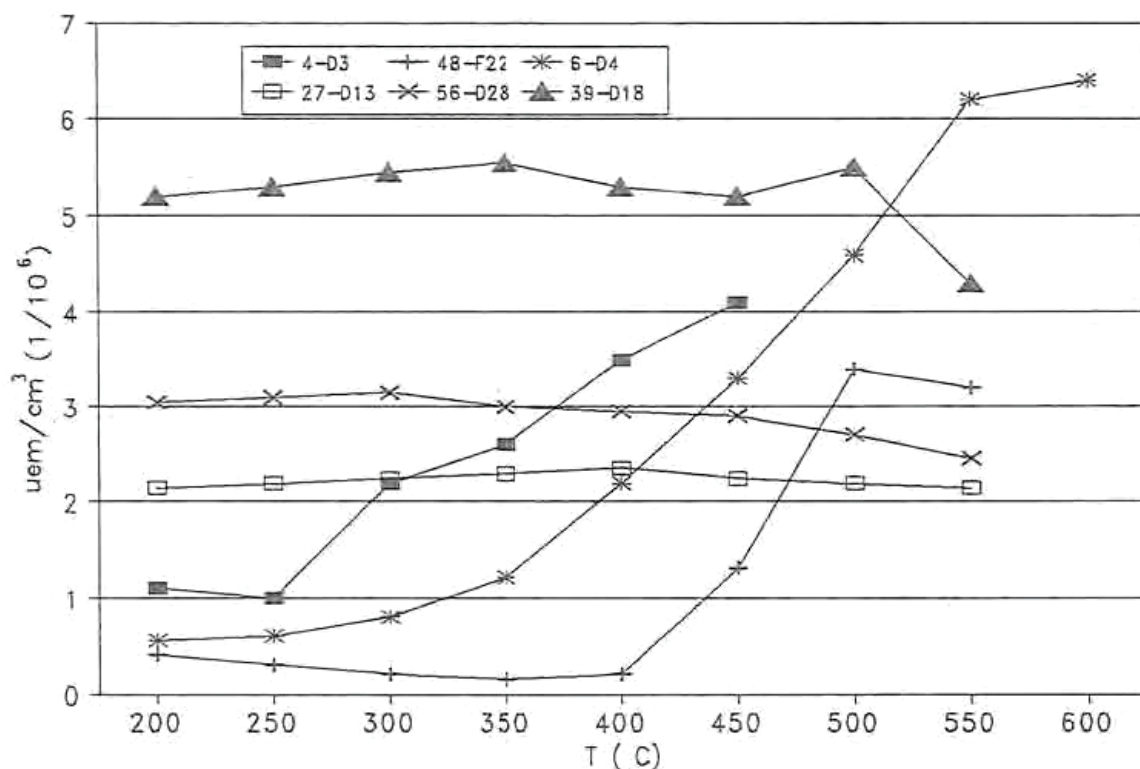


Fig. 5 - Comportamento da susceptibilidade magnética de amostras representativas durante a desmagnetização térmica. As amostras e os símbolos são os mesmos da Fig. 4.
Magnetic susceptibility curves. Samples and symbols are the same as in Fig. 4.

O grupo C apresenta o comportamento desmagnetizante dos derrames 13 e 18 dos basaltos subaéreos superiores. O derrame 13 apresenta uma curva de desmagnetização com pequena variação da intensidade inicial da MRN de 20% aos 30 mT e, com um troço térmico de joelho bem definido, consistente com um constituinte ferromagnético único, no domínio da magnetite. O derrame 18 apresenta o troço da curva, nos campos alternados, revelador de baixas coercividades remanentes, indicando o troço térmico um predomínio de temperaturas de bloqueio baixas. Tal sugere a presença de mais de uma fase magnética, eventualmente uma titanomagnetite com ampla variação de constituição.

As curvas piloto do comportamento da variação das susceptibilidades magnéticas, ao longo da lavagem magnética, representam-se na Fig. 5 e respeitam aos mesmos espécimes dos anteriores grupos A, B e C. A sua análise parece indicar não terem havido alterações termoquímicas importantes dos minerais magnéticos até aos 575°, junto à temperatura de

Curie da magnetite. Da observação de outros valores deste parâmetro, no tratamento das demais amostras, registam-se raramente picos, pelos 560°, que, embora respeitando a intensidades já muito baixas de magnetização residual, parecem traduzir possível alteração termoquímica final de oxidação da magnetite para hematite.

O estudo do agrupamento das direcções de magnetização nos estereogramas e das curvas de desmagnetização permitiu estabelecer, para a maioria das amostras, o campo óptimo desmagnetizante de 300 Oe. Para as amostras 2, 3, 4, 5, 30, 47, 49, 51, e 53 atribuíram-se campos óptimos desmagnetizantes entre 200 °C e 400°C, conforme se observa na Tabela 2.

Estabelecidos os campos óptimos, passou-se ao cálculo das direcções médias das magnetizações estáveis por amostra e depois por derrame. Além destas magnetizações características, calcularam-se também as direcções médias da MRN por derrame. Os resultados constam das Tabelas 2 e 3, referindo-se as polaridades características. Nestes

Tabela 2. Resultados paleomagnéticos experimentais. D e I representam a declinação e a inclinação respectivamente; N, K, α_{95} e R representam parâmetros estatísticos de FISCHER (1953); P representa a polaridade.

Experimental paleomagnetic results. D and I are declination and inclination; N, K α_{95} and R are FISCHER (1953) parameters; P is the polarity.

Site/ Amost. Sample		Direcção Média MRP/AMOSTRA Site Mean PRM Direction					Direcção Média MRP/AMOSTRA Site Mean PRM Direction					Op. f.	N	P
		D	I	K	α_{95}	R	D	I	K	α_{95}	R			
1	1	215.7	-24.3	9.0	45.8		213.9	-28.0	11.3	38.6	2.82	300 oe	3	R
2	2	235.7	-5.8	275.1	5.6		185.3	-28.0	237.3	5.9	3.99	300 C	4	R
3	3						192.0	-39.3	145.6	7.6	3.99	400 C	4	R
	4	171.3	-21.9	4.0			162.4	-39.3	329.7	5.1	3.99	200 C	4	R
4	5						174.0	-51.1	865.6	4.2	3.00	250 C	3	R
	6						175.1	-48.4	1596.0	2.3	4.00	300 oe	4	R
	7						182.3	-51.0	184.1	6.8	3.98	300 oe	4	R
	8	173.8	-17.6	125.1	8.4	4.0	185.2	-50.7	141.8	7.7	3.98	300 oe	4	R
5	9						281.0	-44.0	172.4	7.0	3.98	300 oe	4	R
	10	261.5	-8.0	2.8			271.1	-53.7	53.3	12.6	3.94	300 oe	4	R
	11													
6	12						183.6	-45.5	158.2	7.3	3.98	300 oe	4	R
	13						196.4	-59.5	2624.0	1.8	4.00	300 oe	4	R
	14						187.0	-46.7	550.6	3.9	3.99	300 oe	4	R
	15	199.0	-49.9	1.8			196.4	-45.4	446.7	5.8	3.00	300 oe	3	R
7	16	186.0	-50.0	1159.0	2.7		176.0	-48.3	1496.0	2.4	4.00	300 oe	4	R
8	18						025.6	40.5	1764.0	2.9	2.99	300 oe	4	N
	19						026.8	36.5	278.1	7.4	2.99	300 oe	3	N
	22						028.9	43.9	155.4	7.3	3.98	300 oe	4	N
	23	023.0	55.1	3.7			355.6	48.6	198.3	6.5	3.99	300 oe	4	N
10	24	186.2	-32.8	951.4	8.1		176.5	-43.3	424.6	12.2	2.00	300 oe	2	R
11	25	107.0	-56.0	6.2	40.3		182.8	-42.9	344.7	4.9	3.99	300 oe	4	R
12	26	79.6	-11.4	18.1	22.2		181.4	-45.0	504.0	4.0	3.99	300 oe	4	R
13	27	35.4	09.1	3342.0	1.6		187.0	-50.0	1757.0	2.1	4.00	300 oe	4	R
14	28						190.4	-54.1	2798.0	1.7	4.00	300 oe	4	R
	29	138.8	-44.4	330.5	13.7	2.0	186.0	-53.4	1978.0	0.6	4.00	300 oe	4	R
15	30	216.8	22.4	177.7	6.9		167.7	-39.5	82.8	10.1	3.96	300 C	4	R
16	31						173.2	-56.0	1425.0	3.2	3.00	300 oe	3	R
	32	194.7	-61.9	172.6	19.1	2.0	128.6	-48.0	8768.0	0.9	4.00	300 oe	4	R
17	34						171.2	-12.5	1305.0	1.1	3.00	300 oe	3	R
	35						165.6	-24.6	8844.0	1.0	4.00	300 oe	4	R
	36	165.7	-13.1	110.1	11.8	3.0	165.0	-18.8	5021.0	1.3	4.00	300 oe	4	R
18	37						179.6	-42.6	647.2	3.6	4.00	300 oe	4	R
	38						178.6	-41.5	1095.0	2.8	4.00	300 oe	4	R
	39						175.6	-36.6	1124.0	2.7	4.00	300 oe	4	R
	40						181.3	-51.3	3451.0	1.6	4.00	300 oe	4	R
	41	185.8	-35.9	19.3	17.8	4.8	186.3	-39.6	508.4	4.8	3.99	300 oe	4	R
19	42						187.4	-49.5	1909.0	2.1	4.00	300 oe	2	R
	43	185.1	-41.6	128.7	22.1	2.0	178.5	-39.3	1071.0	7.6	2.00	300 oe	2	R
20	45						166.4	-55.2	542.3	4.0	3.99	300 oe	4	R
	46	172.3	-52.0	232.1	16.4	2.0	180.6	-52.5	2211.0	1.9	4.00	300 oe	4	R
21	47	170.4	-08.5	705.3	3.5		193.9	-08.5	125.8	11.0	2.98	300 C	3	R
22	48	019.2	45.5	1138.0	2.7		012.9	39.8	487.0	4.2	3.99	300 oe	4	N
23	49						142.2	41.7	55.5	34.2	1.98	300 C	2	N
24	50	145.4	-50.3	1338.0	2.5		144.7	-49.6	1369.0	2.5	4.00	300 oe	4	R
25	51	325.3	05.9	11.2	28.7		150.6	-50.3	159.7	7.2	3.98	300 C	4	R
26	53	358.5	57.0	894.4	3.1		045.0	48.0	35.2	15.7	3.91	200 C	4	N
27	54	030.0	-32.9	921.1	8.2		210.8	-33.6	943.8	8.1	2.00	300 oe	2	R
28	55						180.7	-30.5	6779.0	1.5	3.00	300 oe	3	R
	56	168.7	168.7	25.2	51.9	1.9	155.6	-35.6	19493.0	1.8	2.00	300 oe	2	R
29	57	122.2	-63.7	445.5	4.4		118.8	-64.4	389.8	4.6	3.99	300 oe	4	R

Tabela 3 - Resultados paleomagnéticos experimentais. PGV são polos geomagnéticos virtuais. Os outros símbolos são os mesmos da Tabela 2.

Experimental paleomagnetic results. VGP are virtual geomagnetic poles. Other symbols are the same as in Table 2.

Site	Direcção Média de MRP Mean PRM Direction			α_{95}	R	P	PGV VGP	
	D	I	K				Long.	Lat. N
1			Tab:2			R	92.1	52.6
2			Tab:2			R	133.9	76.4
3	177.2	-40.2	25.3	51.8	1.96	R	165.5	75.7
4	179.1	-50.3	477.2	4.2	3.99	R	162.4	84.0
5	276.5	-48.9	96.6	25.6	1.99	R		
6	190.4	-49.4	101.1	9.1	3.97	R	99.6	78.9
7			Tab:2			R	179.6	81.6
8	030.4	41.2	110.0	11.8	2.98	N	83.2	60.6
9	012.9	47.4	24.2	53.1	1.96	N	98.8	76.2
10			Tab:2			R	170.2	77.8
11			Tab:2			R	142.9	77.6
12			Tab:2			R	148.0	79.4
13			Tab:2			R	104.7	81.5
14	188.1	-57.3	1809.0	5.8	1.99	R	84.5	82.8
15			Tab:2			R	194.3	71.9
16	148.7	-54.1	16.7	65.4	1.94	R	249.0	64.7
17	167.3	-18.5	142.5	10.3	2.99	R	180.7	60.2
18	180.2	-42.2	167.1	5.9	4.98	R	154.0	77.4
19	182.5	-44.4	91.2	26.4	1.99	R	142.8	78.9
20	173.3	-54.0	170.3	19.2	1.99	R	221.4	84.3
21			Tab:2			R	130.2	54.8
22			Tab:2			N	113.5	71.8
24			Tab:2			R	242.7	60.0
25			Tab:2			R	239.8	65.0
26			Tab:2			N	63.4	51.8
27			Tab:2			R	91.0	57.2
28	168.5	-33.6	28.2	48.8	1.96	R	186.4	68.8
29			Tab:2			R	276.7	44.4

cálculos não se consideraram as amostras 11 e 13, por terem um só disco disponível, nem a amostra 21, cujos discos mostraram variação aleatória da direcção da MRN. A amostra 49 do derrame 23 não foi considerada no cálculo da MRP característica por derrame, nem nos cálculos polares, por parecer afectada pela intrusão térmica do dique da amostra 48, junto da qual foi colhida.

Para fins de análise comparativa, representam-se em estereogramas (Fig. 3) as direcções médias da MRN e das magnetizações características de todas as amostras, de todos os derrames e filões, e dos derrames mais recentes de 1 a 19. Representa-se também o valor actual da direcção do campo geomagnético, em Santa Maria, com declinação de 17° W e inclinação de 53° N, diferindo sig-

nificativamente da direcção dos agrupamentos das magnetizações.

Da análise dos estereogramas salienta-se o satisfatório agrupamento das direcções características em relação às da MRN e infere-se a validade da individualização, no estereograma (d), do grupo das direcções médias características dos derrames mais recentes que foi considerado para cálculo de um paleopolo (P1). O grupo restante das direcções características dos filões e derrames do complexo subaéreo antigo foi também considerado para cálculo do outro paleopolo (P2).

Em função das médias das magnetizações características por amostra, calcularam-se, além das direcções médias características por derrame, os respectivos polos geomagnéticos virtuais (PGV), cujos resultados constam da Tabela 3.

Tabela 4. Polos norte paleomagnéticos de formações vulcânicas do Pliocénico da Ilha de Santa Maria, coordenadas geográficas e parâmetros estatísticos respectivos.
North paleomagnetic poles of Pliocene volcanic formations of Santa Maria Island; geographic coordinates and statistic parameters.

Cronoestratigrafia Paleomagnética Paleomagnetic Chronostratigraphy		Polos Paleomagnéticos - calculados dos PGV Paleomagnetic poles - calculated from VGP					
Pliocénico Pliocene	LAT. N	LONG. E	N	K	α_{95}	R	Ref.
Médio Middle	79.2	141.2	18 PGV - VGP: 1 - 19	30.8	6.3	17.000	P1
Inferior Lower	82.4	169.1	9 PGV - VGP: 20 - 29	7.0	20.9	7.862	P2
Pliocénico Pliocene	80.4	147.8	27 Todos PGV - All VGP	15.1	7.3	25.286	PT

Em sequência, calcularam-se três polos paleomagnéticos, os já citados P1 e P2, e o polo PT de todas as unidades amostradas, que estão representados na Tabela 4. Correspondem a polos geográficos pois foram processados como médias de grupos de PGV que, em princípio, são em número suficiente para integrar o tempo mínimo de 10.000 anos, a fim de eliminar o efeito da variação secular.

O polo global PT mostra-se de boa precisão estatística. Situado a 80.4° de latitude N e a 147.8° de longitude E, o PT tem $\alpha_{95}=7.3^\circ$, traduzindo uma boa proximidade das direcções dentro do ângulo, a partir da direcção média, que engloba 95% dos resultados, e apresenta um K elevado, marcante da melhor distribuição dos pontos, próximo da direcção média verdadeira.

3. Informação magneto-estratigráfica

FÉRAUD & al. (1984) publicaram um número significativo de datações de idade K/Ar e resultados preliminares de paleomagnetismo de rochas de Santa Maria. No trabalho apresentam um esquema de ordenamento magneto-estratigráfico que inclui algumas lavas e filões pertencentes às sequências donde se obtiveram os presentes resultados experimentais. Embora

os autores indiquem unicamente as polaridades nos dados de paleomagnetismo, referem, no entanto, para a região da Praia, que elas correspondem a direcções de remanência estável, obtidas pela utilização da técnica de desmagnetização por campos alternados.

Na intenção de fazer uma análise conjunta comparativa, passam a utilizar-se alguns resultados do referido trabalho que respeitam a amostragens das mesmas formações, completando-se, em parte, nos perfis estratigráficos verticais da Fig. 2. Deste modo, e para balizar a colocação ordenada das faixas das polaridades obtidas que se representam na Fig. 7, referenciam-se as idades K/Ar fiáveis das amostras MA 1, 7 e 41 do citado trabalho, levando em conta os desvios padrão. MA 1, com idade de 3.20 ± 0.17 Ma e polaridade reversa, corresponde a um dos derrames de basalto 18 ou 19 das lavas subaéreas superiores. MA 7, com idade de 3.53 ± 0.12 Ma e polaridade reversa, deve corresponder, pela sua posição de amostragem, ao derrame basáltico 5. MA 41, com idade de 4.8 ± 0.25 Ma e sem polaridade aferida, é de um filão do complexo basal de lavas e filões subaéreos e foi colhida imediatamente a norte da Praia. O filão é congénere do filão S8 que, com idade de 4.70 ± 0.13 Ma e polaridade reversa, aflora na costa da zona da Praia.

Na Fig. 7 estabelecem-se ainda, em função dos resultados experimentais, idades paleomagnéticas para formações da Carta Vulcanológica da Ilha de Santa Maria (SERRA-LHEIRO & al. 1987), que enquadram as seqüências das rochas basálticas amostradas.

DISCUSSÃO

1. Da mineralogia magnética aos polos paleomagnéticos

Nas seqüências vulcânicas estudadas, a mineralogia magnética de oxidação de alta temperatura expressa-se, em geral, por

titanomagnetites com exsoluções de lamelas de ilmenite; a magnetite está, por vezes, presente.

Conforme se pode observar na Fig. 4, os gráficos de desmagnetização por campos alternados e térmica mostram, no geral, componentes de magnetização destruídas nas primeiras centenas de Oersted, dando lugar à componente estável da magnetização remanente térmica (MRT) que não é destruída nos campos mais elevados. Esta, pelo comportamento das curvas térmicas, deve respeitar a grãos de domínios simples, a pseudo-simples de titanomagnetites, por exsolução de lamelas de ilmenite nas fases iniciais de arrefecimento das lavas.

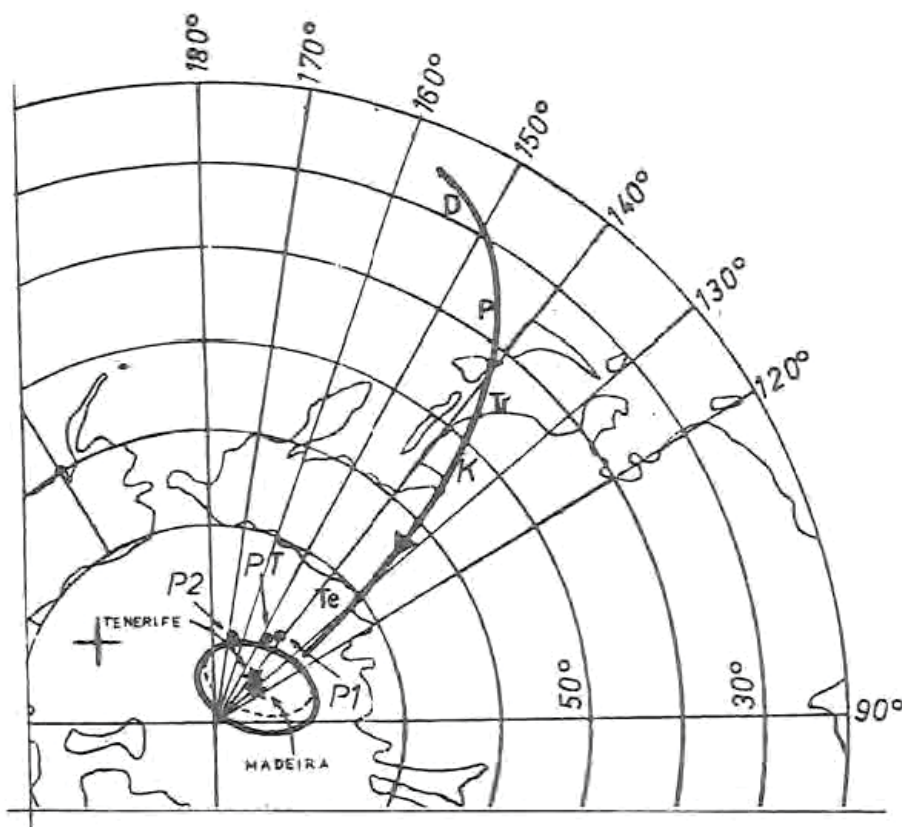


Fig. 6 - Projeção polar mostrando as posições de PGM da Madeira e de Tenerife e suas ovals de 95 % de confiança (Madeira: linha a cheio, Tenerife: linha a tracejado), e a curva de deriva polar aparente da Europa, segundo WATKINS & al. (1966). Na curva polar os símbolos são: (D) Devoniano; (P) Permiano; (Tr) Triássico; (K) Cretácico; (Te) Terciário; Eocénico. P1, P2 e PT são os polos paleomagnéticos de Santa Maria, calculados dos resultados experimentais. A posição de polo magnético actual é indicada por +.

Polar projection showing VGP positions of Madeira and Tenerife with 95 % confidence ovals (Madeira: solid line, Tenerife: dotted line) and the European APW path according to WATKINS & al. (1966). On the APW path, symbols are: (D) Devonian; (P) Permian; (Tr) Triassic; (K) Cretaceous; (Te) Tertiary, Eocene. P1, P2 and PT are the experimental paleomagnetic poles of Santa Maria, and the symbol + indicates its present geomagnetic pole position.

Ma	PERFIS DE AMOSTRAGEM SAMPLING PROFILES		POLARIDADE POLARITY	ÉPOCAS EPOCHS	Eventos Events	Carta Vulcanológica de Santa Maria Volcanological Map of Santa Maria (INIC/UA) (1987)
	(W) Praia - Brejo	(E) Praia - Malbusca				
2.70				GAUSS (N)		
2.80				Kaena		
2.90			R			
2.94						
3.06		10....17	R	Mammoth		
		9				
		8		GAUSS (N)		
3.32	19 18 (= F1)	7 6 5 4 (subm.) 3 (subm.) 2 (subm.) 1 (subm.)		GILBERT (R)		Complexo do Facho/Pico Alto Facho/Pico Alto Complex
3.70						
			N	Cochiti		
3.92						Complexo do Touril Complex
4.05						
			N	Nunivak		
4.25						
4.38						(?) superfície de descontinuidade (?) erosion unconformity
4.50	22 (F), 26 (F)		N	Sidufjall		
	27 (F) 25 (F)	29 28				
	F41 (F)	S8(F)				Complexo dos Anjos Anjos Complex
	24 (F) 21 (F)	20(F)		GILBERT (R)		
						PLIOCÊNICO PLIOCENE
5.10				PRE-GILBERT (N)		MIOCÊNICO MIOCENE

Fig. 7 - Localização magneto-estratigráfica das sequências amostradas de Santa Maria. Escala de tempo de polaridades geomagnéticas, segundo COX (1969) e MACDOUGALL (1977). F1 e F41 (F) são o derrame e o filão citados em FÉRAUD & al (1984). Os números de 1 a 19, 28 e 29 respeitam a derrames. Os números com (F) respeitam a filões.

Paleomagnetic stratigraphy of basalt sequences from Santa Maria. Geomagnetic time scale composed from COX (1969) and from MACDOUGALL (1977). F1 and F41(F) are lava flow and dyke quoted from FÉRAUD & al. (1984). Numbers from 1 to 19, 28 and 29 are lava flows. Numbers with (F) are dykes.

As componentes eliminadas de fraca força coerciva poderão corresponder a minerais, cujos grãos magnéticos se terão desenvolvido em qualquer altura da história da rocha, ou resultarem de magnetização remanente viscosa

(MRV) adquirida posteriormente à formação da rocha sob a influência de novos campos externos fracos. Refira-se que em lavas de idade anterior à época normal de Gauss, pode correr-se o risco de a amostragem ser feita em horizon-

tes situados no centro de derrames onde possa ter sido adquirida uma MRV instável no campo actual, cancelando completamente a componente estável da remanência. Calculadas que foram as magnetizações características e suas polaridades originais, a situação descrita não afectou, tão pouco, as lavas e filões com distribuição magnetoestratigráfica ao longo da época de Gilbert, como se estabelece na Fig. 7.

Constitui evidência da MRT recuperada o agrupamento das direcções características, com a média direcciona distinta da direcção do campo geomagnético actual, conforme se observa nos estereogramas da Fig. 3.

O derrame 5 foi considerado incorrecto, para obtenção de resultados paleomagnéticos, por exibir a direcção média da sua magnetização lavada oblíqua em relação à dos outros derrames. Deste modo, não é apresentado nos estereogramas (c) e (d) da Fig. 3.

A direcção média da magnetização característica do derrame 21, com $D = 193.9$ e $I = -8.5$, mostra-se desviada em relação ao agrupamento direcciona dos restantes derrames, como se pode observar no estereograma (c) da Fig. 3. Posto o problema de se dever ou não incluir o derrame no cálculo do polo P2, adoptou-se o critério de o eliminar caso o desvio angular fosse maior que $3\alpha_{63}$ (desvio padrão). O cálculo de α_{63} apresenta o valor de 10° e, posicionados na rede móvel o polo P2 e o PGV 21, o desvio angular verificado é de 28° . Deste modo, concluiu-se que o derrame 21 deveria ser incluído na média para o cálculo polar.

A análise do estereograma (d) da Fig. 3, onde estão as direcções médias das magnetizações características dos derrames mais recentes 1 a 19, levou a considerar a posição das antípodas das direcções de polaridade normal dos derrames 8 e 9. Estas colocam-se na tendência de agrupamento do grupo reverso, apoiando a determinação do polo P1 para o conjunto de todos os derrames.

Na Fig. 6, os polos P1, P2 e PT comparam-se com PGV da Madeira e de Tenerife e com a curva de deriva polar aparente estabelecida para a Europa, numa composição segundo WATKINS & al. (1966). Os valores de α_{95} sobrepõem-se nas ovals de confiança da

Madeira e de Tenerife, nomeadamente para o polo PT. Refira-se que os autores salientam a notável identidade das posições polares para aquelas ilhas e admitem a possibilidade das lavas estudadas da Madeira terem idade mais jovem que a miocénica. Para Tenerife, novos PGV determinados por CARRACEDO (1979) são referenciados, nas latitudes de 80° e 81° , com idades pliocénicas.

Comparativamente e de modo concordante, o polo PT, em posição adjacente à curva polar da Europa e imediatamente acima do círculo dos 80° de latitude N, teria idade da transição Miocénico-Pliocénico ou mesmo do Pliocénico. Na citada curva, a faixa de idades miocénicas estende-se desde Te, polo do Eocénico, até sensivelmente ao círculo dos 80° N.

2. Correlações magneto-estratigráficas

Os resultados experimentais conduziram à colocação magneto-estratigráfica das sequências vulcánicas estudadas, bem como a idades paleomagnéticas atribuíveis a formações da Carta Vulcanológica da Ilha de Santa Maria (SERRALHEIRO & al. 1987) (Fig. 7).

Os derrames e filões do complexo basal subaéreo, que são afloramentos do Complexo dos Anjos, estão seguramente calibrados pelas idades K/Ar dos filões MA 41 (ou F41) e S8, respectivamente de 4.80 ± 0.25 Ma e 4.70 ± 0.13 Ma, e têm, na maioria, polaridades reversas de Gilbert, anteriores ao evento Sidufjall. Neste evento, situam-se os filões mais jovens 22 e 26, com polaridade normal. FÉRRAUD & al. (1984) referem ainda, na região da Praia, um derrame (MA 21) de polaridade reversa cortado por um filão (MA 25) de polaridade normal, imediatamente subjacentes à descontinuidade de erosão superior. Os autores atribuem ao filão a idade Nunivak, sem excluir a hipótese de poder ter a idade Sidufjall.

No corte Praia-Malbusca, as lavas "pillow" 1, 2, 3 e 4 da parte superior do complexo vulcano-sedimentar submarino estão cobertas pelas lavas subaéreas 5 a 17. As escoadas submarinas e as subaéreas imediatas 5, 6 e 7 têm polaridade reversa. O mesmo acontece com os derrames 18

e 19 de lavas subaéreas que, sensivelmente às mesmas cotas, encimam o complexo submarino, no corte Praia-Brejo.

A calibração cronológica do conjunto dos derrames pode ser feita pelas idades K/Ar de MA 1, correspondente ao derrame 18 ou 19 e de MA 7 que, pela posição de amostragem, deve corresponder ao derrame 5 ou 6.

Os derrames 1 a 7 e os 18 e 19 colocam-se na faixa superior da época reversa de Gilbert entre as idades de 3.70 Ma e de 3.32 Ma.

Os derrames 8 e 9 de polaridade normal e os derrames superiores 10 a 17, de polaridade reversa que, por ordem estratigráfica ascendente, completam o corte Praia-Malbusca, têm já idade paleomagnética de Gauss, pertencendo os últimos ao evento Mammoth. No conjunto, cobrem idades geomagnéticas de 3.32 Ma até 2.94 Ma.

Entre as lavas submarinas e as subaéreas imediatamente sobrejacentes do Complexo do Facho /Pico Alto, na região da Praia, o contacto mostra-se aparentemente concordante. Em face dos resultados radiométricos e da alternância de polaridades, bem como, da correlação litostatigráfica de ocorrência, estes derrames devem respeitar a fases eruptivas sucessivas. As fases iniciais teriam sido de derrames submarinos em ambiente costeiro a que se seguiram derrames subaéreos já escorrentes e constituintes do corpo emergente da Ilha.

CONCLUSÕES

Tendo em conta os resultados experimentais, as lavas e filões do Complexo dos Anjos, na região da Praia, distribuem-se entre as idades de 5.10 Ma e de 4.38 Ma do Pliocénico Inferior. Neste complexo, o citado filão MA 25 identifica-se com os seus congêneres 22 e 26 pelo que deve mais concretamente ter idade Sidufjall, a partir da qual se terá desenvolvido a superfície de descontinuidade superior (Fig. 7).

Por seu lado, os derrames 1 a 19, são afloramentos da formação designada por Complexo do Facho/Pico Alto e conferem-lhe idade paleomagnética de Gilbert Superior e Gauss, no Pliocénico Médio, entre 3.70 Ma e 2.94 Ma.

Na Carta Vulcanológica de Santa Maria (SERRALHEIRO & al. 1987), a formação designada por Complexo do Touril, que aflora na região da Praia, fica supostamente abrangida pela época de Gilbert e enquadrada pelos eventos de Nuniva e Cochiti, entre as idades de cerca de 4.3 Ma e 3.7 Ma, conforme se observa na Fig. 7.

Como as idades paleomagnéticas atribuídas ao Complexo dos Anjos e ao Complexo do Touril diferem das respectivas idades miocénicas indicadas na legenda da Carta Vulcanológica, a obtenção de resultados paleomagnéticos e de idades K/Ar, nas lavas subaéreas MCT e nas lavas submarinas LRCT do Complexo do Touril, poderá então esclarecer se é correcta a colocação do Complexo entre as faixas de polaridades geomagnéticas referidas.

Em face de todos os resultados experimentais, a referida posição de idade do polo paleomagnético global, PT, imediatamente acima dos 80° de latitude N, é concordante com as idades pliocénicas de todas as amostras. Estas, distribuídas pelas épocas de Gilbert e de Gauss, cobrem várias faixas de polaridades entre as idades de 5.10 Ma e de 2.94 Ma.

A análise dos resultados obtidos leva a concluir sobre a grande validade da realização de cartografia magnética em ilhas vulcânicas, nomeadamente nas séries mais antigas. A sua definição magneto-estratigráfica pode separar unidades cronológicas e permitir, em conjugação com algumas datações radiométricas, reconstruir a evolução vulcânica insular.

AGRADECIMENTOS

Muito agradeço ao Senhor Professor M. Portugal Ferreira do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Universidade de Coimbra as facilidades concedidas e o seu conselho e orientação, em 1980, no estudo de minerais opacos magnéticos e de radiometria K/Ar de algumas amostras da Ilha de Santa Maria.

Exprimo também o meu agradecimento ao Senhor Professor A. Rocha-Campos da Universidade de São Paulo pelo acompanhamento nos

trabalhos de campo, durante a colheita das amostras paleomagnéticas, em Santa Maria, em 1981.

Agradeço particularmente ao Senhor Professor I. Ivory Pacca as facilidades concedidas no Laboratório de Paleomagnetismo da Universidade de São Paulo e a sua orientação no trabalho laboratorial, naquela Universidade, em 1982 e 1983.

REFERÊNCIAS

- CARRACEDO, J. C. 1979. *Paleomagnetismo e historia volcanica de Tenerife. Aula de Cultura de Tenerife*. Litografia A. Romero. Santa Cruz de Tenerife, 82 pp.
- COX, A. 1969. Geomagnetic reversals. - *Science* 162: 237-245.
- FÉRAUD, G., I. KANEOKA & C.J. ALLÈGRE 1980. K/Ar ages and stress pattern in the Azores: geodynamic implications. - *Earth and Planetary Science Letters* 46: 275-286.
- FÉRAUD, G., H.U. SCHIMINCKE, J. LIETZ, J. GOSTAUD, G. FRITCHARD & U. BLEIL 1984. New K-Ar ages, chemical analyses and magnetic data of rocks from the islands of Santa Maria (Azores), Porto Santo and Madeira (Madeira Archipelago) and Gran Canaria (Canary Islands). - *Arquipélago. Série Ciências da Natureza* 5: 213-240.
- FISHER, R.A. 1953. Dispersion on a sphere. - *Proceedings of the Royal Society (London)* A217: 295-305.
- MACDOUGALL, I. 1977. The present status of the geomagnetic polarity time scale. - *Australian National University, Research School of Earth Sciences* 1288: 1-34.
- RYALL, P.J.C., M-C. BLANCHARD & F. MEDIOLI 1983. A subsided island west of Flores, Azores. - *Canadian Journal of Earth Sciences* 20: 764-775.
- SALGUEIRO, M.A. 1978. Evidência da deriva continental pela evolução dos conceitos da Geofísica. - Pp.215-290 in: Instituto de Alta Cultura (Eds). *IV Curso de Extensão Universitária de Ciências Geológicas*. Faculdade de Ciências de Lisboa, 1975/76. Lisboa.
- SEARLE, R.C. 1980. Tectonic pattern of the Azores spreading centre and triple junction. - *Earth and Planetary Science Letters* 51: 415-434.
- SERRALHEIRO, A., C. M. ALVES, V. H. FORJAZ & B. RODRIGUES 1987. *Carta vulcanológica dos Açores. Ilha de Santa Maria*. - Centro de Vulcanologia do I.N.I.C.-U.A., Ponta Delgada, Açores.
- WATKINS, N.D., A. RICHARDSON & R.G. MASON 1966. Paleomagnetism of the macaronesian insular region: Madeira. - *Earth and Planetary Science Letters* 1: 471-475.

Aceite em 31 Julho de 1991.