

DIRECÇÃO GERAL DE MINAS E SERVIÇOS GEOLÓGICOS
SERVIÇOS GEOLÓGICOS DE PORTUGAL



MEMÓRIA N.º 9—(NOVA SÉRIE)

LE VOLCANISME DE L'ÎLE DE FAIAL
ET L'ÉRUPTION DU VOLCAN
DE CAPELinhos
(DEUXIÈME PARTIE)

SOBRE O MECANISMO DA ERUPÇÃO DOS CAPELINHOS

por

FREDERICO MACHADO

COMPTE RENDU DE DEUX VISITES AU VOLCAN DE CAPELINHOS APRÈS SON ERUPTION

par

G. ZEYSZEWSKI & O. DA VEIGA FERREIRA

ACOUSTIC STUDIES AT CAPELINHOS VOLCANO, AZORES

by

ADRIAN F. RICHARDS, J. B. HERSEY & WILLIAM T. McGUINNESS

RELATÓRIO DA MISSÃO TÉCNICA DO MINISTÉRIO DAS OBRAS PÚBLICAS PARA REMEDIAR AS
PRIMEIRAS CONSEQUÊNCIAS DA ERUPÇÃO

por

VIRIATO CAMPOS, FREDERICO MACHADO & J. A. SACADURA GARCIA

A ERUPÇÃO DOS CAPELINHOS — SEUS REFLEXOS NA ECONOMIA DA ILHA DO FAIAL

por

J. CORREIA DA CUNHA

L I S B O A

1962

LE VOLCANISME DE L'ÎLE DE FAIAL
ET L'Éruption du Volcan
de Capelinhos

SERVIÇOS GEOLÓGICOS DE PORTUGAL
MEMÓRIA N.º 9 — (NOVA SÉRIE)

REVISTA DE CIÉNCIAS DA TERRA
DE PORTUGAL

REVISTA DE GEOLOGIA

Le Volcanisme de l'Île de Faial

LE VOLCANISME DE L'ÎLE DE FAIAL ET L'ÉRUPTION DU VOLCAN DE CAPELinhos

LISBOA

1962

DIRECÇÃO GERAL DE MINAS E SERVIÇOS GEOLÓGICOS

SERVIÇOS GEOLÓGICOS DE PORTUGAL



MEMÓRIA N.º 9 — (NOVA SÉRIE)

LE VOLCANISME DE L'ÎLE DE FAIAL
ET L'ÉRUPTION DU VOLCAN
DE CAPELinhos
(DEUXIÈME PARTIE)

SOBRE O MECANISMO DA ERUPÇÃO DOS CAPELinhOS

por

FREDERICO MACHADO

COMPTE RENDU DE DEUX VISITES AU VOLCAN DE CAPELinhOS APRÈS SON ERUPTION

par

G. ZBYSZEWSKI & O. DA VEIGA FERREIRA

ACOUSTIC STUDIES AT CAPELinhOS VOLCANO, AZORES

by

ADRIAN F. RICHARDS, J. B. HERSEY & WILLIAM T. McGUINNESS

RELATÓRIO DA MISSÃO TÉCNICA DO MINISTÉRIO DAS OBRAS PÚBLICAS PARA REMEDIAR AS
PRIMEIRAS CONSEQUÊNCIAS DA ERUPÇÃO

por

VIRIATO CAMPOS, FREDERICO MACHADO & J. A. SACADURA GARCIA

A ERUPÇÃO DOS CAPELinhOS — SEUS REFLEXOS NA ECONOMIA DA ILHA DO FAIAL

por

J. CORREIA DA CUNHA

LISBOA

1962

P R É F A C E

Le volcan des Capelinhos surgi en 1957 du fond de la mer et raccordé plus tard à la côte de l'Île de Faial subsiste toujours à l'état de repos.

Le long des crevasses ouvertes sur la périphérie du cratère et sur les flancs de l'appareil volcanique, quelques fumerolles et surtout des sorties de gaz à hautes températures, se dégagent encore.

En 1962 il fut même possible d'observer au fond de quelques fissures plus profondes, la présence de matières incandescentes.

Un refroidissement lent mais progressif se poursuit.

Cependant l'érosion marine travaille en rongeant la base du cône volcanique et en provoquant de cette façon des affaissements locaux et des éboulements. C'est ainsi que les coulées de laves du 31 juin et du 23 avril 1958, localisées sur le flanc W du volcan, ont disparu dans la mer.

Le sable volcanique des plages de la côte sud commence à disparaître en bien des points, en raison de l'action des courants marins qui l'acheminent vers l'Est et qui redécouvrent les récifs qui avaient été enterrés par l'éruption.

Il n'est pas possible de savoir quel sera le comportement du volcan de Capelinhos dans le futur, ni ce qui restera de lui après une action prolongée de l'érosion marine.

Quatre ans se sont passées depuis l'édition du premier mémoire sur «le Volcanisme de l'Île de Faial et l'Éruption du Volcan de Capelinhos». Mais les sujets d'études en rapport avec cette éruption ne sont pas tous épousés et tous les travaux qui ont été réalisés jusqu'ici n'ont pas été publiés.

Parmi les textes qui nous ont été promis, quelques uns nous sont déjà parvenus et nous permettent aujourd'hui de les grouper en un deuxième mémoire qui n'est qu'un complément du premier.

G. ZBYSZEWSKI

SOBRE O MECANISMO DA ERUPÇÃO DOS CAPELINHOS

por

FREDERICO MACHADO

RESUMO

Descrevem-se mecanismos mais ou menos hipotéticos que parecem explicar o funcionamento da fase submarina e da fase eruptiva da erupção dos Capelinhos. As duas fases correspondem certamente a erupções distintas mas justapostas.

O mecanismo indicado para a ascensão do magma permite explicar a variação do caudal de lava em ambas as fases, parecendo bem averiguada a influência da maré terrestre na evolução do fenómeno eruptivo.

1 — INTRODUÇÃO

À semelhança do que tem sucedido noutros vulcões basálticos, a erupção dos Capelinhos pôde ser observada e estudada com bastante pormenor.

Foi possível efectuar, nomeadamente, as seguintes determinações [cf. MACHADO, 1958-59; MACHADO, NASCIMENTO & DENIS, 1959]:

- (a) Altura atingida pelos blocos de lava (e distância máxima a que eram depositados);
- (b) Forma aproximada dos jactos contínuos de vapor de água;
- (c) Viscosidade das correntes de lava;
- (d) Volumes (médias mensais) de lava emitida;
- (e) Deformação do solo na vizinhança da erupção.

Com base nestes elementos quantitativos, procurou-se interpretar o mecanismo do vulcão. O estudo que vai seguir-se não deixa porém de ter carácter especulativo.

Estudaram-se separadamente a fase explosiva de tipo submarino (Out. de 1957 a Abril de 1958), e a fase efusiva (Maio a Out. de 1958).

2 — CÂMARAS MAGMÁTICAS

As presentes considerações admitem, como hipótese prévia, a existência de câmaras magmáticas.

Estas câmaras são sugeridas pelas anomalias na distribuição das intensidades sísmicas [MACHADO, 1954] e provavelmente formaram-se a partir de falhas inversas que não teriam atingido a superfície [cf. MACHADO, 1961].

As câmaras parecem ter forma alongada, apresentando larguras de 20 a 30 km. A espessura da camada em estado de fusão é porém bastante incerta.

O magma (a temperaturas de 1200 a 1400°C) tem origem provavelmente num substrato fluido existente a profundidades da ordem dos 80 km, conforme sugerido por GUTENBERG [1948].

O sistema está esquematizado na Figura 1, e corresponde ao mecanismo de formação de massas plutónicas que DALY [1933, pg. 267] designou por «magmatic stoping».

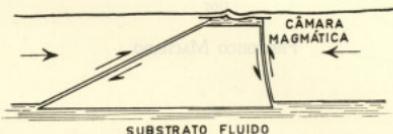


Fig. 1 — Corte esquemático duma câmara magmática

Quando há deslizamento nas falhas inferiores, o esforço de compressão da crusta (o qual se admite estar quase sempre presente) concentra-se apenas no tecto da câmara magmática. Em regra haverá cedência ou por fracturação ou por encurvadura. Em qualquer dos casos, a pressão na câmara pode aumentar e o magma (que ao atingir a superfície passa a designar-se por lava) será forçado a subir através de fendas ou chaminés existentes. Este seria o início dum período de actividade vulcânica.

Incidentalmente a encurvadura pode produzir ondulação da crusta (conforme verificado na crise sismica de Maio de 1958). Um fenómeno análogo em maior escala poderia explicar os enrugamentos das montanhas.

3 — MECANISMO DAS ERUPÇÕES SUBMARINAS

Se a chaminé tiver a saída no fundo do mar, a água, em contacto com a lava a mais de 1000°C, deve vaporizar-se a uma cadência muito rápida. É ao vapor de água assim produzido que parece dever-se o carácter altamente explosivo das erupções submarinas.

A vaporização da água provoca o arrefecimento da lava que solidifica em regra em fragmentos mais ou menos escoriáceos.

Na erupção dos Capelinhos, durante os períodos activos da fase a que chamámos *submarina*, observaram-se principalmente os dois seguintes fenómenos:

- (a) Explosões de cinzas, constituídas por jactos negros pontiagudos que se elevavam até alturas de 500 a 1000 m;
- (b) Jactos contínuos de vapor que produziam ruído característico e abriam em cone encimado por nuvens cumuliformes.

Vamos considerar sucessivamente estes dois fenómenos.

4 — TEORIA DAS EXPLOSÕES DE CINZAS

Suponhamos que a lava em fusão se encontra à profundidade H dentro da chaminé (Fig. 2), havendo por cima um enchimento de fragmentos de lava solidificada (designados genéricamente por cinzas). Como a água tem acesso franco à chaminé, haverá produção de vapor de água na base daquele enchimento.

A ascensão das cinzas começará quando a pressão do vapor igualar a pressão devida ao peso dos materiais que estão por cima. O valor desta pressão é $\rho g H$, sendo ρ a densidade média do enchimento e g a aceleração da gravidade.

Vamos supor que a produção de vapor se faz em ritmo tal que se mantém, durante a ascensão, a pressão inicial $\rho g H$ (mesmo para valores acima do ponto crítico).

Se admitirmos além disso que os materiais que saem da chaminé deixam de pesar sobre os que ficam, a pressão resultante na base do enchimento será em cada instante $\Delta p = \rho g (H - h)$, sendo h a altura dos materiais que ainda se conservam na chaminé (veja-se a Fig. 2).

Se for A a secção da chaminé, pelo teorema das quantidades de movimento teremos

$$(1) \quad A \Delta p dt = M dv$$

onde dv é a variação da velocidade no intervalo infinitesimal de tempo dt , e $M = Ash$ é a massa do enchimento.

Notando que $dh = -vdt$, a equação (1) pode escrever-se

$$(2) \quad vdv = -[g (H - h)/h] dh.$$

A velocidade varia entre zero e o valor v_0 à saída da chaminé. Por seu lado, h varia entre H e um valor a que corresponde à espessura mínima sobre a qual se exerce a pressão Δp . Admitiremos que esta espessura a , em relação a cada fragmento, é da ordem de grandeza da respectiva dimensão média.

A integração da equação anterior dará então

$$(3) \quad \int_0^{v_0} vdv = -g \int_H^a \frac{H-h}{h} dh$$

onde

$$(4) \quad v_0^2 = 2gH \left(\frac{a}{H} - \log_e \frac{a}{H} - 1 \right)$$

Vemos que para $a = 0$ a velocidade se tornaria infinita. Daqui provém o caráter explosivo das emissões de cinzas.

*

Supondo que a resistência da atmosfera é proporcional ao quadrado da velocidade, o movimento vertical dum fragmento, depois de deixar a chaminé, deve satisfazer à equação diferencial

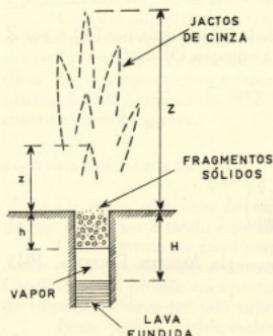


Fig. 2 — Mecanismo das explosões de cinzas

(5)

$$\frac{dv}{dt} = -kv^2 - g$$

onde k é uma constante de proporcionalidade.

Fazendo $dz = v dt$, e designando por v_0 a velocidade inicial (dada por (4)) e por Z a altura máxima atingida pelo fragmento considerado, a equação (5) dará

(6)

$$\int_{v_0}^{\infty} \frac{vdv}{kv^2 + g} = - \int dz \quad \text{ou}$$

(7)

$$Z = \frac{1}{2k} \log_e \left(1 + \frac{kv_0^2}{g} \right)$$

A constante k é dada pela expressão [cf. por exemplo AMORIM FERREIRA, 1943 pg. 157]

$$k = c\rho's/m$$

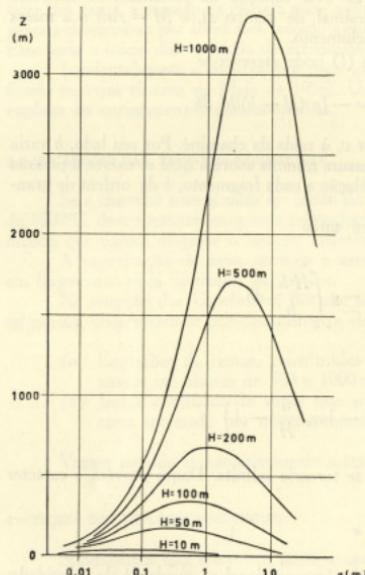


Fig. 3 — Alturas atingidas pelos produtos dum a explosão de cinzas

onde c é um coeficiente (dependente da forma do fragmento), ρ' é a densidade da atmosfera, m é a massa do fragmento, e s a área da projeção do respectivo contorno sobre um plano perpendicular à trajectória.

Para um fragmento esférico de diâmetro a e densidade ρ , teremos com $c = 0,5$ (valor um tanto incerto)

$$(8) \qquad k = 3 \rho'/4 a\rho$$

A atmosfera onde se deslocam os fragmentos é constituída por ar e vapor de água, podendo atribuir-se-lhe a densidade $\rho' = 10^{-3}$ gr/cm³. A densidade dos fragmentos é variável com a vesiculação; vamos atribuir-lhe o valor médio 2,0 gr/cm³.

Com estes valores foi possível calcular a altura Z atingida por cada fragmento em função do respectivo diâmetro, considerando várias profundidades do nível de explosão (H). Os resultados vão indicados na Fig. 3.

Vemos que as alturas máximas são atingidas pelos blocos de diâmetros compreendidos entre cerca de 0,5 e 5 m.

Os materiais mais finos atingem alturas muito reduzidas, excepto quando se deslocarem na réstia dum bloco maior

onde estarão «protegidos» da resistência do ar. Desta forma se explicaria a forma pontiaguda dos jactos de cinzas.

Para alturas de jactos entre 500 e 1000 m, o nível de explosão na chaminé estaria à profundidade de 200 m aproximadamente (onde a pressão é da ordem das 40 atm).

Com um diâmetro de chaminé da ordem dos 80 m, se a cada explosão correspondesse o esvaziamento completo dos fragmentos sólidos, em quatro ou cinco grandes explosões diárias (número que ocorria em Out. de 1957) as cinzas emitidas atingiriam uns 5 milhões de m^3 por dia, equivalentes a cerca de 2 milhões de m^3 de lava compacta. A média dos primeiros dias de Outubro de 1957 foi realmente de $1,8 \times 10^6 m^3/dia$, mas diminuiu rapidamente durante o mês.

5 — TEORIA DOS JACTOS DE VAPOR

Os jactos contínuos de vapor de água constituíram um outro notável fenômeno da fase submarina e foram especialmente frequentes de Janeiro a Abril de 1958.

O escoamento de gases para a atmosfera faz-se a velocidades superiores à do som desde que a pressão interna do reservatório seja superior a cerca de 2 atm. Na chaminé dos Capelinhos essa pressão era certamente de várias dezenas de atmosferas e por isso o regime de escoamento deve ter sido supersônico.

Neste regime, correspondente ao máximo caudal, estabelece-se a velocidade igual à do som (relativa ao gás em escoamento) na secção mais estreita da saída. Para o exterior desse ponto as velocidades diminuem, mas para o exterior o gás expande em cone com velocidades supersónicas.

O escoamento adiabático dum gás perfeito é regido pela equação [veja-se MILES, 1961, pg. 20]

$$(9) \quad A^\theta = \text{const.}$$

onde A é a área da secção considerada e θ uma grandeza sem dimensões, definida por

$$(10) \quad \theta = M \frac{\gamma + 1}{(\gamma - 1)M^2 + 2} \frac{\gamma + 1}{2(\gamma - 1)}$$

Aqui $M = V/c$ é o número de Mach, V designando a velocidade do gás e c a velocidade do som no gás nas mesmas condições de pressão e temperatura; $\gamma = C_p/C_v$ é o quociente dos calores específicos a pressão constante e a volume constante.

No interior do reservatório consideramos $M = 0$ e portanto $\theta = 0$. Na parte mais estreita da chaminé será, como dissemos, $M = 1$ a que corresponde também $\theta = 1$.

A pressão é dada pela expressão

$$(11) \quad \frac{p}{p_0} = \frac{2}{(\gamma - 1)M^2 + 2}^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}$$

sendo p_0 a pressão correspondente a $M = 0$ (que é o valor admitido para o interior do reservatório).

Finalmente a temperatura T (°K) e a velocidade do som c podem obter-se pelas equações

$$(12) \quad T^\gamma p^{1-\gamma} = \text{const.}, \quad \text{e}$$

$$(13) \quad c^{\gamma} p^{1-\gamma} = \text{const.}$$

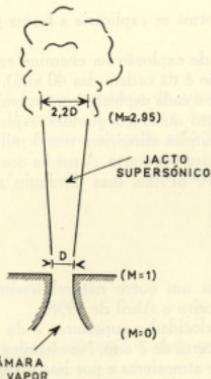


Fig. 4—Jacto contínuo de vapor de água

HODGMAN, 1936, pg. 1415]. Os valores de T e c (e $V = Mc$) correspondentes à saída e ao fundo da chaminé, dados por (12) e (13), vão indicados no quadro seguinte.

QUADRO 1

SECÇÃO	M	\hat{p} atm	T		c m/sec	V m/sec
			$^{\circ}K$	$^{\circ}C$		
Cimo do jacto	2,95	1	373	100	405	1195
Saída da chaminé	1	19	735	462	569	569
Fundo da chaminé	0	34	842	569	609	0

Vemos que a temperatura à saída da chaminé ($462^{\circ}C$) ainda é superior ao ponto crítico ($374^{\circ}C$).

No cimo do jacto (antes da condensação) a velocidade do vapor deve atingir cerca de 1200 m/sec. O fenómeno exige uma produção muito rápida de vapor (que no caso dos Capelinhos parecia ser da ordem das 5000 ton/sec).

6 — FASE EFUSIVA

Quando a água deixa de ter acesso franco à chaminé, o carácter explosivo quase desaparece. Apenas há a libertação ruidosa dos gases do magma (que são agora talvez de origem juvenil).

A lava sai em regra por alguma abertura lateral e corre tranquilamente pelas vertentes do cone. Trata-se do escoamento lamelar dum líquido viscoso que satistaz à equação

Vamos considerar o vapor de água como um gás perfeito (o que representa de certo aproximação suficiente para os nossos cálculos). O quociente dos calores específicos tem para o vapor de água o valor $\gamma = 1,3$.

Na erupção dos Capelinhos o jacto abria em cone (Fig. 4) e na secção onde o vapor se condensava (pressão 1 atm e temperatura $373^{\circ}K$) o diâmetro era 2 a 2,5 vezes o diâmetro à saída da chaminé. Tomando o valor 2,2 virá, pela equação (9), para o cimo do jacto $\theta = 1/2,2^2 = 0,207$ a que correspondem pelas equações (10) e (11) $M = 2,95$ e $p/p_0 = 0,029$.

Fazendo $p = 1$ atm teremos $p_0 = 34$ atm, valor que parece razoável para a pressão junto à lava em fusão no fundo da chaminé.

Na saída da chaminé ($M = 1$) a pressão é $p = 0,55 p_0 = 19$ atm.

Dissemos que no cimo do jacto a pressão era 1 atm e a temperatura $373^{\circ}K$ ($100^{\circ}C$). A velocidade do som no vapor, nessas condições, é 405 m/sec [cf.

sendo v a velocidade «máxima» da corrente (em cada secção), ρ a densidade da lava, g a aceleração da gravidade, i a inclinação da vertente, e η o coeficiente de viscosidade.

A expressão (14) foi utilizada para avaliar a viscosidade da lava dos Capelinhos. O valor mínimo encontrado foi $\eta = 3,2 \times 10^4$ poises [cf. MACHADO, 1958-59]. Com o arrefecimento a viscosidade aumentava muito, desaparecendo a mobilidade para valores entre 10^6 e 10^7 poises.

7 - TEORIA DA ASCENSÃO DO MAGMA

Se a pressão no interior da câmara magmática variar lentamente, podemos admitir que o escoamento do magma através da chaminé satisfaz à fórmula de Poiseuille [cf. AMORIM FERREIRA, 1943, pg. 154]

$$(15) \quad Q = (\pi r^4 / 8\eta h) \Delta p = K \Delta p ,$$

Sendo Q o caudal de magma, r o raio da chaminé, h a altura respectiva, e η o coeficiente de viscosidade; $\Delta p = p - \rho gh$ é a diferença entre a pressão p na base da chaminé e a pressão hidrostática ao mesmo nível (ρ = densidade do magma, g = aceleração da gravidade). K é portanto constante para uma dada chaminé e para um dado magma (a temperatura uniforme).

Suponhamos que há uma redução brusca de volume Δv na câmara magmática. Se for v o volume total interessado e x o módulo de compressibilidade, o aumento inicial de pressão será $\Delta p_0 = x\Delta v/v$. Havendo comunicação para o exterior, o escoamento durante o tempo t fará a pressão diminuir de acordo com a equação

$$(16) \quad \Delta p = \frac{x}{v} (\Delta v - \int_0^t Q dt) .$$

Atendendo a (15), teremos

$$(17) \quad Q = \frac{xK}{v} (\Delta v - \int_0^t Q dt) = Q_0 - A \int_0^t Q dt$$

onde fizemos $xK/v = A$ e $Q_0 = A\Delta p_0$.

Se existir sobreposto o efeito dumha maré terrestre proporcional a $\sin(\omega t + z)$, a expressão anterior escrever-se-á agora

$$(18) \quad Q = Q_0 + Q_m \sin(\omega t + z) - A \int_0^t Q dt$$

onde será também

$$(19) \quad Q_m = xK \Delta v_m / v .$$

Derivando a equação (18) vem

$$(20) \quad \frac{dQ}{dt} + A Q = \omega Q_m \cos(\omega t + \alpha) .$$

A solução desta equação, satisfazendo a (18), é

$$(21) \quad Q = C_1 e^{-At} + C_2 \sin(\omega t + \beta)$$

com $\tan \psi = A/\omega$, $\beta = \alpha + \psi$, $C_1 = Q_0 - Q_m \sin \psi \cos \beta$ e $C_2 = Q_m \cos \psi$.

*

Conforme se disse, foram determinados os volumes de produtos emitidos em intervalos sucessivos de cerca de um mês [MACHADO, NASCIMENTO & DENIS, 1959]. Os caudais diários correspondentes (lava compacta) vão indicados no quadro seguinte:

QUADRO 2

t dias	Q (médio) $10^{12} \text{ cm}^3/\text{dia}$	t dias	Q (médio) $10^{12} \text{ cm}^3/\text{dia}$
0	—	0 (2. ^a fase)	—
6,5	1,762 ?	4	1,375
40	0,044 ?	32	0,083
65,5	0,052	81	0,160
102,5	0,151	134,5	0,264
135	0,175	163	(fim da erupção)
159,5	0,200		
186	0,207		
229	(fim da 1. ^a fase)		(O zero da 2. ^a fase corresponde a $t = 229$ da fase inicial).

Os valores totais da lava emitida (densidade cerca de 2,6) foram aproximadamente $47 \times 10^6 \text{ m}^3$ na 1.^a fase e $38 \times 10^6 \text{ m}^3$ na 2.^a fase.

Como os caudais indicados no quadro representam médias em intervalos de cerca de um mês, é de esperar que haja compensação quase total entre os ramos positivos e negativos das marés de origem lunar (quinzenais e mensais). O efeito que deve realçar é o da maré solar semi-anual (Ssa) com o período aproximado de 182,6 dias.

Esta maré, como as outras de longo período, é uma função zonal de Laplace que se anula à latitude $35^\circ 16' \text{ N}$ ou S, e é mínima nos equinócios para latitudes superiores. (A latitude dos Capelinhos é $38^\circ 36' \text{ N}$.)

Vemos que os caudais de lava se devem poder representar razoavelmente por expressões da forma (21), uma para cada fase.

Para a maré Ssa teremos $\omega = 0,0344 \text{ dia}^{-1}$ e $\alpha = 1,74$ na primeira fase, e $\alpha = 3,34$ na segunda. Os valores dos outros parâmetros são aproximadamente

1.^a fase :

$$A = 0,03 \text{ dia}^{-1}, \quad C_1 = 2,0 \times 10^{12} \text{ cm}^3/\text{dia},$$

$$C_2 = 0,24 \times 10^{12} \text{ cm}^3/\text{dia},$$

$$\psi = 0,72 \text{ rad}, \quad \beta = 2,46 \text{ rad};$$

2.^a fase :

$$A = 0,05 \text{ dia}^{-1}, C_1 = 2,0 \times 10^{12} \text{ cm}^3/\text{dia}, \\ C_2 = 0,30 \times 10^{12} \text{ cm}^3/\text{dia}, \\ \psi = 0,97 \text{ rad}, \beta = 4,31 \text{ rad}.$$

Estas curvas foram traçadas na Figura 5. A dispersão dos pontos deve provir em parte de erros de medição, e em parte de se terem desprezado as marés lunares (especialmente MF).

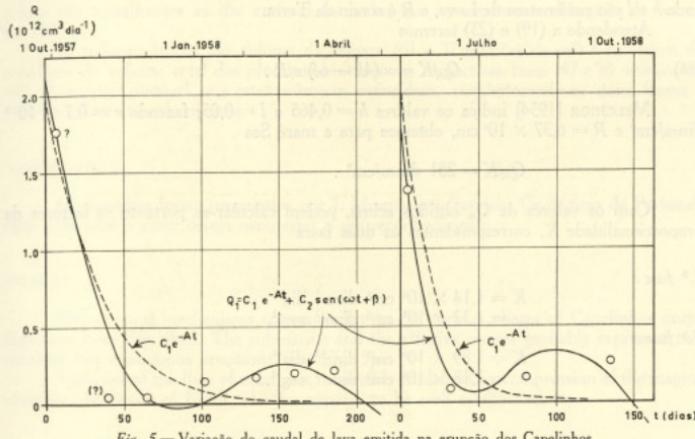


Fig. 5 — Variação do caudal de lava emitida na erupção dos Capelinhos

A partir destes valores, determinámos também as grandezas Q_e e Q_m da expressão (18)

1.^a fase :

$$Q_e = 1,84 \times 10^{12} \text{ cm}^3/\text{dia}, Q_m = 0,32 \times 10^{12} \text{ cm}^3/\text{dia};$$

2.^a fase :

$$Q_e = 1,83 \times 10^{12} \text{ cm}^3/\text{dia}, Q_m = 0,53 \times 10^{12} \text{ cm}^3/\text{dia}.$$

Na representação gráfica (Fig. 5) reconhece-se a existência de duas erupções justapostas. É interessante verificar que a primeira ia terminar exactamente quando começou a seguinte.

8 — EFEITOS DA MARÉ TERRESTRE

Parece não restarem dúvidas sobre a influência da maré Ssa na evolução dos fenómenos eruptivos dos Capelinhos.

A amplitude desta maré (em cm) é dada pela fórmula [cf. BARTELS, 1957, pg. 757]

$$(22) \quad z = 0,974 (1 - 3 \operatorname{sen}^2 \varphi)$$

onde φ é a latitude.

Para a chaminé dos Capelinhos é $\varphi = 38^\circ 36' N$, vindo portanto $z = -0,164$ cm.

A dilatação cúbica máxima pode também calcular-se pela expressão [veja-se MELCHIOR, 1956]

$$(23) \quad \Delta v_m/v = (4h - 6l) z/R$$

onde h e l são parâmetros de Love, e R é o raio da Terra.

Atendendo a (19) e (23) teremos

$$(24) \quad Q_m/K = \times (4h - 6l) z/R .$$

MELCHIOR [1954] indica os valores $h = 0,465$ e $l = 0,05$; fazendo $\times = 0,7 \times 10^{12}$ dines/cm² e $R = 6,37 \times 10^6$ cm, obtemos para a maré Ssa

$$Q_m/K = 281 \text{ dines/cm}^2 .$$

Com os valores de Q_m obtidos acima, podem calcular-se portanto os factores de proporcionalidade K , correspondentes às duas fases

1.^a fase :

$$\begin{aligned} K &= 1,14 \times 10^6 \text{ cm}^5 \text{ dine}^{-1} \text{ dia}^{-1} \\ &= 1,32 \times 10^4 \text{ cm}^5 \text{ dine}^{-1} \text{ seg}^{-1}, \end{aligned}$$

2.^a fase :

$$\begin{aligned} K &= 1,89 \times 10^6 \text{ cm}^5 \text{ dine}^{-1} \text{ dia}^{-1} \\ &= 2,18 \times 10^4 \text{ cm}^5 \text{ dine}^{-1} \text{ seg}^{-1}. \end{aligned}$$

*

O conhecimento destes factores K vai permitir uma série de determinações interessantes.

O aumento inicial de pressão (eq. (15)) é $\Delta p_o = Q_o/K$, e é provocado por uma redução do volume (eq.⁵ (17)) $\Delta v = Q_o/A$. O volume total interessado nesta compressão é $v = \times \Delta v / \Delta p_o = \times K/A$. Finalmente pela equação (15) temos $r^4 = 8\pi h K / \pi$; fazendo $\pi = 3 \times 10^4$ poises e $h = 3 \times 10^5$ cm, podemos determinar o raio r da chaminé.

Os resultados destas determinações são

1.^a fase :

$$\begin{aligned} \Delta p_o &= 1,6 \times 10^8 \text{ dines/cm}^2, \\ \Delta v &= 0,61 \times 10^{14} \text{ cm}^3 = 61 \times 10^6 \text{ m}^3, \\ v &= 2,7 \times 10^{22} \text{ cm}^3 = 2,7 \times 10^7 \text{ km}^3, \\ r &= 42 \text{ m}, \quad 2r = 84 \text{ m}. \end{aligned}$$

2.^a fase :

$$\begin{aligned} \Delta p_o &= 1,0 \times 10^8 \text{ dines/cm}^2, \\ \Delta v &= 0,37 \times 10^{14} \text{ cm}^3 = 37 \times 10^6 \text{ m}^3, \\ v &= 2,6 \times 10^{22} \text{ cm}^3 = 2,6 \times 10^7 \text{ km}^3, \\ r &= 47 \text{ m}, \quad 2r = 94 \text{ m}. \end{aligned}$$

Vemos que uma diminuição de volume de perto de 50 milhões de m³ produz um pequeno aumento na pressão do magma.

O volume interessado nesta compressão excede em várias ordens de grandeza o volume que se poderia atribuir a uma câmara magmática [cf. MACHADO, 1954]; somos assim levados a admitir que estas câmaras possam comunicar actualmente com um substrato em fusão.

Os canais que ligam a câmara magmática com o exterior parecem equivalentes a um tubo cilíndrico com cerca de 90 m de diâmetro. (Isto não exclui evidentemente a hipótese das chaminés terem secção diferente da circular.) Estas dimensões médias das chaminés são semelhantes às das crateras formadas que apresentavam diâmetro de cerca de 100 m.

A redução inicial do volume da câmara (61 e 37 milhões de m³) é da ordem de grandeza do volume total dos produtos emitidos nas respectivas fases (47 e 38 milhões de m³). É mesmo possível que estes números coincidam, restabelecendo-se dessa forma a pressão hidrostática do magma.

AGRADECIMENTO

Os desenhos foram preparados por J. Mourão nos Serviços Geológicos de Portugal, facto pelo qual o autor deseja manifestar o seu reconhecimento.

SUMMARY

Hypothetical mechanisms corresponding to the various phases of Capelinhos eruption have been described. The submarine and the effusive phases probably represent two separate but contiguous eruptions (see Fig. 5).

Variation of the flow of magma is reasonably explained by compression of the magma chamber. Influence of Earth tide *Ssa* appears to be well established.

REFERÊNCIAS

- BARTELS, J., (1957) *Gezeitenkraefte. Handbuch der Physik*, vol. XLVIII, pg. 734-774, Springer-Verlag, Berlim.
- DALY, R. A., (1933), *Igneous Rocks and the Depth of the Earth*, McGraw Hill, Nova York.
- FERREIRA, H. AMORIM, (1943), *Mecânica* (Curso Geral de Física, Tomo I), Univ. Lisboa, Lisboa.
- GUTENBERG, B., (1948), On the Layer of Relatively Low Wave Velocity at a Depth of about 80 Kilometers. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, vol. 38, pg. 121-148.
- HODGMAN, C. D., (editor), (1936), *Handbook of Chemistry and Physics*, Chem. Rub. Publ. Co., Cleveland, Ohio.
- MACHADO, F., (1954), Earthquake Intensity Anomalies and Magma Chambers of Azorean Volcanoes. *Trans. Amer. Geophys. Un.*, vol. 35, pg. 833-837.
- (1958-59), Actividade Vulcânica da Ilha do Faial, 1957-58 (Notícias Preliminares). *Atlântida*, vol. II, pg. 215-236 e 305-315, e vol. III, pg. 40-55 e 153-159.
- (1961), Considerações àcerca do Coeficiente Sísmico. *Técnica*, Ano XXXIV, pg. 537-546.
- MACHADO, F., NASCIMENTO J. M. & DENIS, A. F. (1959), Evolução Topográfica do Cone Vulcânico dos Capelinhos. *Serv. Geol. Port., Mem.* 4 (nova sér.), pg. 65-70.
- MELCHIOR, P. J., (1954), *Les Marées Terrestres*. Obs. Royal de Belgique, Uccle.
- (1956), Sur l'Effet des Marées Terrestres dans les Variations de Niveau Observées dans les Puits. *Com. Obs. Royal de Belgique*, Sér. Géophys. n° 37, pg. 7-28.
- MILES, E. R. C., (1961), *Supersonic Aerodynamics*, Dover Publ., Nova York.

Le volcan Capelinhos est l'un des derniers et plus récents édifices volcaniques de l'île de Faial aux Açores. Il a commencé à émettre des fumerolles le 1er juillet 1957 et a atteint son maximum d'activité le 27 septembre 1957, date de l'éruption principale qui a dévasté la partie sud de l'île.

COMPTE RENDU DE DEUX VISITES AU VOLCAN DE CAPELINHOS (AÇORES) APRÈS SON ERUPTION

par

G. ZBYSZEWSKI et O. DA VEIGA FERREIRA

L'éruption du volcan de Capelinhos, commencée le 27 Septembre 1957, s'est terminée le 25 Octobre 1958. Après cette date, l'activité volcanique se réduit au dégagement de nombreuses fumerolles et de gaz à haute température, qu'il nous a été possible d'observer lors de notre troisième visite au volcan, le 23 Octobre 1959.

Cette nouvelle reconnaissance géologique nous a permis de revoir les points les plus importants, observés sur le pourtour du volcan pendant nos campagnes d'Octobre-Novembre 1957 et de Juillet-Août 1958. Elle nous a permis également de faire l'ascension du cône central et d'atteindre le bord du cratère, que nous avions vu en plein fonctionnement.

Nous avons été guidés pendant notre visite par Tomás Pacheco, connaisseur de la topographie du volcan dans ses moindres détails et sans lequel notre mission aurait été irréalisable.

En dehors des clichés que nous avons tirés pendant notre visite, nous présenterons ci-après trois magnifiques photographies tirées en 1960 par l'United States Air Force, que M. Willard H. Parsons nous a communiquées en nous autorisant à les reproduire. Nous lui adressons ici nos plus vifs remerciements.

I – ASPECT GÉNÉRAL DE LA ZONE AVOISINANT LE PHARE

Peu de changements étaient survenus dans le paysage depuis notre dernier séjour dans l'île en Août 1958. L'aspect du paysage autour du phare était d'une rare désolation. Les champs environnants et les versants des montagnes voisines étaient noirs de cendres (Pl. IX, fig. 2). La végétation n'avait pas repris et paraissait brûlée. Quelques plantes cependant naissaient çà et là (Pl. IX, fig. 3). Mais leur croissance était ralentie et souvent arrêtée par les cendres que le moindre coup de vent soulevait et qui de temps en temps venaient les recouvrir et parfois les tuer.

Les cannes, plus résistantes, donnaient des feuilles nouvelles, ce qui apportait un peu de vie à ce paysage tellement sombre.

Parmi les diverses tentatives de cultures réalisées depuis la fin de l'éruption, celles des pommes de terre et de la patate sucrée semblent avoir été les seules à donner de bons résultats.

Le problème essentiel pour l'agriculture est actuellement celui de la fixation des cendres volcaniques.

Les averses, parfois diluviales, comme celles qui sont tombées pendant le cyclone qui a précédé notre arrivée à Faial, donnent lieu à l'ouverture de profonds ravinements au milieu des champs et entre les habitations. C'est ainsi que le jour de notre visite, la route du phare et celle de Capelo à Norte Pequeno, étaient coupées. De grandes ravines avaient

étaient ouvertes entre les maisons du village de Canto, où le terrain était complètement bouleversé. Certaines atteignaient plus de 1 m de profondeur.

La tour du phare et la partie supérieure des édifices avoisinants que nous avions vu presque totalement enterrées sous les cendres en Août 1958, se trouvaient maintenant dégagées grâce à l'action des intempéries (Pl. ix, fig. 1).

II — LE VOLCAN

Au NW du phare de Capelinhos le volcan se dresse avec la configuration que nous lui connaissons (Pl. I, II, III). Il est actuellement raccordé à la côte de l'île de Faial par un large isthme de sable volcanique noir, prolongé jusqu'à Fajã do Touro, sur la côte Nord et jusqu'à Varadouro, sur la côte sud de l'île, par des plages de sable noir accumulé par les courants marins.

Le volcan comprend actuellement plusieurs parties (Pl. III) que nous allons décrire ci-après:

- a) Un cone central dont l'altitude actuelle est d'environ 160 m et qui comprend un cratère principal;
- b) Deux champs de laves au Nord et au Nord-Ouest et une coulée au SW, datant du 21 Octobre 1958.
- c) Les flancs Sud et Est du volcan, comprenant les restes d'une «somma» et d'un «atrium» (Pl. VII, fig. 1);
- d) La coulée du phare de Capelinhos, au SE du volcan (Pl. IX, fig. 1; Pl. X, fig. 4).

A — LE CONE CENTRAL DU VOLCAN

L'appareil volcanique, tel qu'il se présentait le 23 Octobre 1959 comprenait un cone central constitué par un amoncellement hétérogène de blocs de basalte arrachés à la cheminée du volcan, de bombes volcaniques, de plaques de laves solidifiées et de scories aux formes diverses (Pl. VI, fig. 3).

Ce matériel croulant, sujet à des éboulements, rend pénible toute escalade. Il commence à être consolidé vers la partie supérieure du cone, au voisinage des bords du cratère, par les dépôts sulfureux des fumerolles qui se dégagent de tous côtés. On peut comparer ce cone à une sorte d'éponge dont tous les pores laisseraient dégager des fumées ou des gaz à haute température.

Sur la périphérie du cratère le sol est brûlant et empêche tout stationnement prolongé sous peine de détériorer les semelles des chaussures.

Le cratère du volcan (Pl. IV, fig. 3; Pl. V, fig. 3) a un diamètre de l'ordre de 100 m et une profondeur d'environ 30 à 40 m. Ses parois sont plus ou moins verticales. Des éboulements récents s'accumulent à leur base. La profondeur du cratère tend ainsi à diminuer en même temps que sa largeur augmente en proportion.

Au cours de notre visite nous sommes montés par le flanc NE du cone central, dont la partie supérieure était entamée par des crevasses béantes, qui faisaient prévoir de prochains affaissements, les uns vers l'intérieur et les autres vers l'extérieur du cratère. Ces fissures sont actuellement le siège de dégagements gazeux à haute température.

A quelques mètres du bord du cratère s'ouvre un gouffre semi-circulaire dont le diamètre est de l'ordre de 1,50 m (Pl. VI, fig. 4). Sa profondeur est inconnue. Une pierre lancée dans cette cavité, qui laisse sortir des gaz chauds, a disparu sans qu'il ait été possible d'entendre le bruit de sa chute. Nous croyons nous rappeler que le 30 Août 1958, au cours

d'une reconnaissance faite en bateau, nous avons apperçu cette ouverture vomir des flammes.

Le versant nord du cone central présente actuellement des fissures qui tendent à s'ouvrir davantage et qui séparent des tranches de terrain disposées en marches d'escaliers qui s'affaissent vers le NW (Pl. IV, fig. 1, 2; Pl. VI, fig. 1).

B — LES CHAMPS DE LAVE

Après avoir descendu le flanc nord du cone central en voie d'affaissement et franchi un réseau de grandes fractures, nous avons pu atteindre les champs de laves qui enveloppent le cone au Nord et au Nord-ouest.

Le point d'émission principal des laves qui ont formé le champ septentrional est (Pl. V, fig. 1, 2) une fissure située à mi-hauteur sur le flanc NNE. Les laves qui en sortirent se sont réunies à d'autres issues, de plusieurs bouches secondaires, s'étalant en éventail et coulant ensuite dans la mer, après avoir formé une plateforme irrégulière et plus ou moins inclinée (Pl. V, fig. 2).

A la surface de celle-ci on peut encore observer plusieurs courants de lave pétrifiés et présentant, lors de notre visite, de nombreux points de dégagement de fumerolles et de gaz à haute température, localisés surtout le long de nombreuses fractures.

Notre reconnaissance a porté plus spécialement sur le champ de laves NW, dont on connaît trois points d'émission situés sur les flancs W et NW du cone central (Pl. III). Les coulées issues de ces différentes bouches pendant la période de Mai à Octobre 1959 ont formé une sorte de plateforme inclinée. Elles présentent un aspect de grande fluidité avec des zones cordées et d'autres scoriaées.

La circulation à la surface de ces laves, irrégulièrement consolidées, présente de grands périls. En effet l'épaisseur de la croûte solidifiée peut varier, suivant les points, de quelques centimètres à plusieurs mètres. Pour quelqu'un de non prévenu, la moindre imprudence peut devenir fatale. Ainsi en sortant du sentier frayé par Tomás Pacheco et en posant le pied sur une pellicule de lave sans épaisseur, donc facilement crevée, on peut tomber dans une cavité plus ou moins profonde et laissant dégager des gaz à haute température.

Une expérience réalisée avec un papier posé sur le sol, au point de sortie de tels gaz, nous a montré que ce papier s'enflammait spontanément au bout de quelques secondes.

A la surface du champ de laves NW il a été possible d'observer plusieurs hornitos (Pl. VI, fig. 2) et plusieurs fontaines de lave qui se sont consolidées à l'état plus ou moins visqueux.

Un ancien lac de laves s'est solidifié en donnant une dalle ultérieurement rompue par affaissement au cours de son refroidissement.

La coupe des falaises, actuellement en recul, par éboulements successifs provoqués par le travail de sappe des vagues, nous montre la structure des coulées très fluides, qui présentent des zones de basalte compact en petits lits, alternant avec des zones scoriaées.

En de nombreux points du champ de laves on observe des dégagements de gaz chauds et des fumées, moins abondantes cependant que sur les flancs du cone central.

Notre itinéraire de retour passait à l'Ouest du cone central. Il nous a été possible ainsi d'observer la coulée de lave issue, le 21 Octobre 1958, d'une bouche située immédiatement au Sud de la «bouche ouest».

Cette coulée atteignit la dépression périphérique au SW du cone central où elle s'étala (Pl. VII, fig. 1, 3, 4; Pl. VIII, fig. 3, 4), puis débordant par dessus le bord de la falaise elle a coulé en cascade jusque dans la mer.

Au SW et à proximité du point d'émission il nous a été possible de photographier un bel hornito, ainsi qu'une fontaine de lave pétrifiée (Pl. VII, fig. 2; Pl. VIII, fig. 1, 2).

C — LES FLANCS SUD ET EST DU VOLCAN

Le cone central est limité au Sud et à l'Est par une dépression périphérique, reste d'un atrium qui a été détruit dans sa plus grande partie, par les courants de lave émis au cours des éruptions.

Le fond de cette dépression est jonché de nombreuses bombes volcaniques et de plaques de lave solidifiées. Les unes sont simplement éboulées du cone central. Les autres occupent encore les points où elles sont tombées, projetées par les explosions volcaniques. Certaines, en tombant sur le sable se sont aplatis. Leur face inférieure est restée convexe. Leur face supérieure par contre s'est aplatie ce qui indique un état de viscosité déterminée. Il en est de même des plaques de lave en forme de bouses de vache, dont quelques unes atteignent près de 1 m de diamètre et qui sont tombées à l'état visqueux.

L'atrium cité communique avec l'extérieur par une dépression semi-circulaire (Cova Negra) qui sépare deux sommets allongés, constitués par des cendres et par des scories, derniers restes d'une somme presque entièrement détruite. Le sommet oriental a 150 m de hauteur. Celui situé au SSW du cone central atteint 115 m.

La dépression semi-circulaire qui vient d'être citée et qui est ouverte dans les projections et dans les sables volcaniques noirs n'est pas un cratère comme on pourrait le croire. D'après Tomás Pacheco qui a observé sa formation, elle serait le résultat d'un affaissement en forme d'entonnoir (Pl. II).

D — LAVE DU PHARE DE CAPELinhOS

La coulée de lave du 23 Août 1958 est issue d'une bouche secondaire ouverte au pied de la falaise qui supporte le phare de Capelinhos (Pl. X, fig. 2). La lave s'est propagée vers le Sud en direction du Porto do Comprido sur une longueur de 300 à 400 mètres (Pl. IX, fig. 1). Nous l'avons décrite dans une publication récente.

Au cours de notre visite du 23 Octobre 1959 nous avons observé, au point de sortie de la lave, la présence d'une cavérone qui s'enfonçait dans le sol, mais qui était presque entièrement comblée par les cendres qui y avaient coulé (Pl. X, fig. 2). Immédiatement au Nord et à quelques mètres de celle-ci, une petite dépression laissait dégager des fumerolles et des gaz à haute température (Pl. X, fig. 1, 3).

CONCLUSIONS

En Juin-Juillet 1961 une mission se rendit dans l'île de Pico pour procéder à son levé géologique. Nous eûmes ainsi l'occasion de rester trois jours dans l'île de Faial, profitant de cette circonstance pour nous rendre une fois de plus au volcan de Capelinhos.

Nous pûmes ainsi vérifier que les fumées blanches, tellement abondantes en 1959 dans l'intérieur et sur les bords du cratère avaient pratiquement disparu. De rares fumerolles subsistaient encore ça et là sur les pentes extérieures du cone central.

Des dégagements de gaz à haute température se poursuivaient encore, moins intenses cependant qu'en 1959.

Le contour des côtes s'était modifié légèrement par suite de quelques éboulements, mais aussi parce que l'océan avait rongé le sable des plages, mettant à découvert certains

récifs comme ceux de Porto do Comprido qui étaient restés enterrés depuis l'éruption de 1957-58.

Au pied de la falaise du phare de Capelinhos, la coulée de lave du 25/8/1958 se trouvait de plus en plus ensablée, les fumerolles de son point d'émission ayant disparu.

Selon des informations obtenues, les fumerolles que nous avions observées au cours des campagnes antérieures, au fond du grand cratère de Caldeira do Faial, avaient elles aussi cessé de fonctionner.

L'évolution des phénomènes volcaniques se poursuivait donc normalement par un refroidissement progressif.

Des deux visites que nous avons réalisées en Octobre 1959 et en Juillet 1961, il nous est possible de tirer les conclusions suivantes:

- 1.^o — Le volcan de Capelinhos est actuellement en période de sommeil. Mais il est impossible de prévoir si ce dernier sera temporaire ou définitif.
- 2.^o — Le refroidissement du volcan est progressif, mais lent et va probablement durer pendant des années.
- 3.^o — L'extrême hétérogénéité comme aussi l'extrême porosité des éléments constitutants, permettent un dégagement constant de fumées, de vapeurs et de gaz à haute température, ce qui a pour effet d'éviter une augmentation de pression en profondeur.
- 4.^o — Le voisinage de l'océan doit contribuer en partie au refroidissement de la zone superficielle.
- 5.^o — La diminution de pression en profondeur est corroborée par la disparition totale de l'activité fumerollienne au fond de la Caldeira do Faial.
- 6.^o — La transformation superficielle de l'appareil volcanique se poursuivra pendant longtemps. Elle est le résultat de plusieurs phénomènes:
 - a) Des affaissements profonds en rapport avec le refroidissement du magma.
 - b) Des affaissements superficiels ou peu profonds dûs à des phénomènes de tassements.
 - c) Des glissements sur les versants, dûs à des pertes d'appui et aussi à des infiltrations d'eaux atmosphériques.
 - d) Des effondrements de falaises dûs au travail de sappe des vagues et des courants marins.
- 7.^o — L'érosion marine va altérer le contour de la côte en rongeant les parties saillantes et en acheminant vers l'Est les sables volcaniques qui iront bénéficier les plages des côtes nord et sud de l'île. L'action de l'érosion marine sur les plages sera retardée par la formation de cordons de galets.
- 8.^o — Tant que les cendres n'auront pas été fixées, elles seront soulevées par le vent et porteront préjudice aux cultures de toute l'extrémité occidentale de l'île où leur épaisseur est relativement grande.

G. ZBYSZEWSKI
e
O. DA VEIGA FERREIRA

Deux visites au Volcan de Capelinhos

PL. I



Cléat U. S. A. F. (1969)

Fig. 1 — Le volcan de Capelinhos à l'extrémité occidentale du grand alignement volcanique de la péninsule de Capelo

G. ZBYSZEWSKI

e

O. DA VEIGA FERREIRA

Deux visites au Volcan de Capelinhos

Pl. II

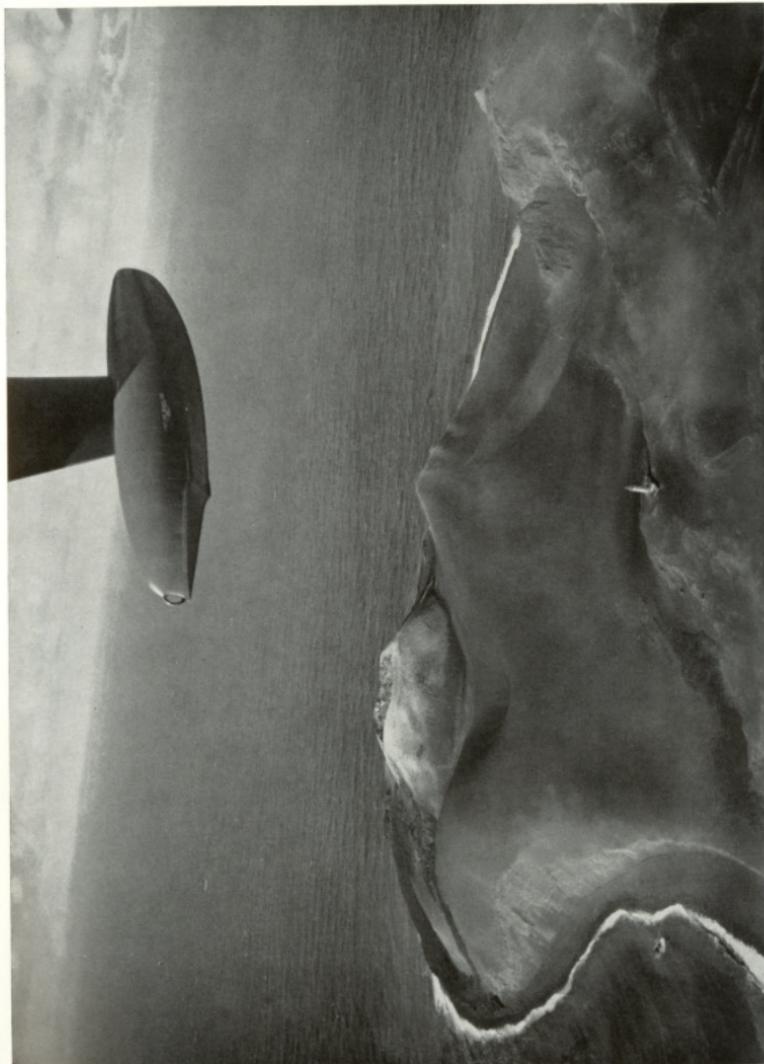


Fig. 1 — Le flanc oriental du volcan de Capelinhos et la coulée du 25/8/1958.

Geod. U. S. A. F. (1969)

G. ZBYSZEWSKI

e

O. DA VEIGA FERREIRA

Deux visites au Volcan de Capelinhos

Pl. III



Gracie U. S. A. F. (1899)

Fig. 1 — Le flanc NW du volcan de Capelinhos



Fig. 1 — Fissures ouvertes sur le versant nord du volcan



Fig. 2 — Fissures ouvertes sur le versant nord du volcan



Fig. 3 — L'intérieur du cratère sur son bord SE.



Fig. 1 — Point d'émission de laves sur le flanc NE du cône central.

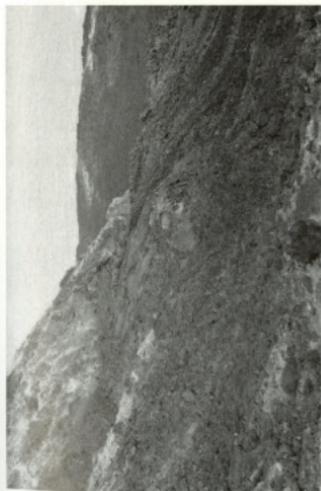


Fig. 2 — Point d'émission de laves sur le flanc NE du cône central.



Fig. 3 — Fumerolles sur le bord sud à l'intérieur du cratère.

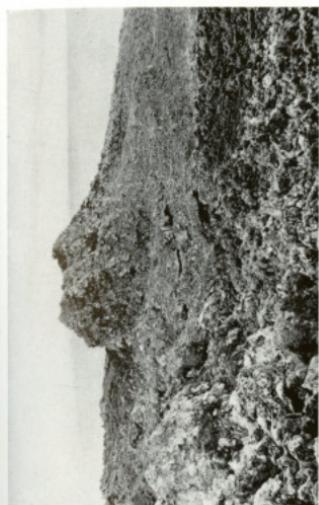


Fig. 2 — Hornito à la surface d'un champ de laves au N de l'appareil volcanique.



Fig. 1 — Affaissements sur le flanc nord de l'appareil volcanique.

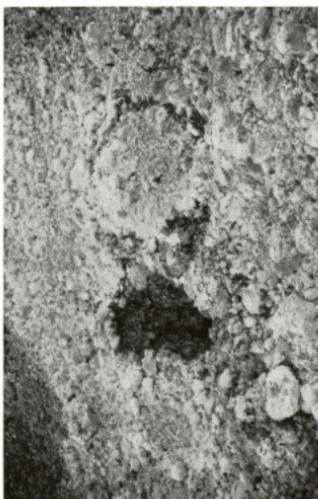


Fig. 4 — Point de sortie de gaz à haute température sur le bord E du cratère.

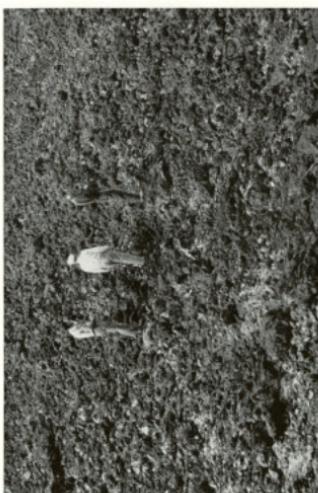


Fig. 3 — Base du cône central sur la face E.

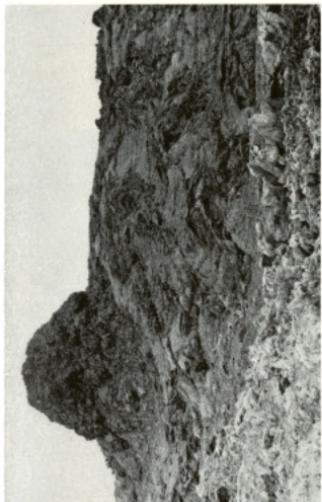


Fig. 2 — Hornito à la surface d'un champ de laves au SW du cone central.

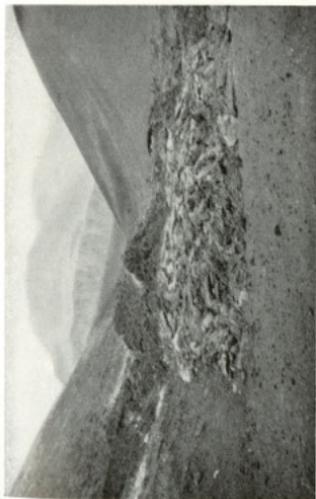


Fig. 3 — Laves cordées dans l'atrium au SW du cone central.



Fig. 4 — Lave cordée sur le versant occidental du volcan.



Fig. 5 — Laves cordées dans l'atrium au SW du cone central.



Fig. 2 — Hornito éventré au SW du cône central.



Fig. 3 — Laves cordées dans l'atriumau S W du cône central.



Fig. 4 — Lave scoriacée sur le flanc W du volcan.



Fig. 5 — Lave scoriacée sur le flanc W du volcan.



Fig. 1 — La falaise de Capelinhos et la coulée de lave du 23/8/1958.



Fig. 3 — En 1961 la végétation commence à renaitre.



Fig. 2 — Aux environs du volcan les champs couverts de cendres.



Fig. 2 — Point d'émission de la coulée de laves du 23/8/1958 au pied de la falaise du Phare de Capelinho



Fig. 3 — Fumerolles auprès du point d'émission de la coulée du 23/8/1958.

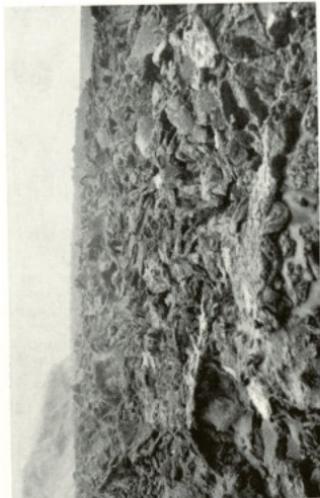


Fig. 4 — Surface scoriacée de la coulée du 23/8/1958 au pied de la falaise de Capelinhos.



Fig. 5 — Fumerolles auprès du point d'émission de la coulée du 23/8/1958.

ACOUSTIC STUDIES AT CAPELINHOS VOLCANO, AZORES⁽¹⁾

BY

ADRIAN F. RICHARDS⁽²⁾, J. B. HERSEY⁽³⁾ and WILLIAM T. MCGUINNESS⁽⁴⁾

ABSTRACT

Observations of eruptive activity at Capelinhos Volcano in July 1958 were correlated with tape recorded airborne sounds. Spectrographic analyses (5 to 500 cps) of the recordings show that the sound of lava squirted above the crater is essentially broadband below 500 cps. Sounds of explosions within the crater have maximum energy below 50 cps and little energy above a few hundred cps. Flashing arcs of short duration were tape recorded for the first time; they show a recorded frequency response between 30 and 50 cps.

A spectrograph analysis of underwater sounds tape recorded in June 1958 shows sounds similar to the crater explosions, except that the underwater sounds are accompanied by reverberations.

Recording instrumentation and techniques are presented together with a brief discussion of analytical methods.

INTRODUCTION AND ACKNOWLEDGMENTS

News of an underwater eruption at Faial Island (Ilha do Faial) in September 1957 prompted one of us to try and take advantage of this remarkable opportunity to record the sounds of an active submarine volcano in eruption as part of a continuing investigation of volcanic acoustics initiated in 1952 at the Scripps Institution of Oceanography in California [SNODGRASS and RICHARDS, 1956; RICHARDS and SNODGRASS, 1958; RICHARDS, 1960, paper presented to the International Volcanological Association, I. U. G. G. General Assembly at Helsinki].

The first acoustic studies of Capelinhos Volcano were conducted by McGuinness at Richards' suggestion [MCGUINNESS, 1958, unpublished manuscript]. Later Hersey became interested in this study and scheduled a ship to briefly visit the volcano in June 1958 to record underwater sounds. In July 1958, the Cranbrook Institute of Science expedition to Faial was organized to include a study of both airborne and underwater sounds; Richards participated on this trip as a Field Representative of the Institute.

Ing. D. Antonio de Castello-Branco requested a paper on these studies at Capelinhos Volcano for this Symposium in 1959. This request stimulated all of us who participated in the investigation to combine efforts in a joint paper summarizing our work.

We wish to thank the numerous Portuguese officials, scientists, and technicians who made possible and assisted in different phases of our studies. We are particularly grateful to Col. José Agostinho, Comdt. Monteiro, Senhor José Couto, Dr. A. A. de Mendonça Dias, Ing. Frederico Machado, and Cdr. Chaby Lana for their help. Recording equipment used on the Cranbrook expedition was kindly loaned by the Scripps Institution

⁽¹⁾ Contribution of the Woods Hole Oceanographic Institution No. 1221. This paper represents results of research in part carried out by the Woods Hole Oceanographic Institution under contract Nour 1367 with the Office of Naval Research. The opinions and assertions contained herein are our own and are not officially endorsed by organizations within the U. S. Navy Department.

⁽²⁾ U. S. Navy Electronics Laboratory, San Diego, California, U. S. A. Now at the Office of Naval Research, Branch Office, American Embassy, London, England.

⁽³⁾ Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, Massachusetts, U. S. A.

⁽⁴⁾ Lamont Geological Observatory, Columbia University, Palisades, New York, U. S. A. Now with Alpine Geophysical Associates, Inc., Norwood, New Jersey.

of Oceanography, Naval Research Laboratory, Navy Hydrographic Office, and the U. S. Air Force at Lages Field, Terceira. Vibrolyzer analyses of the Woods Hole and Cranbrook magnetic tape recordings were made by Mr. William Watkins of the Woods Hole Oceanographic Institution. Dr. William Benson, National Science Foundation, assisted in obtaining borrowed equipment.

This paper was completed while Richards was a National Academy of Sciences-National Research Council postdoctoral resident research associate at the U. S. Navy Electronics Laboratory in San Diego, California. He expresses appreciation to Mr. John Mulford and the Cranbrook Institute of Science for making it possible for him to visit the Capelinhos eruption.

OBSERVATIONS AND RECORDING EQUIPMENT

McGuiness' observations

McGuiness arrived at Faial on October 18, 1957, aboard the Portuguese Patrol Vessel *Principe*. Magnetic tape recordings were made from the *Principe* at five localities 960 m to 19 km from the volcano. Two stations were made on land at 0.8 and 2.4 km from the volcano on October 19.

At the time of this study the volcano had an approximate altitude of 100 m above sea level and a width of about 800 m at its base; it was horseshoe-shaped with an opening to the southwest that was flooded by the sea. Activity of the volcano consisted of ejection of ash, cinder, and steam from the crater accompanied by explosions.

Equipment consisted of a barium titanate sonobuoy hydrophone directly coupled to a Model PT-6-JO Magneccorder amplifier and a Model PT-6-AH Magneccorder tape recorder, which was operated at a tape speed of 7.5 inches per second. Recordings were monitored with the Magneccorder speaker and a VU (recording level) meter. The system had a flat frequency response from 50 to 2000 cycles per second (hereafter abbreviated to cps). Electrical power was supplied by a 110 volt, 60 cycle dynamotor operated from 24 volt storage batteries.

Woods Hole Oceanographic Institution observations

The U. S. Coast Guard Cutter *Yamacraw*, operating for the Woods Hole Oceanographic Institution, arrived off the west end of Faial on the morning of June 30, 1958, for a one-day study of underwater acoustics. This investigation, under the direction of Hersey, was a part of the International Geophysical Year program, *Yamacraw Cruise 10*. Magnetic tape recordings were made at localities about 3.7, 7.4, and 14.8 km approximately south of the volcano (Fig. 1).

Activity of the volcano at the time of the recordings consisted of low intensity (Strombolian-type) explosions, the noise of which was heard on land [MACHADO, 1959, written communication].

Equipment consisted of an AX-58 hydrophone directly coupled to a Woods Hole Oceanographic Institution suitcase amplifier designed by Willard Dow and an Ampex Model 307 tape recorder, which was operated at a tape speed of 30 inches per second. The system had a frequency response of 10 to 10,000 cps ± 3 db. Electrical power for the amplifier and recorder was obtained from a DC-AC motor generator.

At each station the ship was made acoustically quiet and the hydrophone was lowered about 40 m below the sea surface.

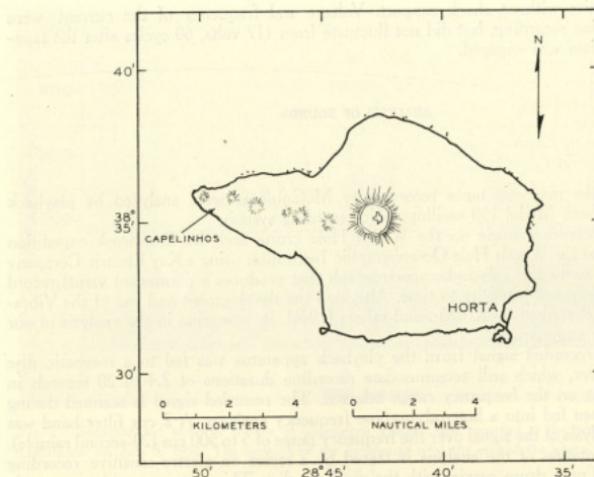


Fig. 1.—Outline map of Faial Island, Azores. Capelinhos Volcano is at the extreme west end of the island.

Cranbrook Institute of Science observations

The three-man Cranbrook Institute of Science expedition, under the leadership of Dr. Willard H. Parsons, visited Faial Island between July 7 and 11, 1958 [PARSONS AND MULFORD, 1958; PARSONS, MULFORD, and RICHARDS, 1958]. Magnetic tape recordings of airborne sounds were made by Richards from the base of Capelinhos Lighthouse (Fig. 1) in the afternoon of the 8th. An unsuccessful attempt to record underwater sounds from a Portuguese patrol boat west of the volcano was made on the 9th; it was later discovered that the preamplifier was dead because a transistor was not in proper contact.

Capelinhos Volcano during the time of the recordings emitted moderately loud booming or rumbling sounds associated with explosions within the crater. These explosions usually did not propel ejecta above the crater rim. A second sound heard was the "woosh" of incandescent lava squirted from the vent and rising about 100 m above the rim. It was almost immediately followed by the clattering of partially solidified (cow-dung) bombs falling on the spatter cone.

Equipment consisted of a condenser-type microphone transformer coupled to a new Ampex 601 amplifier and tape recorder, which was operated at a tape speed of 7.5 inches per second. Electrical power was supplied by 110 volt, 60 cycle inverter operated from a 12 volt storage battery. A barium titanate sonobuoy hydrophone and a Fisher TR-1 preamplifier were substituted for the microphone when attempting to record underwater sounds. The equipment had an essentially flat frequency response from about 40 to 5000 cps.

When recording, the microphone was suspended slightly overhanging the edge of the cliff west of Capelinhos Lighthouse. The microphone boom rested directly on Cape-

inhos pyroclastics without shock support. Voltage and frequency of the current were monitored during recording, but did not fluctuate from 117 volts, 60 cycles after the tape-drive mechanism was engaged.

ANALYSIS OF SOUNDS

Methods

All of the magnetic tapes recorded by McGuinness were analyzed by playback through Sanborn Model 150 oscillographic recording system.

Tape recordings made on the Woods Hole cruise and the Cranbrook expedition were analyzed at the Woods Hole Oceanographic Institution using a Kay Electric Company Vibralyzer, an audio and sub-audio spectrograph that produces a permanent visual record relating frequency and intensity to time. Although the development and use of the Vibralyzer has been described by KOENIG and others [1946], its operation in the analysis of our tapes is briefly summarized.

A tape recorded signal from the playback apparatus was fed to a magnetic disc in the Vibralyzer, which will accommodate recording durations of 2.4 to 20 seconds in steps depending on the frequency range selected. The recorded signal is scanned during analysis and then fed into a heterodyne-type frequency analyzer. A 2 cps filter band was used in the analysis of the signal over the frequency range of 5 to 500 cps (20-second sample). A visual presentation of the analysis is traced by a stylus on electro-sensitive recording paper mounted on a drum coaxial with the magnetic disc. This system provides automatic time synchronization between the recording paper and the signal being analyzed. The horizontal axis of the Sonogram paper is linear with respect to time and covers a 20-second period. A 11-second portion of the records was selected to illustrate this paper. On the vertical axis of the Sonogram the presentation of frequency also is linear and was accurately determined by calibration using a precision signal generator a few days before our analyses. Sound intensity on the paper is shown by the relative writing density; a darker trace represents a stronger signal than a lighter trace.

Discussion of results

Analysis of the McGuinness tapes resulted in inconclusive results. Sounds attributable to volcanic activity apparently were not recorded and it is believed that the equipment was not functioning properly.

Sounds propagated through the air and recorded by the Cranbrook expedition were identified with visible volcanic activity. Three distinct types of sounds or subsonic disturbances detected at the volcano on July 8 are shown in a Sonogram (Fig. 2). Near the arbitrary 5 second mark, the sharp-fronted sound pulse with practically no high frequency attenuation represents the "woosh" of lava suddenly squirted from the vent. The relatively louder sound of longer duration, beginning at the 8 second mark and showing maximum energy below 50 cps with attenuation of frequencies above 300 cps, represents the deep-throated rumble of an explosion occurring within the crater. It is noteworthy that energy below about 40 cps was sufficiently intense to more than compensate for the effects of instrumental attenuation below this frequency.

It was noticed during the recording period that the VU meter of the tape recorder frequently showed a relatively strong signal of short duration although no sound was heard.

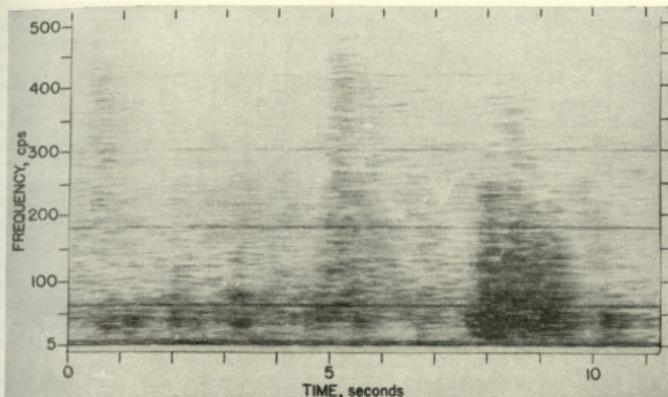


Fig. 2.—Sonagram of airborne sounds of Capelinhos Volcano tape recorded at the base of Capelinhos Lighthouse on July 8, 1958. The location of the lighthouse is at the end of the arrow head shown in figure 1.

Fortunately, light-colored clouds usually were located on the line of sight beyond the crater rim. At the instant before the needle of the VU meter registered the presence of this signal an arcuate pressure shock wave traveling rapidly away from the crater could be faintly seen on the clouds. These arcs were not observed before electronic notification of their presence. Shock waves of this type are known as flashing arcs [PERRET, 1912; 1950, p. 81-82] and they are not uncommon when explosions occur during periods of favorable atmospheric conditions; an attempt to record the Capelinhos flashing arcs on color motion picture film was unsuccessful. They have not previously been tape recorded. The recorded frequency of the shock waves was between about 30 and 50 cps and it is surprising that they were never heard, although occasionally they were felt. It is possible that the shock waves were received by the moving-coil microphone from mechanical vibration of the ground rather than by propagation through the air, which may explain why they were not heard? These disturbances have a duration of about one-half second. A more or less typical disturbance is shown at 10.2 seconds in figure 2. This Sonagram shows that a shock wave appears in one instance to have preceded a rumble (shown at the 8-second mark) by about 0.3 seconds. A Sonagram of airborne sounds recorded a few minutes earlier than those in figure 2 shows that energy below about 60 cps was nearly continuous with respect to time (Fig. 3). These low frequency sounds may represent numerous individual shock waves or may result from some other cause.

Sounds propagated through the sea and recorded during the Woods Hole cruise were of three types. The first was continuous but complex sound. The second consisted of sharp pulses rich in low frequencies followed by reverberating echoes of a deep-bass sound. Sounds of the third type were very sharp reports similar to the noise of gunfire or underwater explosions, which did not originate from the *Yamacrav*. These "shot-like" explosions were remarkable because they were single pulses; bubble pulses were absent.

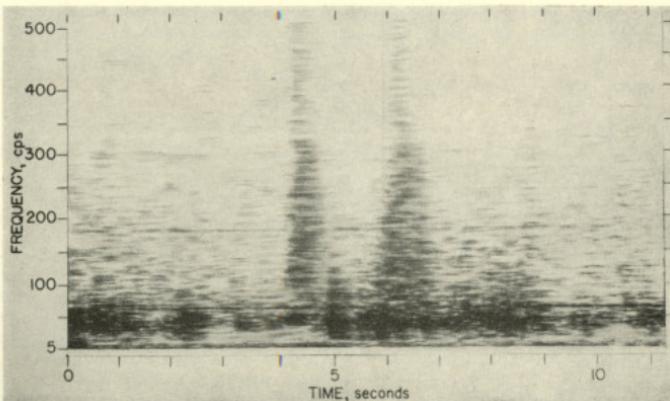


Fig. 3—Sonogram of airborne sounds **of** Capelinhos Volcano tape recorded at the base of Capelinhos Lighthouse on July 8, 1958.

An analysis of two underwater sounds is shown in figure 4. The sounds at 4.5 and 6.5 seconds in this Sonogram appear similar to the airborne rumble previously discussed. Both airborne and underwater sounds have durations of about 2 seconds, are rich in frequen-

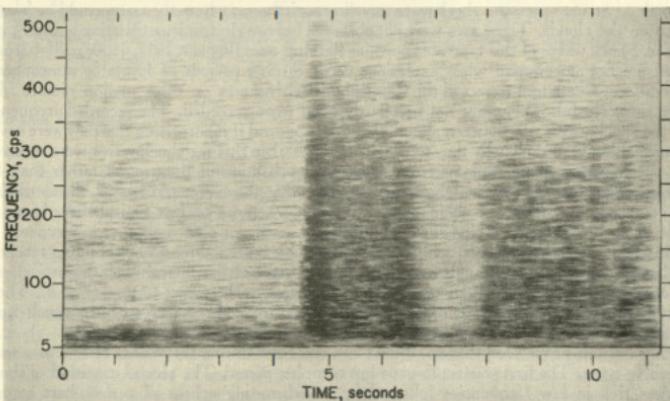


Fig. 4—Sonogram of underwater sounds tape recorded south of Capelinhos Volcano from the *Yamashiro* on June 30, 1958.

cies lower than 50 cps, and showed less energy at frequencies above a few hundred cycles. The sound beginning at 4.5 seconds resembles two «woosh» sounds (compare with the one beginning at 4.5 seconds in Fig. 2). A more probable explanation is that this sound shows both a direct arrival as well as a second arrival (beginning about 6.1 seconds) resulting from a bottom reflection. The sound between 8 and 11 seconds in figure 4 is relatively complex. It appears to show a first arrival and at least two reflections. The Sonagram also shows nearly continuous energy below about 40 cps, the origin of which is unknown.

The presence of multiple reflections, particularly clear for the shot-like sounds, suggested that information on the depth and range of the explosion could be obtained. Consequently, a Sanborn analysis of several shot-like explosions relating intensity to time for selected frequencies was made at the Woods Hole Oceanographic Institution by Mr. Stanley Bergstrom in June 1960. Using these records, Mr. Robert J. Bolam, U. S. Navy Electronics Laboratory, solved three simultaneous equations involving the depth and range, assuming a sound speed in water of 4850 feet per second (5320 km/hour), for the first arrival and two reflections of two different explosions. For both explosions the water depth was computed to be between 518 and 555 fathoms (952 and 1020 m) and the distance to the ship between 0.97 and 1.2 nautical miles (1.8 and 2.2 km). This computation additionally assumes a flat bottom and that the explosion originated on the bottom. At the time this sound was recorded the *Yamacraw* was located about 8 miles (15 km) from the volcano and the water depth was about 500 fathoms or 910 m (from U. S. Hydrographic Office chart no. 1736). The only other ship observed in the vicinity was 22 km distant. No other sounds were heard aboard the *Yamacraw* that would suggest a source for the shot-like sounds close to the ship, nor was any activity seen at the surface that would corroborate Bolam's computed range. We are of the opinion that the shot-like sounds probably originated close to or within the volcano. One can appeal to the known rough topography to account for the spacing of the multiple reflections, but we have not been able to construct a satisfactory model to explain them in detail.

REFERENCES

- KOENIG, W., DUNN, H. K., and LACY, L. Y. (1946) — The sound spectrograph. *Acoustical Soc. Am. Jour.*, vol. 18, p. 19-49.
- PARSONS, W. H. and MULFORD, J. W. (1958) — Capelinhos Volcano, Fayal Island, Azores. *News Letter, Cranbrook Inst. Sci.*, vol. 28, no. 2, p. 10-21.
- PARSONS, W. H., MULFORD, J. W., and RICHARDS, A. F. (1958) — Capelinhos Volcano, Fayal Island, Azores (Abstract). *Geol. Soc. America Bull.*, vol. 69, p. 1627-1628.
- PERRET, F. A. (1912) — The flashing arcs: a volcanic phenomenon. *Am. Jour. Sci.*, vol. 184, p. 329-333.
- _____. (1950) — Volcanological observations. *Carnegie Inst. Washington*, pub. 549, 162 p.
- RICHARDS, A. F. and SNODGRASS, J. M. (1958) — Volcano acoustics (Abstract). *Am. Geophy. Union Trans.*, vol. 39, p. 529.
- SNODGRASS, J. M. and RICHARDS, A. F. (1956) — Observations of underwater volcanic acoustics at Bárcena Volcano, San Benedicto Island, Mexico, and in Shelikof Strait, Alaska. *Am. Geophy. Union Trans.*, vol. 37, p. 97-104.

**RELATÓRIO DA MISSÃO TÉCNICA DO MINISTÉRIO DAS OBRAS PÚBLICAS
PARA REMEDIAR AS PRIMEIRAS CONSEQUÊNCIAS DA ERUPÇÃO VULCÁ-
NICA DA ILHA DO FAIAL (*)**

por

VIRIATO CAMPOS
FREDERICO MACHADO
JOSÉ A. SACADURA GARCIA

I

A erupção do vulcão da ilha do Faial, na ponta dos Capelinhos, mereceu do Governo a melhor atenção desde o seu início, pois foi logo estudada por uma missão científica do Ministério da Educação Nacional e, seguidamente, por uma missão geológica do Ministério da Economia, ambas coadjuvadas por um técnico do Serviço Meteorológico Nacional.

Quando começaram a fazer-se sentir os efeitos da erupção na população que habita na zona limítrofe, Suas Excelências os Ministros do Interior e das Obras Públicas concederam as verbas necessárias para se resolverem imediatamente os problemas sociais de emergência que então se criaram e que constam dos relatórios remetidos pelo Ex.^{mo} Governador do Distrito a Sua Excelência o Ministro do Interior.

As últimas manifestações eruptivas, porém, agravaram uma parte dos problemas cuja resolução estava em curso e, como alguns deles só a longo prazo e com importante ajuda financeira do Estado poderão ter solução razoável, entendeu o Governo ser oportuno constituir, pelo Ministério das Obras Públicas, uma missão técnica com os objectivos fixados em portaria, em cumprimento do que a missão procedeu aos necessários trabalhos e submete à consideração superior o presente relatório.

II

O vulcão da ilha do Faial, que tinha estado adormecido desde 1673, entrou novamente em actividade a 27 de Setembro de 1957. Desde o dia 21 sentiram-se nas povoações mais ocidentais da ilha abalos de terra muito numerosos, mas pouco intensos.

A erupção manifestou-se inicialmente em várias chaminés submarinas situadas cerca de um quilómetro ao largo do extremo oeste da ilha do Faial (onde está o farol dos Capelinhos). Começou por um simples fervilhar da água do mar; mas, três dias depois, a actividade aumentou muito, havendo jactos negros de cinza vulcânica, até alturas da ordem dos 1000 metros, e uma nuvem de vapor de água que subia, por vezes, a mais de 4 quilómetros. Os jactos de cinza (compreendendo «apilli», areia e pó) incluíam fragmentos incandescentes e eram geralmente acompanhados de descargas eléctricas com os respectivos trovões.

(*) Relatório apresentado a S. Ex.^a o Ministro das Obras Públicas em 15 de Janeiro de 1958.

O carácter explosivo da erupção parece resultar da entrada de água do mar na chaminé do vulcão. A água, em contacto com a lava ao rubro, entra em ebulição e, quando a pressão do vapor excede o peso da água e materiais soltos que estão por cima, é tudo arremessado a grande altura, juntamente com fragmentos de lava mais ou menos pulverizada e blocos arrancados às paredes da chaminé. Depois de cada explosão a água volta a entrar e, passado algum tempo, o fenómeno repete-se. Assim se explicaria a intermitência eruptiva que, durante semanas, apresentou uma periodicidade de cerca de duas horas.

A maior parte dos produtos projectados caía junto da chaminé, tendo-se formado logo no princípio de Outubro um cone vulcânico de areia e escórias com cerca de 800 metros de diâmetro e 100 de altura. Os produtos mais finos eram, porém, arrastados pelo vento a alguns quilómetros de distância e tombavam em forma de chuva de cinzas (por vezes misturadas com água), a qual, devido à situação do vulcão, só caía em terra quando o vento soprava do quadrante oeste (entre noroeste e oés-sudoeste).

Um outro efeito das explosões foi a dispersão no ar dumha fina poeira (mais ou menos acompanhada de cristalitos deliquescentes de cloreto de sódio) a qual constituiu *núcleos de condensação* que facilitavam a formação das gotas de chuva. Por este motivo a *pluviosidade daquela região aumentou mais de 10 vezes* no último trimestre de 1957, conforme se verificou no posto meteorológico provisório que, em meados de Outubro, foi instalado a 2 quilómetros do vulcão.

A erupção manteve-se com forte intensidade até 29 de Outubro. Nesta data pareceu extinguir-se e a ilhotá formada em volta da chaminé activa afundou-se no mar.

Em Novembro a actividade foi de novo aumentando progressivamente tendo atingido outro máximo na primeira quinzena de Dezembro. Surgiu um segundo cone vulcânico e, pela acção do mar, formou-se um istmo de areia que uniu a ilhotá à falésia da ilha do Faial.

A 16 de Dezembro, depois de uma noite de chuvas torrenciais e abundante queda de cinza, a actividade explosiva cessou pela segunda vez. À noite começou a efusão de lava que correu sobre a areia do istmo para o lado norte. A corrente de lava era alimentada por uma fractura onde havia manifestações do tipo estromboliano (com emissão a pequena altura de fragmentos de lava incandescentes sem emissão apreciável de vapor de água).

A 19 de Dezembro a actividade passou a ter novamente carácter altamente explosivo com jactos de cinza que subiam até 800 metros, mas agora misturados com abundantes fragmentos incandescentes.

As 17 erupções ocorridas nos Açores, desde o povoamento das ilhas, tiveram as características indicadas no Anexo I. (Tipo e duração das erupções terrestres e marítimas dos Açores).

Vemos que as erupções submarinas tiveram sempre carácter explosivo e duração que nunca excedeu um mês. Algumas destas erupções deram origem a ilhotas de materiais soltos que foram destruídas rapidamente pelas vagas do mar (e talvez por algum afundimento subsequente).

A maior parte das erupções terrestres foram predominantemente efusivas e duraram em geral alguns meses. Excepcionalmente a erupção do Pico em 1562 atingiu a duração de 2 anos.

A única base de que dispomos para antever o futuro da actual erupção dos Capelinhos é a comparação com os anteriores fenómenos vulcânicos dos Açores. Esta é também a opinião do Tenente-Coronel José Agostinho, Director do Serviço Meteorológico Regional dos Açores, revelada numa palestra proferida no Rádio Clube de Angra, em princípios de Dezembro.

Se a erupção tivesse carácter submarino certamente não duraria mais que algumas semanas. A emissão da corrente de lava de 16 de Dezembro mostra, porém, que a actividade está evoluindo para um tipo terrestre, certamente por estarem as chaminés muito perto da costa, num local onde o mar tinha anteriormente a profundidade de 70 metros apenas. Nesta hipótese é de recerar que a duração se prolongue por alguns meses, não parecendo contudo que atinja os 2 anos.

Considerando a tendência para o tipo efusivo que se verifica nas erupções terrestres, não parece também de esperar que aumente a intensidade da emissão de cinza. Mesmo com explosões moderadas pode, porém, cair muita cinza em terra, bastando para isso que o vento se fixe no quadrante oeste — o que poucas vezes sucede. (Ver anexo II — Frequência do vento na Horta em meses representativos).

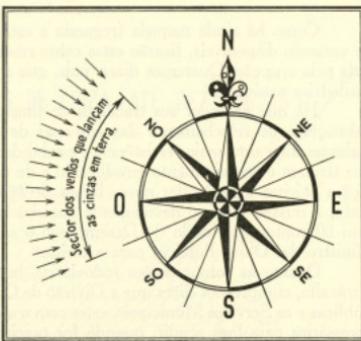


Fig. 1

III

Quando começaram a cair cinzas, em grande abundância, nas habitações, nas terras de cultura e nas comunicações rodoviárias que servem as povoações de Canto e Norte Pequeno da freguesia do Capelo, destruindo alguns telhados das casas e queimando total ou parcialmente a vegetação, criaram-se os graves problemas a seguir enumerados que decreto manterão a sua actualidade enquanto a erupção continuar:

- 1 — Dar alojamento às populações sinistradas;
- 2 — Restabelecer as vias de comunicação danificadas e defender a estabilidade das habitações;
- 3 — Criar actividade económica para as populações que viram destruídas as suas propriedades rústicas.

Qualquer destes problemas tem sido atacado com proficiência pelo Ex.^{mo} Governador do Distrito, devidamente auxiliado pelos serviços oficiais da Horta, que lhe deram a sua total e melhor colaboração.

Efectivamente, procedeu-se à transferência de pessoas e haveres das zonas onde a actividade vulcânica podia oferecer perigo, executaram-se trabalhos de reparação e conservação das comunicações rodoviárias e de segurança das habitações, estes últimos ainda em curso, e procurou-se recuperar alguns terrenos de cultura — baladadamente, é certo, devido à queda de novas cinzas.

O facto de haver algumas casas desabitadas na periferia da povoação do Capelo facilitou o alojamento de algumas das 164 famílias mais afectadas^(*) cuja distribuição por «lugares» é a que se apresenta:

Norte Pequeno.....	61 famílias com 292 indivíduos
Canto	69 » » 254 »

(*) Resultado do inquérito feito pelo Governo Civil.

Rua da Igreja (até à Igreja) ... 34 famílias com 134 indivíduos

Total 164 » » 680 »

Como há ainda naquela freguesia a estância termal do Varadouro com habitações de veraneio disponíveis, ficarão estas como reserva, para a hipótese de alastrar a zona atingida pela erupção. Queremos dizer, pois, que o problema da habitação não tem por agora verdadeira acuidade.

Há que proceder aos trabalhos de limpeza de cinzas acumuladas nos telhados das habitações, de refechamento das empenas de pedra seca das casas mais pobres — para assim se obter uma maior resistência e estabilidade das construções — de refazer os telhados que tenham o madeiramento envelhecido e de defender, com a abertura de valas, as habitações sujeitas à ação das novas linhas de água que as chuvas anormais abriram. Para tanto, a missão técnica, devidamente autorizada pela portaria que a constituiu, reforçou com 60 contos do Fundo do Desemprego o subsídio já concedido por Sua Exceléncia o Ministro das Obras Públicas para o efeito.

Quanto às comunicações rodoviárias, hoje já desobstruídas de molde a permitirem o trânsito, cumpre-nos dizer que a Divisão de Construção de Estradas, a Direcção de Obras Públicas e os Serviços Municipais, estes com o auxílio normal do Estado, dispõem dos meios necessários para lhes acudir, quando for preciso.

Sobre a ação a desenvolver pela população que ficou, provisoriamente pelo menos, sem possibilidade de cultivar as suas terras, há uma série de obras na região, previstas nos planos de execução do Ministério das Obras Públicas, que por si só lhe garantem trabalho para 2 a 3 anos, isto é, para todo o tempo em que o vulcão, provavelmente, estará em actividade.

Um fenómeno da natureza do dos Capelinhos cria estados de espírito na população que lhe faz diminuir extraordinariamente as suas faculdades de trabalho, quer porque perde o sentimento de segurança e tem medo do futuro, quer porque, em pensamentos e conversas, vive constantemente a sua dor; vem-lhe uma apatia que quase a torna indiferente a tudo e julga que só lhe são devidas dádivas.

Por isso, devemos aqui focar que, além da ação material que se desenvolveu a favor das populações atingidas o Ex.^{mo} Governador do Distrito soube exercer sobre elas uma ação moral, comparecendo no Capelo nos momentos de maior pânico, e preferindo, como convinha, que fossem os próprios sinistrados a angariar pelo seu esforço os meios de sustento, em vez de lhes conceder subsídios — o que só aconteceu nos casos de absoluta incapacidade para o trabalho.

Pela carta (não publicada) onde se localizam as obras públicas em curso ou a iniciar, vemos como estas são suficientes para a absorção da totalidade de mão-de-obra disponível naquele espaço de tempo. Contudo, no sentido de se obter um melhor rendimento de trabalho, proporá a missão técnica que a verba prevista para a obra pertencente aos Melhoramentos Rurais, de construção do C. M. entre a E. N. 1 — I.^a (Trupes) e a Lagoa Verde, seja reforçada em 1958, por ser uma obra situada muito próximo das povoações do Capelo e não exigir transporte automóvel para deslocação do pessoal.

Ficará ainda como reserva a execução dos futuros trabalhos de «Correcção e reparação do troço da E. N. 1-1.^a que do lado da Horta antecede o cruzamento com a E. N. 1-2.^a» que a todo o tempo a Junta Autónoma das Estradas poderá antecipar.

IV

Mas os prejuízos mais graves que houve na freguesia do Capelo, os que deixaram verdadeira angústia e desânimo nas famílias sinistradas e que criaram uma situação inédita

ZONA OESTE DA
ILHA DO FAIAL

DELIMITAÇÃO DAS MANCHAS DE CINZA ATÉ DEZ° DE 1957

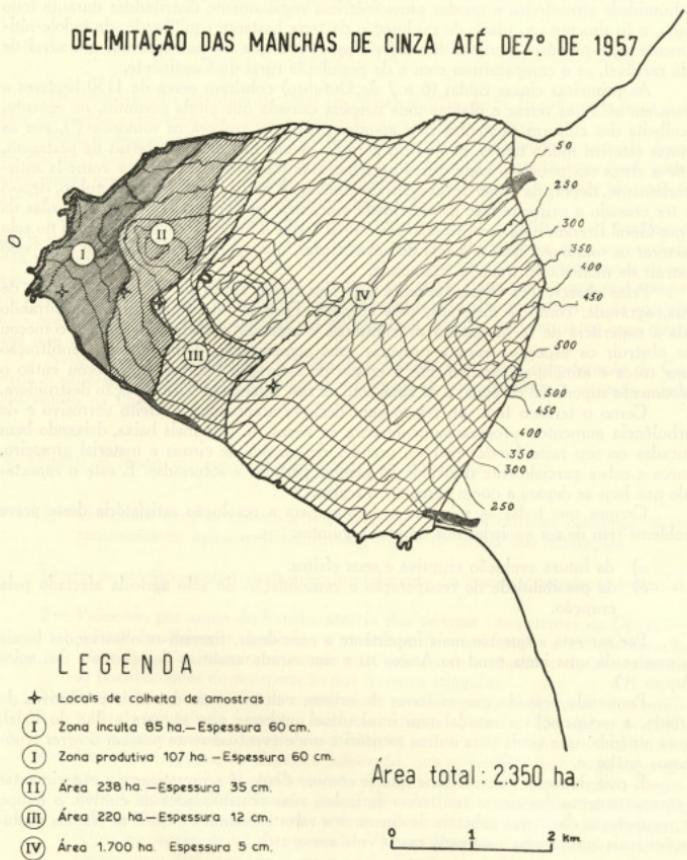


Fig. 2

nos nossos dias, foram, sem dúvida, os que se verificaram na agricultura, tanto pela sua extensão — cerca de 2350 ha — como porque, nalgumas zonas, terão carácter duradouro.

Pode afirmar-se que a população rural da região dos Capelinhos se dedica, na sua totalidade, ao amanho da terra, embora uma pequena percentagem se empregue também na pesca. Da terra vive, explorando directamente.

A natureza dos solos, o seu nível de fertilidade, a existência de um elevado teor de humidade atmosférica e quedas pluviométricas regularmente distribuídas durante todo o ano, e finalmente um plano de exploração da terra bastante equilibrado, de índole nitidamente agro-pecuária, permitia-lhe auferir proveitos que lhe asseguravam um nível de vida razoável, se o compararmos com o da população rural do Continente.

As primeiras cinzas caídas (6 e 7 de Outubro) cobriram cerca de 1130 hectares e formaram sobre as terras e plantas uma delgada camada que ainda permitiu, no entanto, a colheita das culturas existentes sem grandes prejuízos, embora os «outonos»^(*), por as plantas estarem muito tenras, se tenham perdido na sua maioria. Nas terras de pastagem, onde a cinza era pouca, o gado que a princípio não lhe toucou, acabou por comê-la satisfatoriamente, depois da ação de lavagem das chuvas. A partir do dia 31 de Outubro, depois de ter cessado a primeira fase da actividade vulcânica, os Serviços Técnicos Agrícolas da Junta-Geral fizeram uma escarificação em muitas terras a fim de incorporar a cinza no solo e semear os «outonos». Mas a queda de novas cinzas, que agora atingiram maior área, veio destruir de momento o trabalho executado.

Pelas observações feitas, supomos que pior que a chuva de cinzas foi a chuva de água, agravada, como já dissemos, pela erupção. Quando esta chuva caiu, encontrando toda a superfície de terra coberta de contínuas e espessas camadas de cinzas, começou por obstruir os espaços vazios e provocar uma compactação. Diminuiu-se a infiltração nuns casos e atingiu-se rapidamente o estado de saturação noutras, e começou então o escoamento superficial da água, e da água cem cinzas. Iniciou-se assim a ação destruidora.

Como o terreno tem um relevo com declives acentuados, o efeito corrosivo e de turbulência aumentou progressivamente para as zonas de cota mais baixa, deixando bem vincadas no seu rasto fundas ravinas, grandes deposições de cinzas e material grosseiro, muros e sebes parcialmente destruídos e plantas partidas e soterradas. É este o espectáculo que hoje se separa a quem percorrer a região.

Cremos que todas as soluções a encarar para a resolução satisfatória deste grave problema têm de ser apoiadas nos estudos seguintes:

- a) da futura evolução eruptiva e seus efeitos.
- b) da possibilidade de recuperação e consolidação do solo agrícola afectado pela erupção.

Por ser esta a questão mais importante a considerar, fizeram-se observações locais de que se dá uma ideia geral no Anexo III e um estudo analítico das cinzas e dos solos (Anexo IV).

Parecendo provado que as terras de origem vulcânica são das mais produtivas do mundo, a recuperação a estudar tem incalculável interesse não só para a ilha do Faial, agora atingida, mas ainda para outros territórios onde eventualmente possam ocorrer fenómenos análogos.

É pois da maior conveniência que se comece desde já a investigar e a experimentar o comportamento das cinzas nas terras agrícolas, suas possibilidades de cultivo, o tempo de recuperação das terras cobertas de cinzas, seu valor económico e quais as plantas e adubações mais apropriadas para cada caso (Vide anexo III).

(*) É designação, usada nos Açores, das culturas de leguminosas utilizadas como adubo verde em sideração ou aproveitadas para alimentação do gado.

Em face do estudo morfológico feito no campo e das análises realizadas, pode concluir-se, com as necessárias reservas, que as cinzas apresentam boas condições físicas e químicas para um bom desenvolvimento vegetativo, o que foi plenamente confirmado por experiências preliminares efectuadas, a partir de 14 de Outubro, na Estação Agrária da Junta-Geral, com culturas feitas em camadas de cinzas de 15 a 20 cm de espessura e numa mistura de 10 cm de cinza com terra (Ver anexo IV).

PROPOSTA

Desde a erupção de Maio de 1808 em Urzelina (ilha de S. Jorge) que a terra açoriana não sofria a deposição de cinzas vulcânicas ou o derrame de lava.

Nada vimos escrito sobre a acção social que se teria desenvolvido naquela época em que os transportes marítimos eram difíceis e morosos. Mas pouco importará talvez saber, agora que a organização política e administrativa da Nação e os meios técnicos de que dispomos são muito diferentes, como se teria actuado então.

Quis a Providência que em território nacional se esteja a verificar um fenómeno, que é, a um tempo, causador de miséria e dor, de actos de abnegação e altruísmo e dadi-voso para a Ciência. Se parte do nosso território foi, e continua a ser, afectada assim na sua vida, à margem da acção dos homens e perante a sua impotência, parece-nos que competirá à Nação contribuir para a resolução dos problemas que finalmente advierem da erupção dos Capelinhos e receber as manifestações de grandeza moral e porventura os bens materiais que dela resultem.

Neste espírito, a missão tem a honra de submeter à superior consideração do Governo o programa da actuação que julga dever seguir-se para enfrentar a situação criada pelo vulcão da ilha do Faial:

a) Durante o tempo em que o vulcão estiver em actividade

- 1 — Continuar com os trabalhos públicos, em curso, de estradas nacionais, abastecimentos de água, melhoramentos rurais e de defesa das habitações.

(Assim se proporcionará trabalho contínuo durante 2 a 3 anos à população atingida).

- 2 — Proceder, por conta do Estado, através dos serviços competentes da Direcção-Geral dos Serviços Agrícolas, a trabalhos de investigação e experimentação nas cinzas e na mistura de cinzas com solos, com o objectivo de se avaliarem as possibilidades de recuperação dos terrenos atingidos.
- 3 — Suspender o pagamento da contribuição predial rústica e urbana da zona sinistrada da freguesia do Capelo, o que já foi solicitado, em 7 de Dezembro de 1957, a Sua Excelência o Ministro das Finanças, pelo Ex^{mo} Governador do Distrito.
- 4 — Limitar à freguesia do Capelo a suspensão, que se verificou por causa da erupção, das operações de crédito hipotecário estendida pela Caixa-Geral de Depósitos, Crédito e Previdência a toda a ilha do Faial — onde não há Caixas de Crédito Agrícola — para evitar o desenvolvimento dos negócios de agiotagem. (Uma suspensão de tal natureza não é tranquilizadora e representa um castigo menos justo dado por um organismo do Estado aos habitantes do Faial).
- 5 — Promover o estudo de vulcanologia e recuperação de solos nas ilhas vulcânicas portuguesas do Atlântico, com o fim de proteger e desenvolver a sua eco-

nomia agrícola, de dar maior segurança às respectivas populações e de permitir que Portugal possa dar a respectiva contribuição à Ciência, iniciando-se desde já o estudo da ilha do Faial, cujo vulcão está em plena actividade.

b) Depois de cessar a actividade do vulcão

1 — a) Proceder, por conta do Estado e da Junta-Geral do Distrito, à recuperação e conservação das terras cobertas com as camadas mais espessas de cinzas, depois do que serão entregues aos respectivos proprietários.

(Esta disposição que, de certo modo, tem alguma semelhança com as de colonização interna na Metrópole e com as dos colonatos nas províncias ultramarinas, é também adoptada pelos organismos oficiais de agricultura dos E. U. A. nas zonas de solos salinos ou arruinados pela erosão, secas e inundações).

b) Contribuir o Estado e a Junta-Geral do Distrito com assistência técnica, sementes, adubações, amanhos culturais e planos de combate à erosão, de modo a restaurar e a manter permanentemente produtivas as terras menos afectadas pelas cinzas.

(A Junta-Geral não poderá entrar com uma percentagem superior a 15 % da importância a gastar anualmente na recuperação dos solos, devendo traduzir-se essa participação na cedência de maquinaria, assistência técnica e fornecimento de sementes).

2 — Dar início, pelo menos na freguesia do Capelo, à execução do aproveitamento dos terrenos baldios previsto para a ilha do Faial.

3 — Entregar, a título precário e pelo tempo necessário, parcelas de terrenos baldios da freguesia do Capelo ou suas proximidades, depois de preparadas para o cultivo, aos sinistrados cujas propriedades agrícolas não possam ser recuperadas em curto prazo, ou, se não for possível preparar os terrenos baldios, expropriar essas propriedades inutilizadas por muito tempo, pelo valor que tinham antes da erupção e conceder aos sinistrados, que tenham de sair do Capelo, um subsídio para construirem sob a orientação da Direcção de Urbanização dos Açores, nova casa na ilha do Faial.

(Esta última modalidade será ousada, mas não vimos outra que nos parecesse mais razoável e justa para estes casos, que felizmente devem ser em número muito restrito. Não se fará, afinal, mais do que seguir o princípio estabelecido nas Cláusulas e condições gerais de empreitadas e fornecimento de obras públicas — Decreto de 9 de Maio de 1906 — art.^o 70.^o — de indemnizar empreiteiros cujas obras sejam destruídas por casos de força maior, de carácter catastrófico — tremores de terra, trombas de água, etc.).

4 — Proceder, sob a orientação da Direcção de Urbanização dos Açores, à reparação definitiva das habitações, se for caso disso, com o auxílio do Estado e da Comissão Distrital de Assistência.

(É orientação do Ministério das Obras Públicas, aliás também recomendada pela Organização para a Alimentação e Agricultura das Nações Unidas — FAO — fazer participar as populações interessadas na execução dos programas de bem-estar rural. Com

mais forte razão se justifica que os proprietários contribuam para a sua própria casa com mão-de-obra, materiais ou dinheiro).

5 — Conceder, oportunamente, pela Junta Nacional dos Produtos Pecuários, subsídios e facilidades de empréstimos aos proprietários sinistrados para reconstituir o seu gado.

6 — Proceder à reparação definitiva das vias de comunicação.

(Cremos que as dotações mormais da Direcção de Obras Públicas serão suficientes para este trabalho).

7 — Reparar o farol dos Capelinhos.

(A resolução deste assunto compete à Direcção-Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais).

ANEXO I

QUADRO 1 — ERUPÇÕES TERRESTRES DOS AÇORES

N. ^º	Ano	Localização	Tipo predominante da erupção	Duração
1	1440 ?	Sete Cidades, S. Miguel	Explosivo	?
2	1562-64	Prainha do Norte, Pico	Efusivo	2 anos
3	1563-64	Pico de Água de Pau, S. Miguel	Misto	7 meses
4	1580	Fajã de St. ^o Amaro, S. Jorge	Efusivo	4 meses
5	1630	Furnas, S. Miguel	Explosivo	2 meses
6	1652	Pico do Fogo, S. Miguel	?	2 semanas
7	1672-73	Capelo, Faial	Efusivo	10 meses
8	1718	Montanha do Pico, Pico	?	9 meses
9	1720	Silveira, Pico	?	5 meses
10	1791	Pico da Bagacina, Terceira	?	2 semanas
11	1808	Urzelina, S. Jorge	?	6 semanas

QUADRO 2 — ERUPÇÕES SUBMARINAS DOS AÇORES

N. ^º	Ano	Localização	Tipo da erupção	Duração
1	1638	Ao Largo da Ferraria, S. Miguel	Explosivo	(menos de 1 mês?)
2	1682	Ao Largo da Ferraria, S. Miguel	?	1 semana?
3	1720	Entre S. Miguel e Terceira	?	3 semanas?
4	1811	Ao Largo dos Ginetes, S. Miguel	?	1 semana
5	1811	Ao Largo de Ferraria, S. Miguel	?	3 semanas
6	1867	Ao Largo da Serreta, Terceira	?	1 semana

ANEXO II

FREQUÊNCIA DO VENTO NA HORTA EM MESES REPRESENTATIVOS

	N	NE	N	SE	S	SO	O	NO
Janeiro	8,1	12,0	2,7	8,7	22,8	27,4	10,8	7,5
Abril	9,7	20,5	3,6	8,5	19,6	23,4	8,4	6,6
Julho	15,7	28,5	2,8	4,5	11,9	25,5	6,5	4,6
Outubro	16,6	19,5	1,7	8,0	15,8	20,3	9,3	8,8

(AGOSTINHO, J. (1940) — Clima dos Açores. *Açoreana*, vol. II, p. 164)

VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO EM PONTA DELGADA

Estação do ano	Velocidade m/seg.
Inverno	4,2
Primavera	3,1
Verão	2,2
Outono	3,8

(AGOSTINHO, J. (1940) — Clima dos Açores. *Açoreana*, Vol. II, pág. 169)

ANEXO III

DELIMITAÇÃO DAS MANCHAS DE CINZAS
SEU ESTUDO MORFOLÓGICO

Dadas as circunstâncias em que se efectuou a deposição das cinzas e a natureza destas e considerando que a recuperação das terras é o factor principal, à volta do qual gravitam todos os outros problemas, verificámos a necessidade de se fazer um reconhecimento geral da área atingida pelas cinzas que englobasse:

- a) O Estudo morfológico das principais camadas de cinzas e dos solos sob as cinzas.
- b) A delimitação das diversas manchas existentes.

Com os elementos assim obtidos poder-se-ão estudar com mais rigor as consequências da erupção vulcânica e avaliar da maior ou menor possibilidade de regeneração das terras agrícolas.

Do que fizemos, dá-se a seguir uma ideia geral:

Primeiramente, percorremos em várias direcções a região atingida pelas cinzas. Fizeram-se várias observações de solos cobertos com cinzas, tendo-se seleccionado os

locais mais representativos, onde se fez um estudo do perfil «in loco». Marcou-se numa carta corográfica do Faial a área total coberta de cinzas, separando sucessivamente as manchas com camadas de cinzas, de espessuras aproximadas de 5, 12, 35 e 60 cm. Colheram-se amostras das diferentes camadas de cinzas depositadas e do solo sob as cinzas, bem como das plantas que mais sofreram com a ação das cinzas. Foram assinaladas na carta com uma cruz, os locais onde se observaram os perfis e onde se colheram as respectivas amostras.

Faz-se a seguir uma descrição sumária de cada uma das manchas e dos perfis observados:

MANCHA I — Nesta mancha estão englobados terrenos que já não eram cultivados à data da erupção vulcânica. Uma parte destes incultos era apenas constituída por afloramentos de materiais piroclásticos e areias, onde só o chorão e algumas canas podiam vegetar; trata-se de terra incultivável e sem possibilidades de aproveitamento agrícola. Outra parte, com as mesmas características, apresenta-se revestida de urze, faia e cana, mas já com pequenas manchas de solo arável ocupando as depressões.

Nos solos cultivados, o perfil representativo caracteriza-se, sob o ponto de vista morfológico, pelas seguintes camadas:

- 1 — Camada de cinzas, de espessura variável entre 30 e 36 cm, de cor pardo-acinzentada, com veios horizontais mais claros correspondentes às diversas acumulações, tornando-se mais nítidos para a parte inferior. É pouco compacta, muito porosa e de consistência solta. Textura franco-arenosa. pH = 5,5
- 2 — Camada de cinzas, com uma espessura de 25 a 30 cm com a cor muito mais escura e uniforme do que a camada anterior, só aparecendo veios mais claros na parte superior. Apresenta-se menos compacta e com material menos grosso, de textura arenosa. pH = 5,3
- 3 — Camada de solo, fundo, pardo-amarelado e com algumas manchas provenientes da incorporação de cinzas. Fácil penetração às raízes, levemente compacta, porosa e de consistência fofa, textura arenosa. pH = 5,7 a 6,2

Trata-se de solos de formação aluvional.

Ocupa uma área de 192 hectares.

Distribue-se por zonas quase planas, numa chã que acompanha a orla litoral.

As condições topográficas e a localização da mancha, perto do foco da erupção vulcânica deram lugar a que a deposição de cinzas fosse abundante e cobrisse o solo e as plantas em espessas camadas. Estas cinzas são as que caíram directamente do ar e as transportadas e depositadas pelas águas de escoamento superficial, que aqui afluiram com grande intensidade quando das grandes chuvas.

Pelas razões expostas, consideram-se as terras da mancha I as de mais difícil e demorada recuperação para o cultivo; mas, como muitas tinham vinhas, dadas as características desta cultura, a sua regeneração será facilitada.

Supomos que, na maior parte destas terras, o Governo terá necessidade de promover uma ação directa, recuperando e conservando estes solos, para depois de restaurados serem entregues aos seus proprietários, obrigando-se estes a seguir um plano de exploração previamente estabelecido.

MANCHA II — O perfil médio representativo dos solos desta mancha, sob o ponto de vista morfológico, apresenta as seguintes camadas:

- 1 — Camada de cinzas, de espessura variável entre 12 e 25 cm, cor pardo-acinzentada com veios horizontais, uns mais claros, outros mais escuros. Pouco compacta, porosa e de consistência solta. Textura arenosa. pH = 6,8

- 2 — Camada de cinzas, de 13 a 22 cm de espessura, cor pardo-escura, quase preta, com veios mais claros na zona de transição para a primeira camada. Apresenta-se menos compacta, mais porosa e de consistência mais solta do que a camada anterior. Textura franco-arenosa. pH = 5,2
- 3 — Camada de solo, de espessura variável, pardo-acastanhada, com alguns elementos grosseiros, pequenos e arredondados. Fácil penetração às raízes, drenagem boa. Levemente compacta, porosa e de consistência fofa. Textura arenosa. pH = 6,1

São solos formados a partir de andesitos peridóticos.

Ocupa uma área de 238 hectares.

Tem declives variáveis.

Como os solos que estão sob as cinzas apresentam uma espessura regular e boas propriedades físico-químicas, supomos que desde que possam fazer-se lavouras fundas, de maneira a incorporar e misturar as cinzas nos solos, estas terras, que já eram consideradas das melhores desta região, poderão com relativa facilidade recuperar a sua potencialidade e capacidade de uso. Neste caso, bastaria que os Serviços Técnicos Agrícolas fizessem os convenientes amanhos culturais, fornecessem as sementes mais indicadas para as primeiras sementeiras, bem como os adubos químicos indispensáveis, para que as terras se pudesse recuperar num período relativamente curto.

MANCHA III — O perfil médio representativo dos solos desta mancha caracteriza-se, sob o ponto de vista morfológico, pelas seguintes camadas:

- 1 — Camada de cinzas de 3 a 4 cm de espessura, de cor pardo-acinzentada, com veios horizontais mais claros, que se acentuam na zona de transição para a camada seguinte. De compactidão solta, porosa e de consistência solta. Textura arenosa. pH = 7,3
- 2 — Camada de cinzas de 6 a 9 cm, mais escura, com veios horizontais, principalmente na zona de transição para a camada seguinte. Com as mesmas características da camada anterior, mas com menor percentagem de areia grossa. Textura arenosa. pH = 5,4
- 3 — Camada de solo, de espessura variável de 15 a 25 cm, castanho-amarelado, com alguns elementos grosseiros arredondados. Fácil penetração às raízes, drenagem boa. Porosa, levemente compacta e de consistência fofa. Textura arenosa. Sem estrutura definida. pH = 6,6

Segue-se o basalto, em adiantado estado de meteorização.

Ocupa uma área de 220 hectares.

Tem declives muito variáveis.

Os solos desta mancha são menos profundos e apresentam declives mais acentuados do que os da mancha II. Mas, como a camada de cinza que os cobre é mais delgada, com uma espessura média de 12 cm, pode ser incorporada e misturada no solo arável, com uma simples lavoura. São, pois, facilmente recuperáveis e podem entrar rapidamente em cultivo, com êxito assegurado, desde que não se acumulem mais cinzas.

Nos solos desta mancha houve, pelo menos, duas grandes quedas de cinzas que correspondem certamente às duas camadas de cinzas observadas no perfil.

Na sua futura utilização há que ter cuidados especiais, de modo a evitar que as águas das chuvas destruam os seus agregados estruturais, facilitando depois o arrastamento das partículas mais finas e valiosas. E, onde o terreno tiver maior declive, devem cultivar-se

segundo as curvas de nível, usar faixas de cultura e manter a terra protegida durante o inverno com culturas de cobertura protectora ou detritos vegetais.

MANCHA IV — O perfil médio representativo dos solos desta mancha caracteriza-se, sob o ponto de vista morfológico, pelas seguintes camadas:

- 1 — Camada de cinzas, de 4 a 5 cm de espessura, pardo-acinzentada escura, tornando tons mais escuros, na parte inferior. De capacidade solta, porosa e de consistência solta. Textura arenosa. pH = 5,6
- 2 — Camada de solo, de 30 a 40 cm, castanha, ligeiramente amarelada. Fácil penetração às raízes, alguns elementos grosseiros, pequenos e arredondados; drenagem boa. Levemente compacta, porosa e de consistência fofa. Textura franco-arenosa. Estrutura mal definida. pH = 6,0

Segue-se a rocha basáltica.

Esta mancha com 1700 hectares é a que ocupa maior área.

Tem declives variáveis, desde os quase horizontais aos muito inclinados.

As cinzas que cobrem estas terras devem corresponder à última queda de 16-12-957. As das primeira queda não atingiram.

Dada a delgada camada de cinzas que cobre estas terras e a fácil incorporação no solo, pode afirmar-se serem as terras desta mancha as que se podem recuperar mais facilmente e com maior rapidez.

Sempre que se realizem amanhos culturais nestas terras, devem executar-se, paralelamente, os trabalhos indispensáveis para impedir que as águas arrastem cinzas e cinzas e solo, para que a infiltração se dê normalmente.

Apresentam, pois, condições para entrarem imediatamente em cultivo.

ANEXO IV

INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS DAS ANALISES (¹)

Antes de se proceder à interpretação dos dados obtidos no laboratório, é conveniente acentuar que se consideram as cinzas como se fossem *solos*.

Na realidade, no caso presente, o que interessa fundamentalmente é estudar a possibilidade de saber qual a adaptação ao cultivo, no estado actual das cinzas. Por isso, os métodos analíticos empregados devem ser considerados com certa reserva, pois, embora sejam rigorosos quando empregados para terras, neste caso especial revelaram-se algumas vezes imperfeitos; mas, dada a urgência do trabalho, não foi possível ensaiar outros métodos mais convenientes.

Constatou-se que as cinzas não se comportavam como material estável, mas que ainda se verificavam algumas reacções entre os seus componentes. Isto significa que os resultados analíticos obtidos agora podem, num futuro próximo, estar sujeitos a alterações.

Certas determinações não se efectuaram, como, por exemplo, a da matéria orgânica, factor da maior importância na evolução, fertilidade e produtividade dos solos, visto que as cinzas, dadas as altas temperaturas a que foram sujeitas, não apresentam aquele constituinte.

(¹) As análises das cinzas e dos solos foram efectuadas no Departamento de Solos da Estação Agronómica Nacional.

As cinzas devem ser ricas em micronutrientes, não se tendo efectuado também a sua determinação por escassez de tempo.

Apesar das reservas apontadas, vamos interpretar os resultados das análises, tais como se apresentam.

Composição mecânica

Verifica-se, em primeiro lugar, que as amostras têm poucos elementos finos, o que revela fraca capacidade de troca e difícil capacidade de fixar os diversos elementos fertilizantes.

A textura indica condições favoráveis para um bom desenvolvimento vegetativo.

pH

Os valores obtidos, embora provenientes do mesmo material, apresentam-se dispareis, o que se supõe ser consequência do material se apresentar em diferentes estados de evolução. Nota-se, por exemplo, que as camadas mais superficiais das cinzas são as que apresentam valores mais elevados de pH, possivelmente por as camadas superficiais terem sofrido uma lavagem menos intensa das águas das chuvas, uma vez que são provenientes das deposições mais recentes, ou por as camadas inferiores terem condições de arejamento mais difíceis, não dando saída fácil aos gases sulfurosos que se encontram nas cinzas.

Bases de troca, hidrogénio de troca e capacidade de troca

Todos estes valores não podem ser interpretados rigorosamente, dada a natureza do material analisado. Na realidade, a fraca percentagem de argila faz-nos suspeitar que os resultados das bases de troca são influenciados por gases solúveis, que ainda não foram arrastados para as camadas mais fundas.

Alguns valores de hidrogénio de troca também se apresentam contraditórios. É o que acontece, por exemplo, com as amostras 6162, 6164 e 6165, em que os valores de pH nos dão quase a certeza da existência de hidrogeniões de troca. Não se verifica a existência destes, o que deve ser consequência da natureza do material analisado.

Os valores da capacidade de troca (soma das bases mais o hidrogénio de troca), lógicamente, também, se apresentam contraditórios em alguns casos.

Fósforo assimilável

As cinzas provenientes de deposições mais recentes apresentam-se bastante mais ricas em fósforo assimilável. Este facto, pode atribuir-se a uma maior fixação do fósforo, com o tempo, o que o torna menos assimilável para as plantas.

Os valores de fósforo assimilável são em quantidade suficiente para a vida das plantas nas deposições recentes, mas nas deposições mais antigas os valores são baixos.

Potássio assimilável

Os valores obtidos nesta determinação são regulares, não se verificando falta deste elemento. A cinza pura — amostra 6171 — apresenta-se rica neste elemento.

Azoto total

Em face dos resultados, pode dizer-se que as amostras de cinzas analisadas, no que respeita ao azoto total, incluindo nitratos e nitritos, são bastante pobres naquele elemento fertilizante. As amostras 6161, 6162 e 6171 são as que apresentam valores mais baixos; conquanto as outras amostras tenham valores mais elevados, elas são também pobres no referido elemento nobre.

Para estes teores baixos que apresentam as cinzas, deve ter ocorrido também o facto de ainda não terem sido incorporados materiais orgânicos, não havendo consequentemente possibilidades de actividade bioquímica. Estamos, porém, convencidos de que, logo que estas cinzas começem a ser cultivadas, os seus teores em azoto aumentarão.

Sulfatos

Porque era possível que as cinzas apresentassem altos valores, neste elemento, efectuou-se esta determinação em todas as amostras.

Os valores obtidos mostram, no entanto, que este elemento, existe em quantidades normais.

Cloreto

Os valores obtidos na maioria das amostras são normais, não afectando a vida das plantas.

A amostra 6171 — cinza pura colhida junto da cratera do vulcão e proveniente dumha explosão recente — na qual se encontram incorporadas partículas de ClNa e areias do mar, mostra um valor muito mais elevado.

Condutividade e redução na capacidade utilizável

A amostra 6164 tem uma condutividade de 9,9 que afecta as plantas menos tolerantes ao cloreto de sódio.

Nas camadas inferiores do solo da mancha I (6165, 6166 e 6167) os valores da condutividade e redução na capacidade utilizável vão diminuindo e pouco prejudicarão já as culturas.

O solo da mancha II (6168, 6169 e 6170) apresenta condições de condutividade e redução na capacidade utilizável um pouco melhores do que no solo da mancha I.

A cinza apresenta uma condutividade bastante elevada, de 55,50, o que corresponde a uma percentagem expressa em cloreto de sódio de 0,88 e uma redução na capacidade utilizável superior a 100, o que impossibilita, no estado presente, o desenvolvimento vegetativo, mas não impede que, depois de sofrerem uma lavagem pelas águas das chuvas, estas características se modifiquem favoravelmente.

Quer-nos parecer que, em face dos resultados obtidos pelas determinações efectuadas, poderemos afirmar que a lavagem, durante cerca de 1 ano, poderá arrastar os sais solúveis que estes solos possam ainda conter.

RESULTADOS DAS ANÁLISES DAS CINZAS E SOLOS

Nº de Laboratório	Nº de Campo	Camada	Textura						p H	Peso Trocado	Hidrólito de Troca	Capacidade da Troca	Fótons Aminados	Fótons Aminados	Azul	Sulfato	Chloro Cl Na	Condutividade Milimhos/cm.	Redução na Capacidade Utilizada
			Molide	Arena Grossa	Arena Fina	Limo	Argila	%											
6159	I	I	5,87	51,05	40,10	7,62	1,23	Arenosa	5,6	14,0	0,6	14,6	0,5	27	0,051	Vest.	0,024	0,50	I
6160	I	II	14,99	30,50	47,75	19,35	2,40	Franco-arenosa	6,0	36,3	3,5	39,8	11	98		0,009	0,09	2,78	7
6161	2	I	6,33	36,05	54,85	5,98	3,12	Arenosa	7,3	17,1	0,0	17,1	2,0	35	0,024	Vest.	0,024	0,46	I
6162	2	II	5,43	54,40	35,59	9,38	0,63	Arenosa	5,4	11,4	0,0	11,4	0,2	29	0,011	Vest.	0,04	1,76	4
6163	2	III	10,60	69,80	21,40	7,82	0,98	Arenosa	6,6	37,1	2,2	39,3	0,8	210		Vest.	0,06	2,06	5
6164	3	I	6,90	55,00	23,39	19,55	2,06	Franco-arenosa	5,5	6,9	0,0	6,9	1,3	38	0,083	Vest.	0,07	9,90	38
6165	3	II	5,20	46,10	43,76	9,72	0,42	Arenosa	5,3	10,0	0,0	10,0	0,5	34	0,034	Vest.	0,05	3,70	10
6166	3	III	8,14	61,00	31,59	5,80	1,61	Arenosa	5,7	17,0	2,5	19,5	0,3	157		0,018	0,20	1,74	4
6167	3	IV	18,70	29,25	57,33	11,99	1,43	Arenosa	6,2	29,1	2,4	31,5	0,6	252		0,016	0,31	7,90	7
6168	4	I	7,60	50,20	41,92	7,06	1,82	Arenosa	6,8	15,7	0,0	15,7	1,6	40	0,033	Vest.	0,05	9,64	36
6169	4	II	4,80	48,10	30,48	19,40	2,02	Franco-arenosa	5,2	11,0	0,5	11,5	0,8	42	0,041	0,022	0,09	2,90	7
6170	4	III	10,06	56,40	35,45	6,50	1,65	Arenosa	6,1	15,4	2,5	17,9	0,8	210		Vest.	0,12	5,10	15
6171	5	Cinza pura	6,75	48,00	39,50	10,66	1,84	Arenosa	6,9	15,0	0,0	15,0	2,8	150	0,017	0,066	1,14	55,50	>100

V. CAMPOS
F. MACHADO
&

J. A. SACADURA GARCIA

Relatório do Ministério das Obras Públicas

EST. I



Fig. 2 — Um aspecto da erupção na noite de 17 de Dezembro



Fig. 1 — Fase de emissão de cinzas



Fig. 4 — Limpeza das cinzas arrastadas pelas águas das chuvas

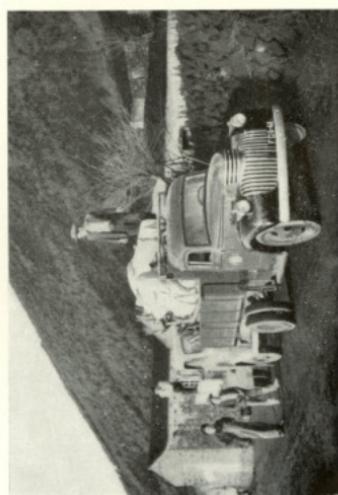


Fig. 3 — Retirada de haveres dos habitantes da povoação do Canto

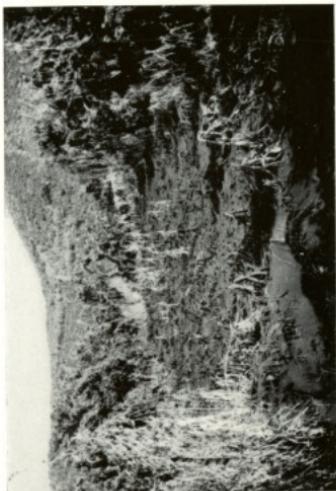


Fig. 1—Terrenos de cultura cobertos de cinzas.



Fig. 2—Campos cobertos de cinzas e com a vegetação quemada



Fig. 3—O renascer dos «outonos» que estiveram cobertos de cinzas

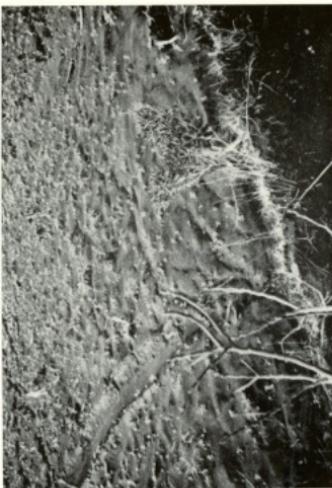


Fig. 4—Uma casa nas proximidades do vulcão cuja cobertura abateu com o peso de cinza

V. CAMPOS
F. MACHADO
&

J. A. SACADURA GARCIA

Relatório do Ministério das Obras Públicas

EST. III



Fig. 1 — Ensaio vegetativo sobre cinzas, e cinzas com solo (serradela em 1.º plano); só sobre cinzas (tremoço e tremocilla em 2.º plano)

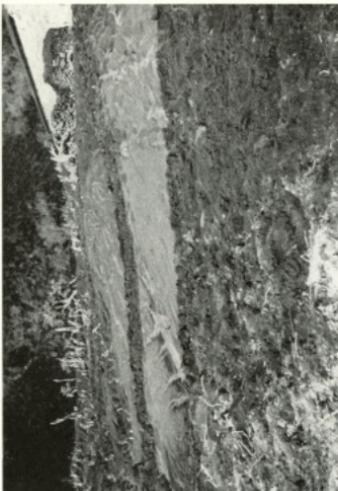


Fig. 3 — Incorporação de cinzas no solo da mancha III

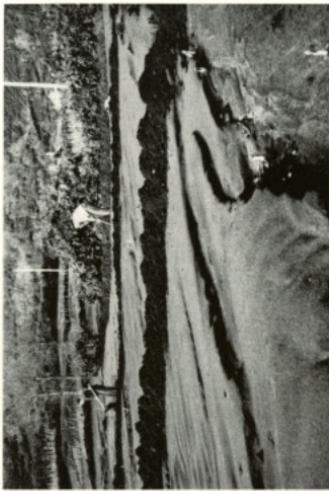


Fig. 2 — Deposições de cinzas nas terras da mancha II

Fig. 4 — Abertura de valas de protecção para evitar arrastamento de cinzas e solos

A ERUPÇÃO DOS CAPELinhOS—SEUS REFLEXOS NA ECONOMIA DA ILHA DO FAIAL

por

JOSÉ CORREIA DA CUNHA

O vulcão dos Capelinhos surgiu do mar em fins de Setembro de 1957 ao largo da costa ocidental do Faial, evoluiu durante cerca de 14 meses intermitentemente com actividade afim dos tipos vulcaniano e estromboliano e entrou finalmente em acalmia depois de ter acrescido a área da ilha em cerca de 240 hectares de cinzas e lavas.

Mais pela duração e intensidade das manifestações que originou, do que pela sua localização, o surto eruptivo provocou sérias perturbações na vida normal da população da ilha especialmente pelos seus reflexos nas condições de produtividade de parte importante das terras cultivadas. Mas não foi só no sector agrícola que a economia da ilha foi afectada: durante todo o período da erupção, os centros piscatórios, localizados exactamente na costa mais atingida, foram condenados à inactividade por migração e morte dos peixes e cetáceos que constituíam a riqueza daquelas paragens e se viram envenenados pela queda das cinzas e emissão de gases deletérios.

Como normalmente acontece, a actividade sísmica acompanhou de perto a evolução do fenómeno vulcânico, até porque o arquipélago, e especialmente a ilha do Faial, situado numa área instável da crusta, é frequentemente abalado por tremores de terra.

Aos pródromos da erupção, abalos muito repetidos mas de fraca intensidade, sucederam-se outros até à grande crise sísmica verificada em meados de Maio de 1958 e na qual, durante dois dias (12 e 13), se tornaram perceptíveis 450 abalos, alguns dos quais de grande violência.

Segundo o Eng. Frederico Machado o fenómeno teria tido origem em 3 zonas epcentrais, ultrapassando nalguns pontos a intensidade definida pelo grau X da escala de Mercalli-Sieberg.

Estas manifestações aterradoras afectaram profundamente o moral e a capacidade de resistência da população, que vivia há meses em constante sobressalto e, se não provocaram vítimas, tiveram pelo menos o condão de destruir e danificar seriamente 1037 casas, obrigando a deslocar e reinstalar noutros pontos alguns milhares de sinistrados.

2 — Toda esta série de fenómenos abalou fortemente a economia e as condições de vida da laboriosa população da ilha. Segundo cálculos do Eng.-Agr. Sacadura Garcia, a área coberta pelas cinzas atingiu, em Junho de 1958, 4652 hectares. Se bem que estas tivessem caído na parte mais pobre da ilha sob o ponto de vista agrícola (freguesias do Capelo e Praia do Norte), e a sua espessura fosse decrescendo à medida que aumentava a distância ao foco vulcânico, nem por isso os efeitos deixaram de ser muito sensíveis. Assim, só na freguesia do Capelo ficaram quase totalmente destruídos 140 hectares de vinha, 700 hectares dedicados a cultura arvense e pomícola e 350 hectares de pastagem.

Além destes prejuízos, só remedáveis num prazo mais ou menos longo, as culturas foram, nesse ano, prejudicadas em grau variável em quase toda a ilha, não só pela queda

directa das cinzas, como pelas emanações sulfurosas; fizeram exceção as culturas do trigo e batata (doce e comum).

Em Outubro de 1958 os prejuízos sofridos pela actividade agrícola totalizavam cerca de 18 000 contos, dos quais cerca de 1/3 respeitavam à exploração pecuária, afectada em alto grau pela diminuição da área de pastagem e decréscimo da produção de milho e ferrejos.

3 — Além de muitas dádivas remetidas de muitos pontos mas especialmente dos núcleos de Açoreanos espalhados pelo mundo, o Governo providenciou rapidamente tomando medidas de emergência em favor da ilha flagelada. Além de um programa completo de obras públicas, que incluía a reconstrução e reparação das casas, estradas, muros, etc., elaborou também um plano de recuperação económica sob os auspícios do qual se levou novamente à cultura uma área importante e se adquiriu maquinaria destinada a arrotar muitas terras altas com destino à implantação de novas pastagens. Neste pormenor o sinistro teve o condão de acelerar a tendência que já se desenhava para o aproveitamento integral dos recursos do interior da ilha.

Para a consecução deste objectivo terá importância fundamental a execução do projecto de arborização do baldio, que se encontra nas suas fases preliminares. Assim os propositos do seu autor, Eng.Silv. Cassola de Sousa, não venham a ser deturpados nesta fase.

A área baldia totaliza, no Faial, 2476 hectares, o que representa 14,4 % da superfície total. Com a sua submissão ao regime florestal a economia da ilha beneficiará largamente pela conjunção dos seguintes factores de progresso:

- Aumento da área de pastagem de altitude, melhorada, em cerca de 888 hectares;
- Diminuição, ou mesmo anulação, do acentuado *deficit* de lenhas e madeiras com que a ilha luta actualmente;
- Grande melhoria das vias de acesso ao interior da ilha, com a construção de 39 km de estradas e caminhos florestais;
- Finalmente, criação de uma importante fonte permanente de trabalho, uma vez que se pretende alongar a execução do Plano por um período de 24 anos, só se envelopando pela mecanização quando esgotadas as possibilidades da mão de obra local.

4 — Outra medida de grande interesse que se preconizou em devido tempo mas não teve a audiência que seria mister, possivelmente por falta do instrumento jurídico adequado por parte da Junta de Colonização Interna, consistia no emparcelamento dos prédios rústicos das freguesias mais atingidas pela queda das cinzas. Pelo quadro seguinte⁽¹⁾ pode concluir-se facilmente do interesse desta operação, que seria facilitada, lógicamente, pelas destruições originadas pela queda das cinzas e subsequente abandono de grande número de prédios rústicos por parte dos seus proprietários: (*Ver quadro seguinte*).

Infelizmente a altura ideal para se iniciarem os estudos preliminares já passou; chuvadas torrenciais ravinaram profundamente as grandes massas de material depositado, obrigando a um permanente trabalho de defesa contra a erosão, feito necessariamente sem obedecer a qualquer plano pre-estabelecido; e cada vez mais os homens que ficaram se vão de novo apegando ao que era seu, procurando refazer a vida na mesma base caótica de outrora. Oportunidade perdida, sem dúvida.

Incompreensivelmente, a ilha foi levada a renunciar a um dos mais poderosos meios de recuperação a que poderia ter recourse.

5 — Para finalizar vamos procurar dar uma ideia da forma como a população da ilha e da Metrópole, de uma maneira geral, reagiu a esta autêntica chicotada vibrada pela Natureza no seu sossegado e harmonioso viver de cada dia.

(1) Elementos colhidos na Secção de Finanças da Horta em Outubro de 1958.

Freguesias	Número de proprietários				Número de predios	Áreas (ha)		Número de predios por propriedades
	Pequenos	Médios	Grandes	Total		Total	Média	
Angústias	234	4	4	242	437	400	0,92	1,8
Capelo	1 045	—	—	1 045	11 745	2 000	0,17	11,2
Castelo Branco . . .	965	9	1	975	3 684	2 200	0,60	3,8
Cedros	2 026	2	—	2 028	11 806	1 650	0,14	5,8
Conceição	218	6	—	224	327	300	0,92	1,5
Feteira	1 026	21	5	1 052	2 746	1 400	0,51	2,6
Flamengos	464	2	3	469	1 419	1 250	0,88	3,0
Matriz	131	1	—	132	215	150	0,70	1,6
Pedro Miguel	743	3	2	748	2 495	1 200	0,48	3,3
Praia do Almoxarife	513	4	—	517	1 463	1 050	0,72	2,8
Praia do Norte . . .	463	—	—	463	7 092	1 100	0,16	15,3
Ribeirinha	745	1	—	746	3 794	1 150	0,30	5,1
Salão	614	1	—	615	4 362	950	0,22	7,1
<i>Totais</i>	<i>9 187</i>	<i>54</i>	<i>15</i>	<i>9 256</i>	<i>51 581</i>	<i>14 800</i>	<i>0,29</i>	<i>5,6</i>

Durante todo o período em que esteve latente o perigo de uma explosão catastrófica, a maior parte da população manteve-se serena e confiante, colaborando, com elevado espírito de sacrifício, na abertura das vias de comunicação e, mesmo depois de evacuada a região mais atingida, regressando, sempre que podia, a suas casas, de forma a minorar o mais possível os estragos originados pelas cinzas. Nesse período fizeram-se, inclusivamente, tentativas para mobilizar e semear as terras, na esperança de que o termo da erupção não tardasse.

As autoridades da ilha puderam assim resolver da melhor forma toda a série de múltiplos problemas suscitados pela deslocação e manutenção de tão grande massa de pessoas e gados das suas povoações e pastagens. O apoio do Governo veio também rápido e eficiente, tendo o Sr. Ministro das Obras Públicas visitado a ilha para se inteirar pessoalmente da extensão dos estragos originados pelos sismos mais violentos.

E a recuperação começou...

As casas foram reconstruídas, as cisternas limpas, os caminhos desobstruídos. Os campos que estavam cobertos por uma camada de cinzas pouco espessa foram lavrados a tractor e semeados; as sebes de canas que demarcavam e defendiam muitos *serrados* contra o vento renasceram através do manto escuro, obedecendo ao apelo da luz e da vida e quebrando, com o seu verde, a monotonia da paisagem.

Grande parte das famílias que viram os seus lares e campos devastados voltou à luta, numa devocão total à terra mãe; muitos campos, porém, permaneceram incultos porque os seus proprietários preferiram aproveitar a oportunidade que se lhes deparava para realizarem um sonho velho — emigrar para os Estados Unidos. Para esses, o apelo de familiares e de condições de vida e de trabalho mais aprazíveis do ponto de vista material, foi mais forte do que os laços que os uniam à terra pobre que mal os podia sustentar.

E muitos foram os que deixaram a sua ilha, aproveitando uma medida de exceção aprovada pelo Senado norte-americano e com o generoso auxílio da União da Caridade Portuguesa (CARITAS) e a prestimosa orientação da Junta de Emigração.

Este gesto de amizade por parte da grande nação calou fundo no coração de todos os portugueses e representou uma das medidas mais eficazes no lento volver da economia da ilha ao equilíbrio perdido.

Para se avaliar a grandeza deste movimento emigratório basta referir que a população presente na ilha em 1957 totalizava cerca de 24 000 habitantes e que até Fevereiro de 1959 tinham partido, só para os E. U., 3321 pessoas preenchendo o contingente de 1500 vistos inicialmente autorizado. O Canadá, entretanto, recebeu cerca de 372 pessoas (100 vistos) e o Colonato do Limpopo, em Moçambique, 32 famílias, num total de 322 pessoas.

Presentemente está a ser preenchido mais um contingente de 500 vistos concedido pelo Governo americano; se estimarmos em 1100 o número de pessoas que poderão emigrar por seu intermédio, chegamos à conclusão que cerca de 21 % da população da ilha a abandonou com carácter definitivo em consequência da erupção dos Capelinhos.

Até que ponto e por que forma as estruturas económicas e sociais da ilha do Faial foram abaladas por este êxodo maciço e praticamente instantâneo?

Gostaríamos de poder responder a esta pergunta, até pelas ilações que desse estudo se poderiam tirar para outros casos análogos, de carácter não tão violento mas igualmente sensível.

BIBLIOGRAFIA

- 1 — AGOSTINHO, JOSÉ
1960 — *Actividade vulcânica nos Açores*. Separata de «Açoreana», vol. v, n.º 5. Angra do Heroísmo.
- 2 — CUNHA, JOSE CORREIA DA
1957 — *Contribuição para o estudo das possibilidades de fixação humana nas regiões elevadas do arquipélago dos Açores*. Dactilografado (2 vols.). Junta de Colonização Interna. Lisboa.
- 3 — CUNHA, JOSE CORREIA DA
1958 — *Estudo geográfico do arquipélago dos Açores. Breve notícia de uma missão de estudo*. Dactilografado. Junta de Colonização Interna. Lisboa.
- 4 — CUNHA, JOSE CORREIA DA
1959 — *A erupção dos Capelinhos — Sua influência na economia da ilha do Faial*. Separata de «Agros» n.º 6, ano XLII. Lisboa.
- 5 — MACHADO, FREDERICO
1959 — *Actividade vulcânica da ilha do Faial (1957-58)*. Angra do Heroísmo.
- 6 — RIBEIRO, ORLANDO & BRITO, RAQUEL SOEIRO DE
1958 — *Primeira notícia da erupção dos Capelinhos na ilha do Faial*. Separata de «Naturalia», vol. VII, fasc. I-IV. Lisboa.
- 7 — SOUSA, ANTONIO CASSOLA DE
1957 — *Plano de povoamento florestal do distrito autónomo da Horta*, vol. I. Lisboa.

ÍNDICE

	PAGES
Préface, par G. ZBYSZEWSKI	7
SOBRE O MECANISMO DA ERUPÇÃO DOS CAPELINHOS, por FREDERICO MACHADO	9
1 — Introdução	9
2 — Câmaras magnéticas	9
3 — Mecanismo das erupções submarinas	10
4 — Teoria das explosões de cinzas	10
5 — Teoria dos jactos de vapor	13
6 — Fase efusiva	14
7 — Teoria da ascensão do magma	15
8 — Efeitos da maré terrestre	17
<i>Agradecimento</i>	19
<i>Summary</i>	19
<i>Referências</i>	19
COMPTE RENDU DE DEUX VISITES AU VOLCAN DE CAPELINHOS (AÇORES) APRÈS SON ÉRUPTION, par G. ZBYSZEWSKI et O. DA VEIGA FERREIRA	21
I — Aspect général de la zone avoisinant le phare	21
II — Le volcan	22
A — Le cone central du volcan	22
B — Les champs de lave	23
C — Les flancs Sud et Est du volcan	29
D — Lave du phare de Capelinhos	24
Conclusions	24
ACOUSTIC STUDIES AT CAPELINHOS VOLCANO, AZORES, by ADRIAN F. RICHARDS, J. B. HERSEY and WILLIAM T. McGUINNESS	27
Abstract	27
Introduction and acknowledgments	27
Observations and recording equipment	28
McGuinness' observations	28
Woods Hole Oceanographic Institution observations	28
Cranbrook Institute of Science observations	29
Analysis of sounds	30
Methods	30
Discussion of results	30
References	33
RELATÓRIO DA MISSÃO TÉCNICA DO MINISTÉRIO DAS OBRAS PÚBLICAS PARA REMEDIAR AS PRIMEIRAS CONSEQUÊNCIAS DA ERUPÇÃO VULCÂNICA DA ILHA DO FAIAL, por VIRIATO CAMPOS, FREDERICO MACHADO e JOSE A. SACADURA GARCIA	35
A ERUPÇÃO DOS CAPELINHOS — SEUS REFLEXOS NA ECONOMIA DA ILHA DO FAIAL, por José CORREIA DA CUNHA	51

MEMÓRIAS DA COMISSÃO GEOLÓGICA DE PORTUGAL (1857-1869)

- 1865 — GOMES, B. A. — *Vegetores fossis* : — Flora fossil do terreno carbonífero das vizinhanças do Porto, Serra da Bussaco e Moinho d'Ordem, próximo de Alcacer do Sal. 46 p., 6 est. (Com tradução em francês). Esgotado.
- 1865 — PEREIRA DA COSTA, F. A. — Da existência do homem em épocas remotas no vale do Tejo : — Notícias sobre os esqueletos humanos descobertos na Cabeça da Arruda. 40 p., 7 est. (Com tradução em francês). Esgotado.
- 1866 — RIBEIRO, C. — Estudos geológicos : — Descrição do terreno quaternário das bacias das rios Tejo e Sado. 164 p., 1 carta (Com versão francesa por Dalhunty). Esgotado.
- 1866-67 — PEREIRA DA COSTA, F. A. — Molluscs fossis : — Gastropodes dos depósitos terciários de Portugal. 2 fasc., 263 p., 28 est. (Com versão francesa por Dalhunty). Esgotado.
- 1867 — NERY DELGADO, J. F. — Estudos geológicos : — Da existência do homem no nosso solo em tempos muito remotos provada pelo estudo das cavernas : — Notícias acerca das grutas da Cearuda. 133 p., 3 est. (Com versão francesa por Dalhunty). Esgotado.
- 1867 — RIBEIRO, C. — Estudos geológicos : — Memória sobre o abastecimento de Lisboa com águas de nascente e águas de rio. 119 p. Esgotado.
- 1868 — PEREIRA DA COSTA, F. A. — Monumentos prehistóricos : — Descrição de alguns dolmens ou antas de Portugal. 97 p., 3 est. (Com tradução em francês). Esgotado.

MEMÓRIAS DA SEÇÃO DOS TRABALHOS GEOLÓGICOS DE PORTUGAL (1869-1886)

- 1871 — RIBEIRO, C. — Descrição de alguns silex e quartzites lascados encontrados nas camadas dos terrenos terciário e quaternário das bacias do Tejo e Sado. 57 p., 10 est. (Com tradução em francês). Esgotado.
- 1876 — NERY DELGADO, J. F. — Terrenos paleozoicos de Portugal : — Sobre a existência do terreno siluriano no Baixo Alentejo. 35 p., 2 est., 1 carta (Com tradução em francês). Esgotado.
- 1878 — RIBEIRO, C. — Estudos prehistóricos em Portugal : — Notícia de algumas estações e monumentos prehistóricos. 1º vol., 72 p., 21 est. (Com tradução em francês). Esgotado.
- 1880 — Idem — Idem. 2º vol. 86 p., 7 est. (Com tradução em francês). Esgotado.
- 1880 — CHOFFAT, P. — Étude stratigraphique et paléontologique des terrains jurassiques du Portugal : — Le Lias et le Dogger au Nord du Tage. XII — 72 p.
- 1881 — VASCONCELOS PEREIRA CABRAL, F. A. de — Estudos de depósitos superficiais da bacia do Douro. 88 p., 3 est.
- 1881 — HIER, O. — Contribuições à flor fossil do Portugal. 51 p., 29 est. Esgotado.
- 1885 — CHOFFAT, P. — Recueil de monographies stratigraphiques sur le système crétacique du Portugal. Première étude : — Contrée de Cintra, Belas et de Lisboa. 76 p., 3 est. Esgotado.
- 1885 — NERY DELGADO, J. F. — Terrenos paleozoicos de Portugal : — Estudo sobre os Bilobites e outros fossis das quartzites da base do sistema silurico do Portugal. 111 p., 43 est. (Com tradução em francês). Esgotado.
- 1886 — CHOFFAT, P. — Recueil d'études paléontologiques sur la faune crétacique du Portugal. Vol. I : — Espèces nouvelles ou peu connues. 1.ère série, 40 p., 18 est. Esgotado.

MEMÓRIAS DA COMISSÃO DOS TRABALHOS GEOLÓGICOS DE PORTUGAL (1886-1892)

- 1885-88 — CHOFFAT, P. — Description de la faune jurassique du Portugal : — Mollusques lamellibranches. Deuxième ordre. Asiphoniidae. 1.ère et 2.ème livraison. 76 p., 19 est. Esgotado.
- 1887-88 — LORIOL, P. — Recueil d'études paléontologiques sur la faune crétacique du Portugal. Vol. II : — Description des Echinodermes. 2 fasc., 124 p., 22 est. Esgotado.
- 1887-88 — NERY DELGADO, J. F. — Terrenos paleozoicos de Portugal : — Estudo sobre os Bilobites e outros fossis das quartzites da base do sistema silurico do Portugal. Suplemento — 76 p., 12 est. (Com tradução em francês). Esgotado.
- 1888 — LIMA, W. de — Flora fossil de Portugal : — Monografia do gênero *Dicranophyllum* (*Système carbonique*). 14 p., 3 est. (Com tradução em francês). Esgotado.
- 1889 — CHOFFAT, P. — Étude géologique du tunnel du Rocio. Contribution à la connaissance du sous-sol de Lisbonne. Avec un article paléontologique par J. C. BERKELEY COTTER et un article zoologique por ALBERT GIRARD. 106 p., 7 est. Esgotado.
- 1890-91 — LORIOL, P. — Description de la faune jurassique du Portugal : — Embryonário des Echinodermes. 179 p., 29 est. Esgotado.
- 1892 — NERY DELGADO, J. F. — Fauna silurica de Portugal : — Descrição de uma forma nova de *Trilobite*, Lichas (Uralichas) ribeiroi. 31 p., 6 est. (Com tradução em francês). Esgotado.

MEMÓRIAS DA DIRECÇÃO DOS TRABALHOS GEOLÓGICOS DE PORTUGAL (1892-1899)

- 1893 — CHOFFAT, P. — Description de la faune jurassique du Portugal : — Classe des Céphalopodes. 1.ère série. Ammonites du Lutitanien de la contrée de Torres Vedras. 82 p., 20 est. Esgotado.
- 1893 — CHOFFAT, P. — Description de la faune jurassique du Portugal : — Mollusques lamellibranches. Premier ordre. Siphoniida. 1.ère livraison. 30 est. Esgotado.
- 1894 — SAPORTA, M. — Flore fossile du Portugal : — Nouvelles contributions à la flore mésozoïque. Accompagnées d'une notice stratigraphique par PAUL CHOFFAT. 288 p., 40 est. Esgotado.
- 1896 — LORIOL, P. — Description des Echinodermes tertiaires du Portugal. Acompagnée d'un tableau stratigraphique por J. C. BERKELEY COTTER. 50 p., 13 est. Esgotado.
- 1897 — NERY DELGADO, J. F. — Fauna silurica de Portugal : — Novas observações acerca de Lichas (Uralichas) ribeiroi. 35 p., 4 est. (Com tradução em francês). Esgotado.
- 1897-98 — SAUVAGE, H. E. — Vertébrés fossiles du Portugal : — Contributions à l'étude des poissons et des reptiles du Jurassique et du Crétacique. 48 p., 10 est. Esgotado.
- 1898 — CHOFFAT, P. — Recueil d'études paléontologiques sur la faune crétacique du Portugal : — Vol. I. Espèces nouvelles ou peu connues. 2.ème série : — Les Ammonites des Bellasiens des couches à Néolobites Vibrasseus, du Turonien et du Sénonien. 46 p., 20 est. Esgotado.

MEMÓRIAS DA DIRECÇÃO DOS SERVIÇOS GEOLÓGICOS DE PORTUGAL (1899-1901)

1900 — CHOFFAT, P. — *Recueil d'études stratigraphiques sur le système crétacique du Portugal : — Deuxième étude : — Le Crétacique supérieur ou Nord du Tage.* 267 p., 11 est. Esgotado.

MEMÓRIAS DA COMISSÃO DO SERVIÇO GEOLÓGICO DE PORTUGAL (1901-1918)

- 1901-02 — CHOFFAT, P. — *Résumé d'études paléontologiques sur la faune crétacique du Portugal. Vol. I. Espèces nouvelles ou peu connues, 3^e série*
— *Moussugues du Sénior à faciès fluviomarin.* 18 p., 2 est; 4^e série: — *Spécies diverses et table des quatre séries.* 67 p., 16 est. Esgotado;
1903 — CHOFFAT, P. — *Contributions à la connaissance géologique des colonies portugaises d'Afrique I : — Le Crétacique de Conducia.* 31 p., 9 est. Es-
gatado;
1903-04 — DOLFLUS, G. F., BERKELEY COTTER, J. C. & GOMES, J. P. — *Mollusques tertiaires du Portugal : — Planches de Céphalopodes, Gastéropodes*
et Polycarpes, laissées par F. A. PEREIRA DA COSTA, accompagnées d'une explication sommaire et d'une esquisse géologique. 120 p., 1 quadro
estratigráfico. 1 retrato e 27 est.
1904-05 — KORY, F. — *Description de la faune jurassique du Portugal : — Polypiers du triasique supérieur. Avec notice stratigraphique par P. CHOFFAT.*
168 p., 30 est. Esgotado.
1905 — CHOFFAT, P. — *Contributions à la connaissance géologique des colonies portugaises d'Afrique. II : Nouvelles données sur la zone littorale d'Angola*
48 p., 4 est. Esgotado.
1907 — ROMAN, F. & TORRES, A. — *Le Néogène marin dans la basse vallée du Tage (rive droite).* Avec une note sur les empreintes végétales
de Perrier par M. FLICHÉ. 109 p., 6 est. Esgotado.
1908 — CHOFFAT, P. — *Essai sur la tectonique de la chaîne de l'Arrábida.* 89 p., 10 est. Esgotado.
1908 — NIERY DELGADO, J. F. — *Système silurique du Portugal : — Étude de stratigraphie paléontologique.* 247 p., 8 est., 1 quadro estratigráfico. Esgotado.
1909 — DOLFLUS, G. & BERKELEY COTTER, J. C. — *Mollusques tertiaires du Portugal : — Le Pliocène au Nord du Tage (Plainscien). I.^{re} partie, Pe-
cipoda.* Préface d'une notice géologique. 103 p., 9 est. Esgotado.
1910 — NIERY DELGADO, J. F. — *Terrains paléozoïques et plio-quaternaires du Portugal : — Étude sur les fossiles des schistes à Nératèles de San Domingo et des Schistes à*
Nératèles et à Graptolites de Barrancos. (Obra póstuma). 68 p., 51 est. Esgotado.
1911 — CHOFFAT, P. & BENSUADE, A. — *Études sur le séisme do Ribatejo de 23 abril 1909.* 146 p., 4 est., 2 cartas. Esgotado.
1912 — CHOFFAT, P. & BENSUADE, A. — *Estudos sobre o sismo do Ribatejo de 23 de Abril de 1909.* (Versão do original francês). Esgotado.

MEMÓRIAS DOS SERVIÇOS GEOLÓGICOS DE PORTUGAL (1918-1952)

- 1919 — PEREIRA DE SOUSA, F. L. — *O terramoto do 1.^o de Novembro de 1755 em Portugal e um estudo demográfico.* Vol. I. Distrito de Faro, Beja
e Évora. p. 1 a 278, 7 est. Esgotado.
1919 — PEREIRA DE SOUSA, F. L. — *Idem.* Vol. II. Distritos de Santarém e Portalegre. p. 279 a 474, 5 est. Esgotado.
1928 — PEREIRA DE SOUSA, F. L. — *Idem.* Vol. III. Distrito de Lisboa. p. 475 a 950, 5 grav. e 6 est.
1932 — PEREIRA DE SOUSA, F. L. — *Idem.* Vol. IV. Distritos de Leiria, Castelo Branco, Coimbra, Guarda, Aveiro e Vizeu. p. 951 a 1014 (Com uma
notícia necrólogica sobre o autor).
1937-38 — FREIRE DE ANDRADE, C. — *Os vares submarinos portugueses e o diastrofismo das Berlengas e da Estremadura.* 249 p., 7 est. geol., 1 carta
tectónica de Portugal na escala de 1:1 000 000 (Com um sumário em inglês à parte).
1945 — TEIXEIRA, C. — *Nymphaéacées fossiles du Portugal.* 13 p., 4 est.
1947 — CHOFFAT, P. — *Description de la faune jurassique du Portugal : — Brachiopodes.* 46 p., 19 est. (Publicação póstuma). (Coordenação e preâm-
bulo por C. TEIXEIRA).
1948 — TEIXEIRA, C. — *Flora mesozoica portuguesa.* 1.^a parte. 119 p., 45 est.
1949 — RIBEIRO, C. — *Vista da côte portugaise entre l'estuaire de la rivière de Macéira et Pedra do Frade à l'Ouest de Cezimbra.* 3 p., 13 est. Publi-
cação póstuma (Coordenação e texto de G. ZBYSZEWSKI). Esgotado.
1949 — ZBYSZEWSKI, G. — *Les vertébrés du Burgalais supérieur de Lisbonne.* 77 p., 22 est.
1949 — MENDONÇA CORREIA, A. & TEIXEIRA, C. — *A jazida pré-histórica de Eira Pedrinha (Condeixa).* 65 p., 16 est.
1950 — TEIXEIRA, C. — *Flora mesozoica portuguesa.* II.^a parte. 33 p., 13 est.
1951 — CHOFFAT, P. — *Planches et coupes géologiques de la région éruptive au Nord du Tage.* 3 p., 23 est., 1 carta. (Publicação póstuma). (Coordenação
e apresentado por A. DE CASTELO BRANCO).
1952 — PEREIRA DE SOUSA, F. L. — *Edições geológicas da parte ocidental de Angola.* (Publicação póstuma). (Texto explicativo por M. MONTENEGRO
de ANDRADE). 12 p., 8 est., 2 cartas.

MEMÓRIAS DOS SERVIÇOS GEOLÓGICOS DE PORTUGAL (Nova Série)

- 1953 — BERGOUNIUX, F. M., ZBYSZEWSKI, G. & CROUZEL, F. — *Les Mastodontes miocènes du Portugal.* 139 p., 60 est. (Mem. n.^o 1).
1957 — LAPPARENT, A. F. D. & ZBYSZEWSKI, G. — *Les Dinosaures du Portugal.* 64 p., 36 est. (Mem. n.^o 2).
1959 — ZBYSZEWSKI, G. — *Étude géologique de l'aire typhonique de Caldas da Rainha.* 184 p., 11 est., 1 carta geol. (Mem. n.^o 3).
1959 — CASTELLO BRANCO, A. & ZBYSZEWSKI, G., MOTINHO DE ALMEIDA, F., VEIGA FERREIRA, O. DA, TORRE DE ASSUNÇÃO, C. F., MACHADO, F.,
NASCIMENTO, M., DENIZ, A. F. & TAZIEFF, H. — *Le Volcanisme de l'Ile de Faial et l'Eruption du Volcan de Capelinhos.* 104 p., 5
quadros, 2 cartas geol. (Mem. n.^o 4). Contém, em carteira, Notícia explicativa da fôrma Faial (Açores) da Carta Geológica de Portugal
na escala de 1:25 000 por G. ZBYSZEWSKI, F. MOTINHO DE ALMEIDA, O. DA VEIGA FERREIRA & C. TORRE DE ASSUNÇÃO.
1959 — REAL, F. — *Intrusões Kimberíticas da Lunda. Contribuição para o conhecimento do Karroo de Angola.* 118 p., 11 fig., 36 est. Contém, em car-
teira, 3 estudos geológicos. (Mem. n.^o 5).
1960 — SUNAGAWA, I. — *Gravels and etch features of hematite crystals from the Azores Islands, Portugal.* 47 p., 17 fig., 21 est. (Mem. n.^o 6).
1961 — RUGET-PERROT, CH. — *Études stratigraphiques sur le Dogger et le Malm inférieur du Portugal au nord du Tage.* 197 p., 11 est., 3 cartas. (Mem.
n.^o 7).
1961 — LEISNER, V., ZBYSZEWSKI, G., & VEIGA FERREIRA, O. DA — *Les Grottes Artificielles de Casal do Pardo (Palmela) et la Culture du Vase Cam-*
paniforme. 62 p., 22 est. (Mem. n.^o 8).
1962 — CUNHA, J., CORREIA DA, MACHADO, F., RICHARDS, A. F., HERSEY, J. B., MC GUINNESS, W. T., ZBYSZEWSKI, G., VEIGA FERREIRA, O. DA, CAM-
POS, V. S., & GARCIA, J. A. S. — *Le Volcanisme de l'Ile de Faial et l'éruption du volcan de Capelinhos (Deuxième partie).* (Mem. n.^o 9)