

Novos Conceitos em Vulcanologia: Erupções, Produtos e Paisagens Vulcânicas

JOÃO CARLOS NUNES

Universidade dos Açores – Departamento de Geociências, Rua da Mãe de Deus, Apartado 1422. 9501-801 Ponta Delgada.

Email: jcnunes@notes.uac.pt

Resumo: A nomenclatura vulcanológica, em especial aquela associada ao estudo do vulcanismo explosivo, sofreu uma evolução muito significativa nas últimas décadas. Apresentar uma revisão dessa nomenclatura é o propósito central do presente trabalho. Os diferentes estilos que caracterizam as erupções vulcânicas são, de acordo com a classificação de G. Walker: havaiano, estromboliano, vulcaniano, sub-pliniano, pliniano, ultrapliniano, surtseiano e freatopliniano. A classificação dos produtos vulcânicos faz-se segundo diferentes perspectivas, designadamente em função da sua composição química (cf. basaltos, dacitos, riolitos), características morfo-texturais (cf. escória, pedra pomes) e génese (cf. escoadas lávicas, piroclastos de queda, escoadas piroclásticas e escoadas de lama). A morfologia vulcânica é composta por um vasto conjunto de formas, que inclui edifícios de grandes dimensões (e.g. vulcões em escudo e estratovulcões), cones vulcânicos monogenéticos (e.g. cones de escórias e cones de tufos), formas efusivas (e.g. domos e *coulées*) e diversos micro-relevos e estruturas vulcânicas.

Palavras-chave: vulcões, erupções, estilos eruptivos, modelado vulcânico, rochas vulcânicas.

Abstract: The vast volcanologic nomenclature, especially that related with the explosive volcanism, has undertaken a significant evolution during the last decades. The present state-of-the-art of that nomenclature is the main purpose of this work. In compliance with G. Walker classification system, the eruptive styles are: hawaiian, strombolian, vulcanian, sub-plinian, plinian, ultraplinian, surtseyan and phreatoplinian. Volcanic products can be classified in several ways, namely in accordance to the chemical composition (cf. basalts, dacites, rhyolites), morpho-textural features (cf. scoria and pumice) and genesis of the rocks (cf. lava flows, fall tephra, pyroclastic flows and mud flows). Several forms compose the volcanic landscape, which includes major volcanic edifices (e.g. shield volcanoes and stratovolcanoes), monogenetic cones (e.g. scoria and tuff cones), effusive forms (e.g. domes and *coulées*) and several small edifices and volcanic structures.

Key-words: volcanoes, eruptions, eruptive styles, volcanic landscapes, volcanic rocks.

1. Introdução

As ciências vulcanológicas conheceram, nas últimas décadas, avanços muito significativos, sob variados aspectos, para o que contribuíram, entre outros factores, um maior interesse pelos fenómenos vulcânicos, a instalação de observatórios na proximidade de alguns dos mais importantes vulcões activos do globo e uma consciencialização da necessidade de medidas de minimização dos impactos negativos associados ao vulcanismo. Dessa evolução, patente na publicação de numerosos artigos e livros da especialidade, resultou a inclusão no léxico da moderna Vulcanologia de uma variada série de novos termos e de designações ou, ainda, a reestruturação de alguns dos conceitos tradicionais e clássicos.

O presente trabalho tem, assim, o propósito de promover uma revisão dos principais conceitos em Vulcanologia, na perspectiva de que possa constituir uma ferramenta de apoio aos docentes e discentes da área das Ciências da Terra, em geral e da Geologia, em particular. Dado o carácter essencialmente didáctico do presente trabalho, optou-se por elaborar um texto isento de referências bibliográficas (pelo menos de um modo sistemático), tornando, porventura, menos fastidiosa a sua leitura e consulta. Deste modo, a presente abordagem, necessaria-

mente sumária e não exaustiva, deve ser complementada com a leitura da bibliografia indicada. Finalmente, procurou utilizar-se uma linguagem simples, embora não desprovida do rigor científico exigível num texto desta natureza e, na estruturação do trabalho recorreu-se, frequentemente, a uma esquematização dos diferentes conceitos analisados, que foram agrupados em três capítulos principais: erupções, produtos e paisagens vulcânicas.

2. Erupções Vulcânicas

A classificação das erupções vulcânicas revela-se uma tarefa difícil e complexa, uma vez que, frequentemente, estas são caracterizadas pela ocorrência de diferentes tipos de fenómenos, que podem surgir ao mesmo tempo, ou intercalados num curto espaço de tempo, em locais distintos de um dado aparelho vulcânico. Atendendo a esta complexidade, torna-se mais fácil e verosímil caracterizar os vários tipos de actividade que ocorrem durante uma erupção, o que pode ser feito segundo diferentes perspectivas e tendo em conta diversos factores. Assim:

- a) a actividade vulcânica pode ser classificada como efusiva ou explosiva. Na actividade efusiva

predomina a emissão de escoadas lávicas (Foto 1), enquanto que nas erupções explosivas são emitidos predominantemente materiais piroclásticos e gases a grande velocidade (Foto 2).

b) a actividade vulcânica pode envolver, ou não, água exterior ao magma. Não envolvendo água exterior ao magma, diz-se subaérea, enquanto que, se há interacção com água, a actividade vulcânica pode ser classificada em:

- hidrovulcânica (também designada de freato-magmática ou hidromagmática – Foto 3): trata-se de uma actividade explosiva, resultante de uma interacção directa magma/lava-água, quer esta seja água subterrânea ou água superficial, incluindo água do mar, meteórica, hidrotermal ou de um lago;
- freática: quando se dá a vaporização de água subterrânea existente em formações rochosas (vulcânicas ou não), pelo facto destas terem sido aquecidas por uma fonte de calor (e.g. magma em ascensão/movimento). Assim, nestas erupções explosivas não há contacto directo entre o magma e a água e, do mesmo modo, não há emissão de material magmático: dá-se, apenas, a fragmentação e a projecção das rochas de cobertura/ envoltentes, em consequência da brusca e violenta vaporização da água;
- sub-glacial: quando ocorre sob importantes massas de gelo (e.g. vales ou calotes glaciares). Frequentes na Islândia, estas erupções são responsáveis pela formação de *jokulhlaups*, ou seja, “torrentes de água glacial”, de caudal importante e de significativo poder destrutivo.

c) a actividade vulcânica classifica-se, em função do tipo de conduta emissora, em centrada ou fissural. A actividade centrada dá-se a partir de condutas genericamente tubulares, gerando edifícios vulcânicos cónicos de maiores ou menores dimensões, enquanto que na actividade fissural a lava é emitida a partir de fissuras eruptivas mais ou menos extensas (Foto 4).

d) a actividade vulcânica diz-se monogenética, se cessa após um único episódio eruptivo, em geral de curta duração (alguns meses a anos). Pelo contrário, designa-se por poligenética, quando uma sucessão de diferentes episódios vulcânicos centrados e/ou fissurais, durante um período de tempo de alguns milhares a dezenas de milhar de anos, origina um edifício vulcânico de grandes dimensões (Foto 5).

e) a actividade vulcânica denomina-se secundária (também chamada de adventícia, satélite ou parasita), quando o centro emissor (*vent*) se localiza

nos flancos de um edifício vulcânico principal. A actividade secundária, em função do posicionamento dos centros emissores no vulcão principal, pode ser (Figuras 1 e 2):

- terminal ou sub-terminal, consoante haja extrusão a partir de centros emissores localizados no topo do cone, ou muito próximo deste, respectivamente (incluindo no interior duma cratera terminal);

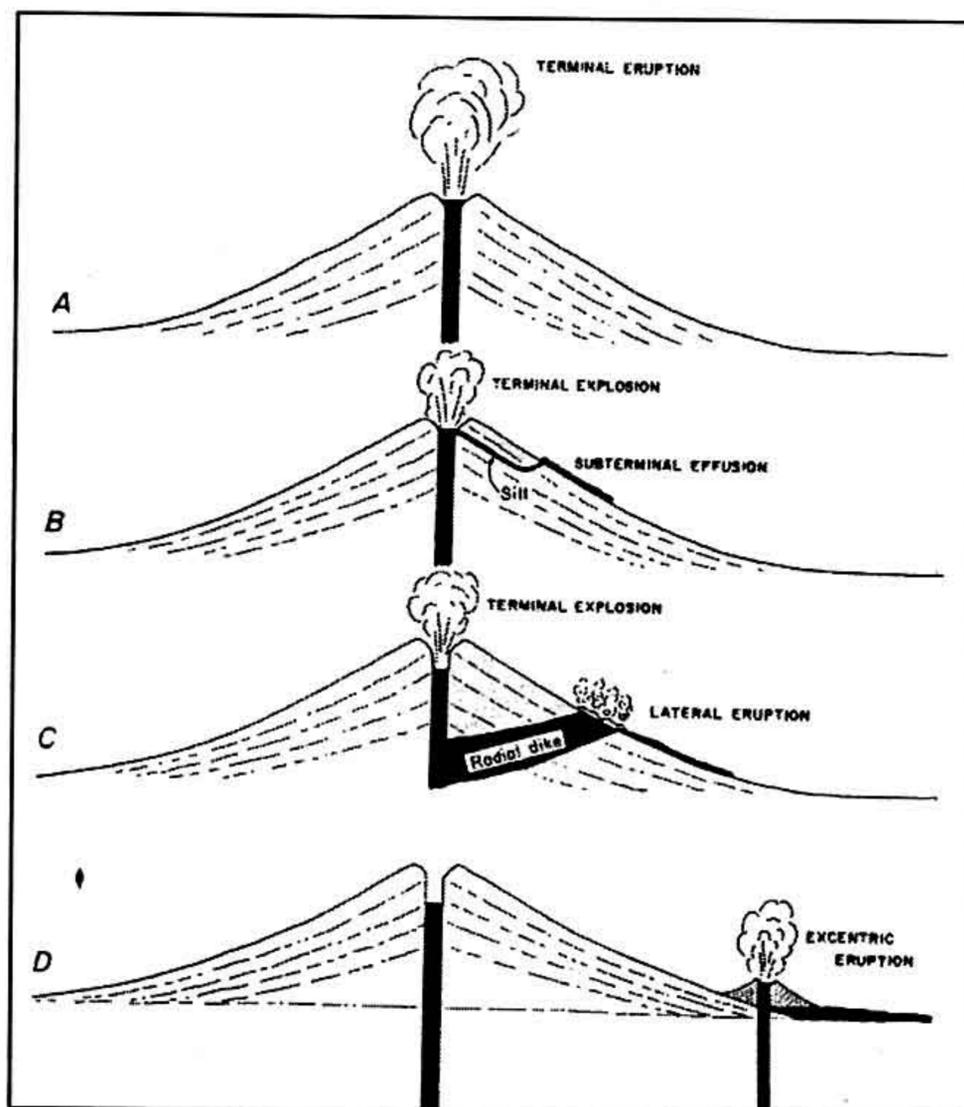


Fig. 1 – Tipos de actividade vulcânica adventícia, função do posicionamento dos centros emissores. In: MACDONALD (1972).

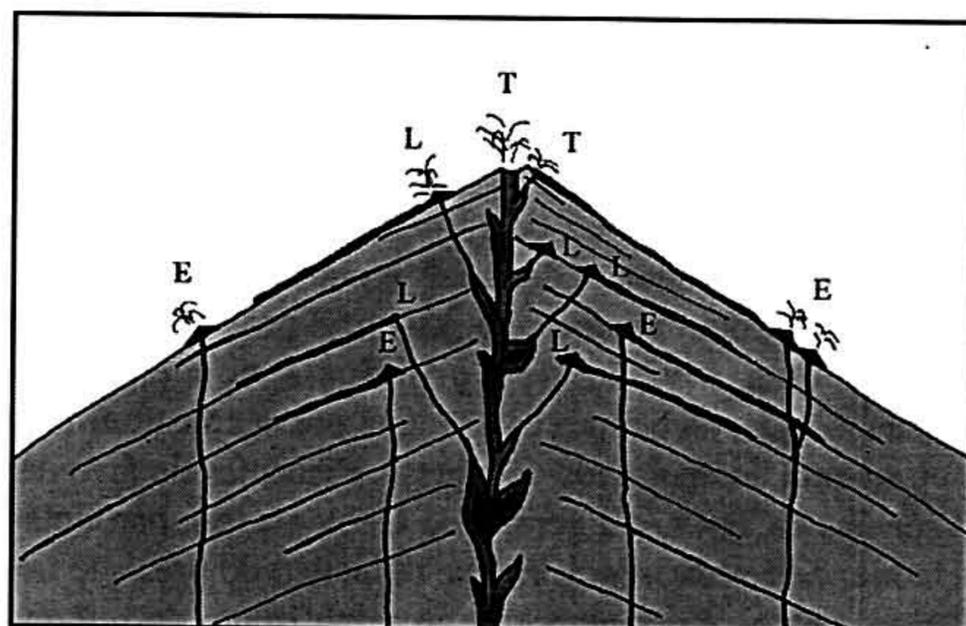


Fig. 2 – Tipos de actividade vulcânica adventícia na Montanha do Pico (Açores); T – terminal ou sub-terminal; L – lateral; E – excêntrica. In: NUNES (1999).

- lateral, se a extrusão se dá nos flancos do cone alimentada por intrusões magmáticas (e.g. sistema filoniano), frequentemente dispostas ao longo de um conjunto de fracturas radiais ao edifício vulcânico;
 - excêntrica, tal como no caso anterior, mas em que a ascensão magmática se processa ao longo de fissuras não directamente interligadas à condução de alimentação central do vulcão. Neste caso, a presença de fracturas controladas pela tectónica local/regional favorecem essa extrusão excêntrica da lava;
 - intra-caldeira (Foto 6), quando o centro emissor está implantado no interior de uma depressão vulcânica de grandes dimensões (e.g. caldeira).
- f) de acordo com a classificação de GEORGE WALKER, a actividade vulcânica pode ser: havaiana, estromboliana, vulcaniana, sub-pliniana, pliniana, ultrapliniana, surtseiana e freatopliniana. Esta classificação, proposta inicialmente em 1973, identifica e caracteriza (qualitativa e quantitativamente) diferentes estilos eruptivos, retomando algumas das designações clássicas propostas em 1908 por A. LACROIX para as erupções vulcânicas (cf. “havaianas, estrombolianas, vulcanianas e peleanas”).

Na classificação de G. WALKER (Figura 3), a distinção entre os diferentes estilos eruptivos é feita em função

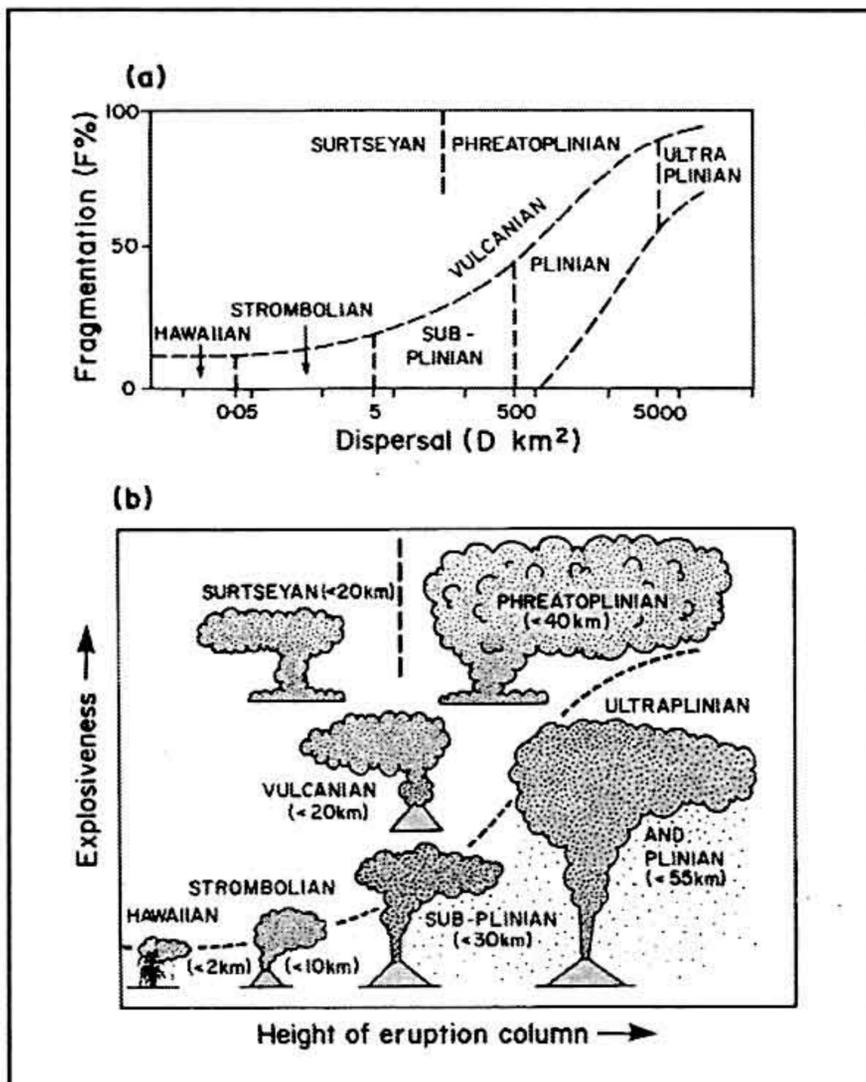


Fig. 3 - Classificação da actividade vulcânica proposta por G. WALKER. In: CAS e WRIGHT (1987).

de vários parâmetros, tais como: 1) a magnitude da fase eruptiva, determinada em função do volume total emitido; 2) o poder dispersivo, definido pela área coberta por piroclastos de queda; 3) a intensidade, dependente da altura da coluna eruptiva; e 4) o potencial destrutivo da erupção, definido pela área abrangida pela isopaca de 1 metro. Apresenta-se, de seguida, uma caracterização sumária de cada um daqueles tipos de actividade vulcânica:

- i) havaiana (do arquipélago do Hawai, EUA): predominantemente efusiva, com a emissão de volumes significativos de escoadas lávicas basálticas, muitas vezes a partir de fissuras eruptivas (Figura 4); sobretudo na fase inicial das erupções, há extrusão de pequenos volumes de depósitos piroclásticos, sob a forma de “repuxos lávicos” (*lava ou fire fountains*) e de acumulações de *spatter*; formação de vulcões em escudo (*shield volcanoes*), lagos de lava e extensos mantos lávicos;

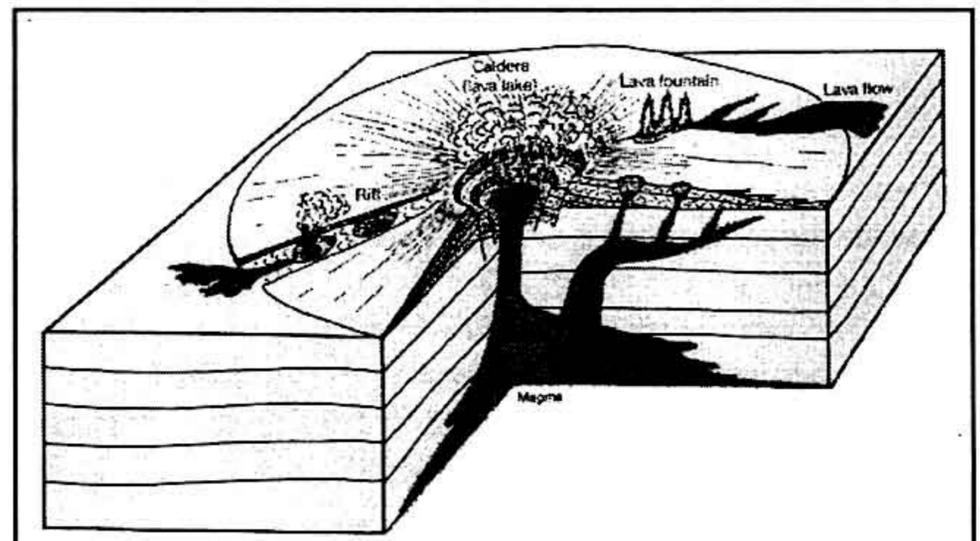


Fig. 4 - Representação esquemática da actividade havaiana. In: KRAFFT e KRAFFT (1975).

- ii) estromboliana (de Stromboli, Itália): moderadamente explosiva, caracterizada por várias explosões discretas e intermitentes, sem uma coluna eruptiva permanente (e em geral inferior a 500 m de altura); característica de magmas básicos; projecção de bombas e de *lapilli* escoriáceos (com trajectória balística - Foto 7); formação de cones de escórias (*scoria cones*) e escoadas lávicas associadas;
- iii) vulcaniana (de Vulcano, Itália): maior explosividade na sua fase inicial, com a formação de uma brecha de explosão associada à desobstrução da condução, selada por um rolhão (*plug*) formado durante uma fase eruptiva anterior; projecção de grandes blocos/bombas; coluna eruptiva de 10 a 20 km de altura (Figura 5), resultante de repetidas e contínuas explosões de

pequena a moderada magnitude; comum em vulcões poligenéticos, onde provoca a destruição de partes do edifício vulcânico, incluindo a formação de crateras de explosão; associada a magmas de maior viscosidade (e.g. andesito), pelo que eventuais escoadas lávicas são de reduzida extensão;

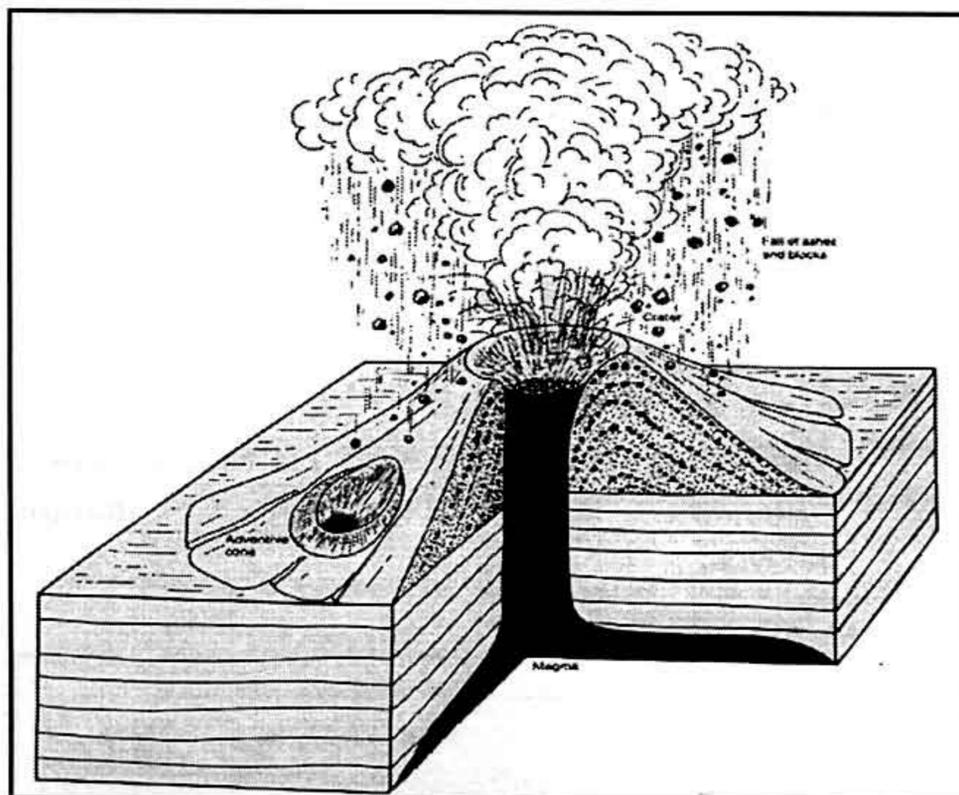


Fig. 5 – Representação esquemática da actividade vulcaniana.
In: KRAFFT e KRAFFT (1975).

- iv) sub-pliniana ou vesuviana (de Vesúvio, Itália): muito explosiva, com colunas eruptivas até cerca de 30 km de altura e que se mantêm por longos períodos de tempo (Foto 8); emissão de grandes volumes de tefra; associada a magmas dacíticos e riolíticos; velocidades de ejeção de 100 a 400 ms; as fases efusivas associadas dão origem a domos (também designados por “domas”) e coulées;
- v) pliniana (de “Plíneo, O Jovem”, historiador romano): grande explosividade, com colunas eruptivas convectivas que atingem a estratosfera, com alturas máximas da ordem de 45 km; velocidades de ejeção de 400 a 600 m/s; grande dispersão de tefra (e.g. pedra pomes), que cobrem uniformemente grandes áreas; típica de magmas diferenciados, muito viscosos (siliciosos), nomeadamente de composição traquítica, fonolítica e riolítica; produção de escoadas piroclásticas e génese de caldeiras de subsidência (Figura 6);

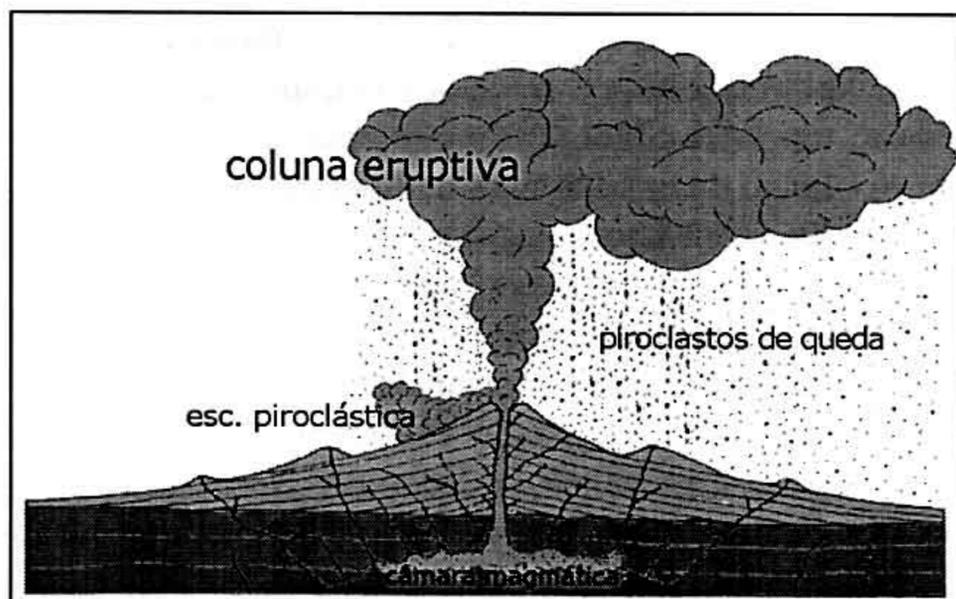


Fig. 6 – Representação esquemática da actividade sub-pliniana a pliniana. Adaptado de MACDONALD (1972).

- vi) ultrapliniana: elevada explosividade, com grande dispersão de tefra; as colunas eruptivas atingem cerca de 50 km de altura; tal como nas actividades sub-pliniana e pliniana, a actividade eruptiva pode durar de algumas horas a poucos dias, terminando muitas vezes com a formação de escoadas piroclásticas;
- vii) surtseiana (da Ilha de Surtsey, Islândia): actividade hidrovulcânica equivalente às estrombolianas, associada a magmas básicos; provoca uma descoloração da água e a formação de bancos/ilhas; vigorosas colunas eruptivas, de vapor e cinzas, estas últimas sob a forma de “jactos cipressóides” de cor escura (Foto 9); formação de *base surges*; várias semanas a meses de duração; edificação de anéis e de cones de tufos surtseianos;
- viii) freatoplíniana: actividade hidrovulcânica equivalente às sub-plinianas e plinianas, associada a magmas siliciosos; origina depósitos de cinzas muito finas e de grande dispersão; formação de depósitos tipo *surges*; grandes colunas eruptivas, que podem atingir cerca de 40 km de altura.

Na classificação de G. WALKER, a actividade surtseiana (e.g. Capelinhos, 1957) e a freatoplíniana (e.g. Askja, Islândia, 1875) correspondem a erupções hidrovulcânicas (com interacção magma-água) em águas pouco profundas, estando associadas, respectivamente, a magmas básicos (e.g. basálticos) e a magmas ácidos (e.g. riolíticos).

Por outro lado, a designação de “actividade peleana” (de Monte Pelée, Caraíbas), ainda utilizada por alguns autores, é melhor caracterizada, no contexto da classificação de G. WALKER, como vulcaniana, ou pliniana. Genericamente, pode caracterizar-se a actividade peleana como estando associada a: magmas muito viscosos (e.g. dacíticos e riolíticos); génese de domos, agulhas e

coulées; “nuvens ardentes”, geradas pelo colapso e/ou explosões nos flancos de domos e de *coulées* (Figura 7).

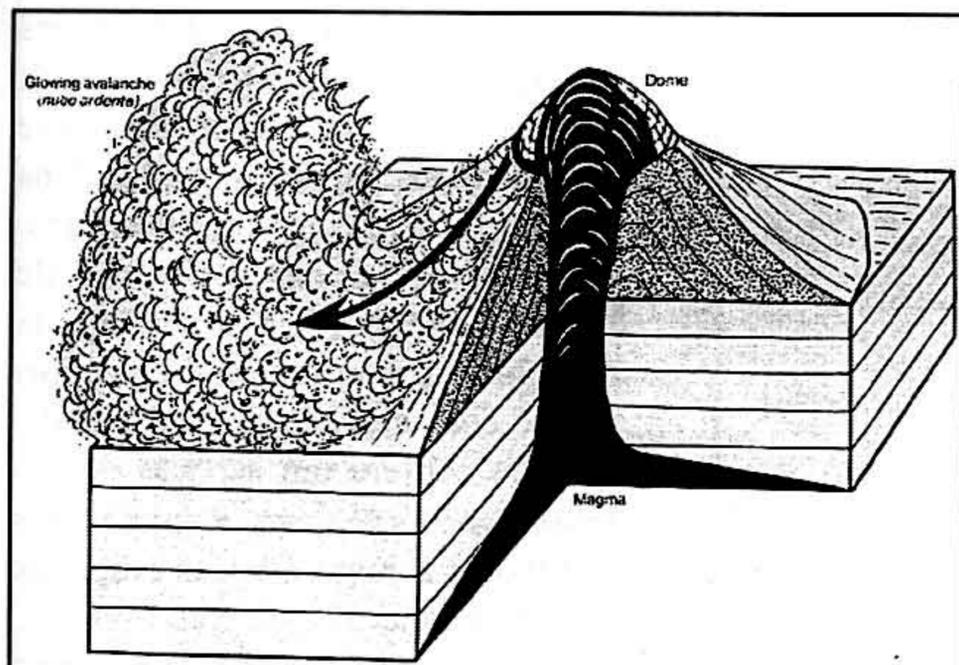


Fig. 7 – Representação esquemática da actividade peleana. In: KRAFFT e KRAFFT (1975).

Refira-se, por fim, que a denominação de actividade “*serretiana*” (de Serreta, Ilha Terceira) foi recentemente proposta por V.H. FORJAZ para uma actividade hidrovulcânica associada a magmas básicos de elevada fluidez, em águas “profundas” (da ordem de 500-700m). Os elementos recolhidos durante a erupção do “Vulcão Oceânico da Serreta” (1998/2000), indiciam tratar-se de uma actividade marcadamente fissural, condicionada por fundos marinhos de vertentes de alto pendor, o que favoreceu a formação de *pillow lavas* temporariamente flutuantes (Figura 8). Os vestígios superficiais da erupção, reduzidos, incluem (para além das referidas *pillow*

lavas, ou “balões de lava” flutuantes), a emissão de colunas de vapor branco (Foto 10) e a ascensão de piroclastos finos até à superfície da coluna de água.

3. Produtos Vulcânicos

A mais abrangente classificação dos produtos vulcânicos tem em conta o seu quimismo, designadamente os seus teores em sílica e em alcalis. Assim, as rochas ácidas (ou siliciosas – *e.g.* riolito) são as que apresentam maiores teores em sílica, enquanto que as básicas (*e.g.* basalto) se encontram no outro extremo do espectro, havendo todos os termos intermédios (*e.g.* andesitos e dacitos). As rochas siliciosas são compostas predominantemente por quartzo e feldspato e por pequenas quantidades de mica ou de anfíbola. As rochas básicas contêm teores muito menores de SiO₂ (razão pela qual não possuem quartzo livre), mas apresentam quantidades importantes de plagioclase e piroxena, bem como quantidades variáveis de olivina e óxidos.

Uma classificação das rochas vulcânicas em função dos respectivos teores em (Na₂O+K₂O) e em SiO₂ é apresentada na Figura 9, a qual inclui termos como os andesitos, dacitos, havaitos, mugearitos, benmoreitos, traquitos e os basaltos picríticos, entre outros. No domínio dos “basaltos” (rochas vulcânicas que cobrem cerca de 70% da superfície do Planeta Terra!) salienta-se a existência de duas variedades importantes: os toleitos (relativamente enriquecidos em sílica e que contêm minerais ricos em cálcio, como plagioclase e piroxena) e os basaltos alcalinos (mais ricos em Na e K, e que usualmente contêm olivina).

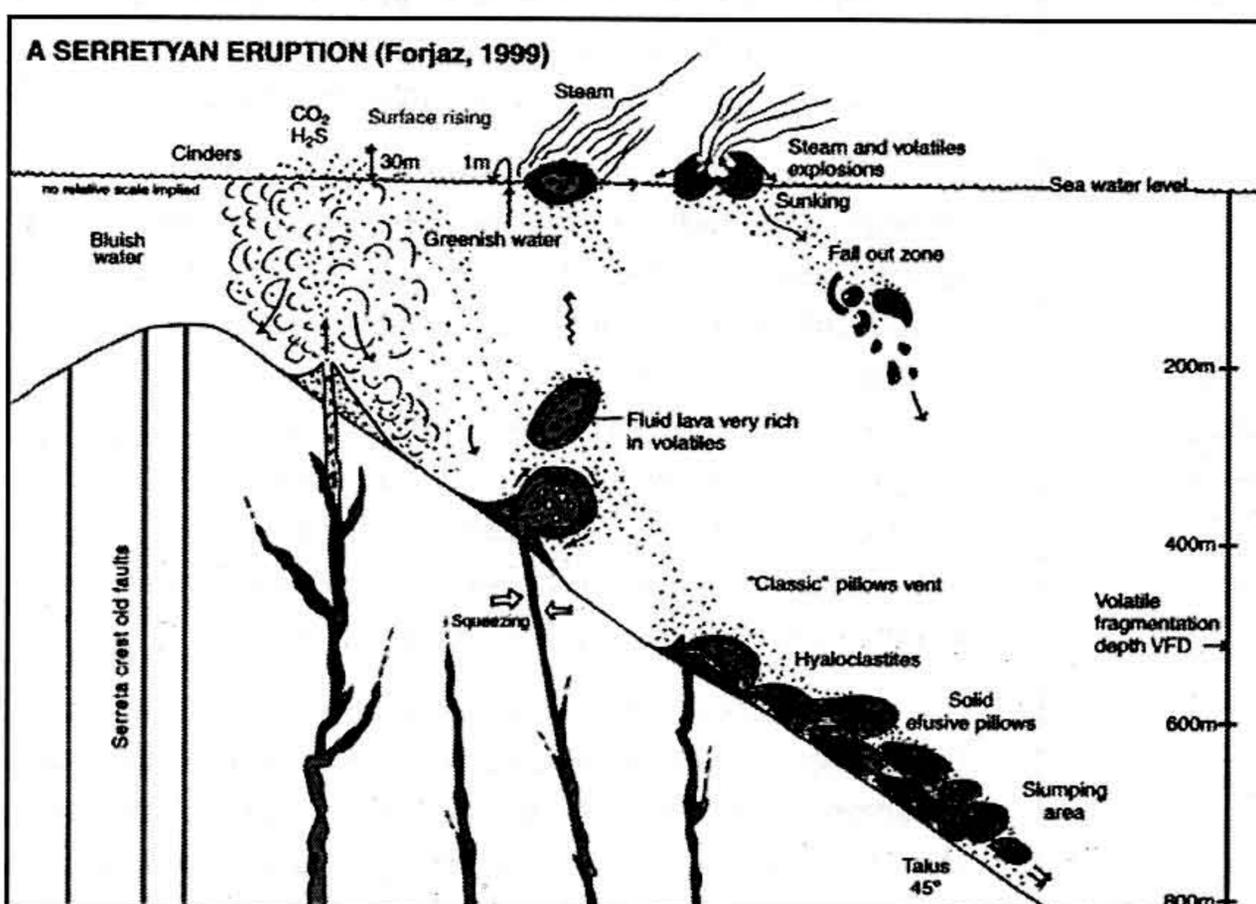


Fig. 8 – Representação esquemática da actividade serretiana. In: FORJAZ et al (2001).

Do ponto de vista vulcanológico, e em função do seu modo de emissão, os produtos vulcânicos podem agrupar-se genericamente em: 1) escoadas lávicas, material em fusão, associado a fases efusivas, que se movimenta ao longo das vertentes e 2) piroclastos, ou tefra, fragmentos projectados como partículas discretas, na dependência de explosões vulcânicas.

As escoadas lávicas possuem uma composição muito variada, desde carbonatíticas a basálticas, dacíticas a riolíticas, sendo que, para além da respectiva composição química, outros parâmetros influenciam as suas propriedades físicas, como é o caso do teor em voláteis, do conteúdo em cristais e do modo de arrefecimento da escoada.

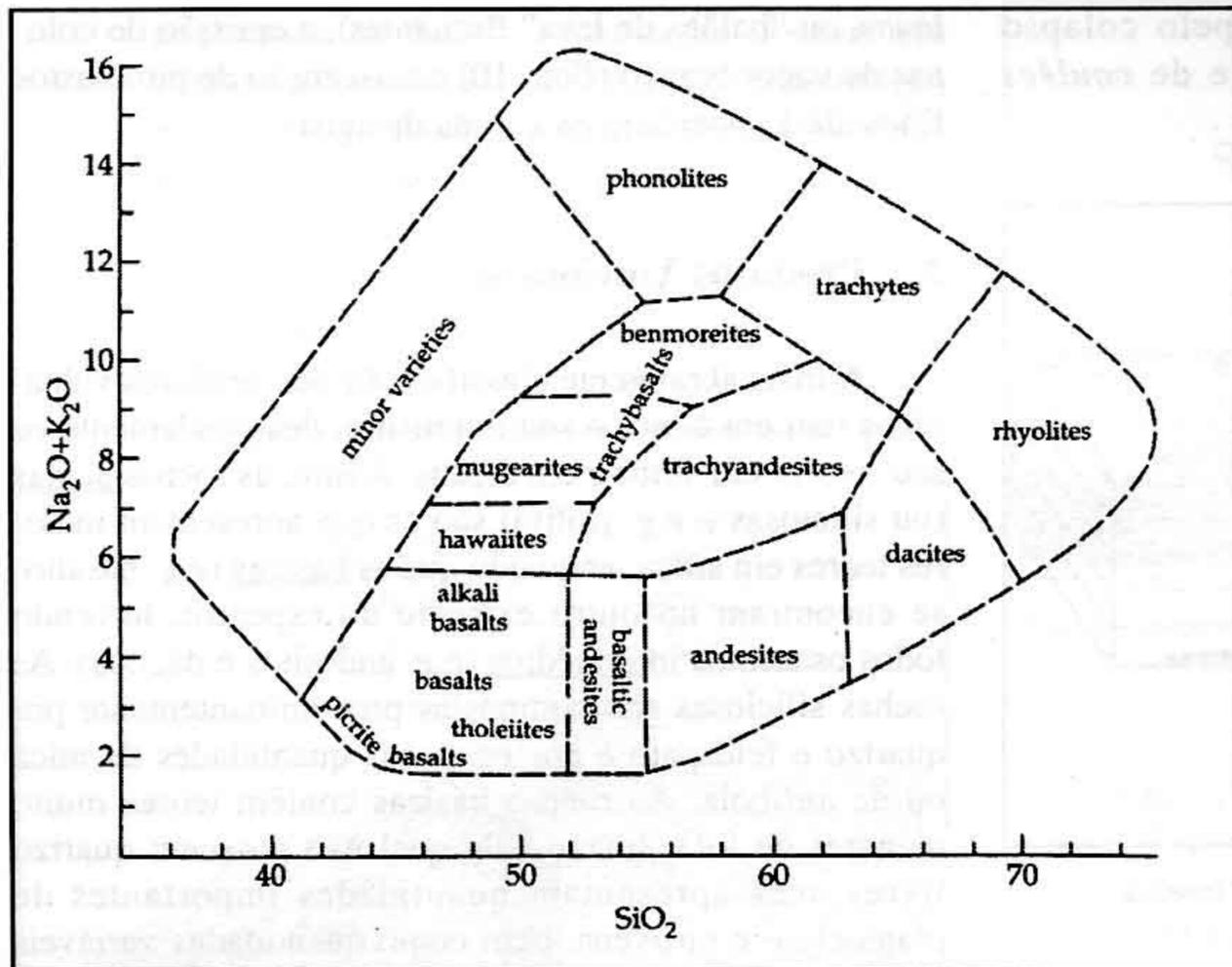


Fig. 9 – Sistema classificativo para as rochas vulcânicas. No campo “minor varieties” estão incluídos diversos tipos de rochas vulcânicas menos comuns. In: FRANCIS (1993).

A classificação mais usual dos materiais efusivos (escoadas lávicas) é relativamente simples e inclui as designações tradicionais de lavas pahoehoe, lavas aa e lavas em blocos, as quais caracterizam a morfologia, ou seja, o aspecto externo/superficial da escoada (Figura 10), caracterizando-se por:

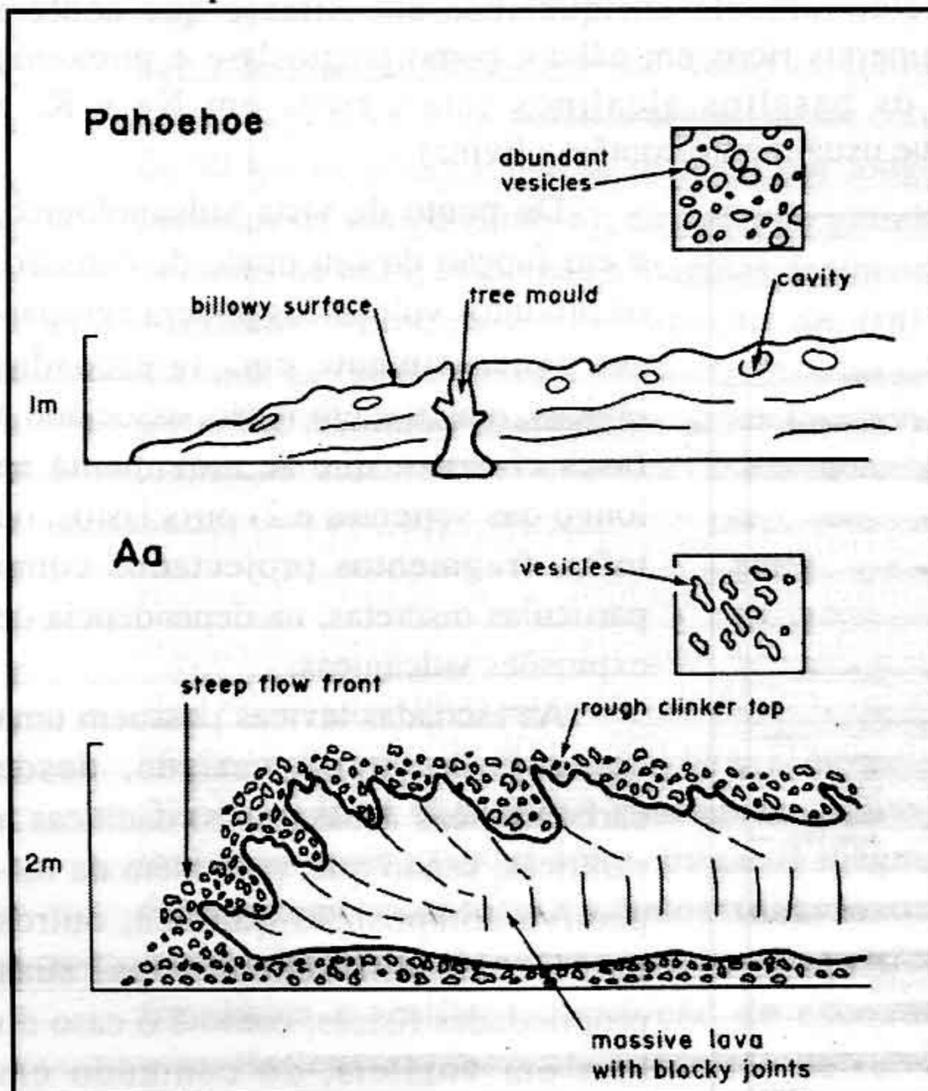


Fig. 10 – Cortes longitudinais esquemáticos para as escoadas pahoehoe e aa. In: CAS e WRIGHT (1987).

- escoadas pahoehoe (Foto 11 e Figura 10): superfície contínua, lisa ou ligeiramente ondulada, neste caso sob a forma de diversos lóbulos convexos de pequenas dimensões (designados por *pahoehoe toes*); esta morfologia é popularmente designada de “lajes” ou “lajidos” na Ilha do Pico (Açores), termos que o autor propõe como sinónimos de “lavas pahoehoe”; a superfície da escoada apresenta-se frequentemente com elevada vesicularidade, que lhe confere um aspecto esponjoso (*spongy*); em zonas mais declivosas e junto a bocas eruptivas caracterizadas por baixas taxas de efusão, são comuns morfologias pahoehoe do tipo “lavas em tripa” (*driblet* ou *entrail pahoehoe lava* – Foto 12); outras micro-estruturas comuns são a lava encordoada (*ropy lava*), rendilhada e entrançada;

- escoadas aa (Foto 13): apresentam uma superfície muito irregular, espinhosa e áspera, de fragmentos soltos e escoriáceos, de dimensões variadas; estes níveis de fragmentação (designados por *clinker*) apresentam espessuras variáveis e desenvolvem-se no topo e na base da escoada/unidade de fluxo (Figura 10);
- lavas em blocos (*blocky lava*): composta por blocos de lava, usualmente regulares, maciços e de superfícies lisas, que apresentam grandes dimensões, por vezes métricas; frente da escoada muito declivosa, com várias dezenas de metros de altura.

Neste contexto, deve salientar-se que as escoadas lávicas, sobretudo os dois primeiros tipos acima referidos, podem apresentar-se como unidades de fluxo (*flow units*) únicas (usualmente associadas a taxas de emissão elevadas), denominando-se, então, por escoadas simples (Figura 11 e Foto 14). Pelo contrário, as escoadas compostas (*compound flows*) caracterizam-se por diversas unidades de fluxo, usualmente pequenas e pouco espessas, sobrepostas umas relativamente às outras, que arrefeceram simultaneamente (Figura 11 e Foto 15).

As observações de terreno comprovam que, em muitas situações, a superfície das escoadas lávicas apresenta características que retratam uma menor fluidez das escoadas, ou das unidades de fluxo, às quais correspondem estádios de viscosidade intermédios entre as escoadas pahoehoe e as aa. Surgiram, assim, designações comple-

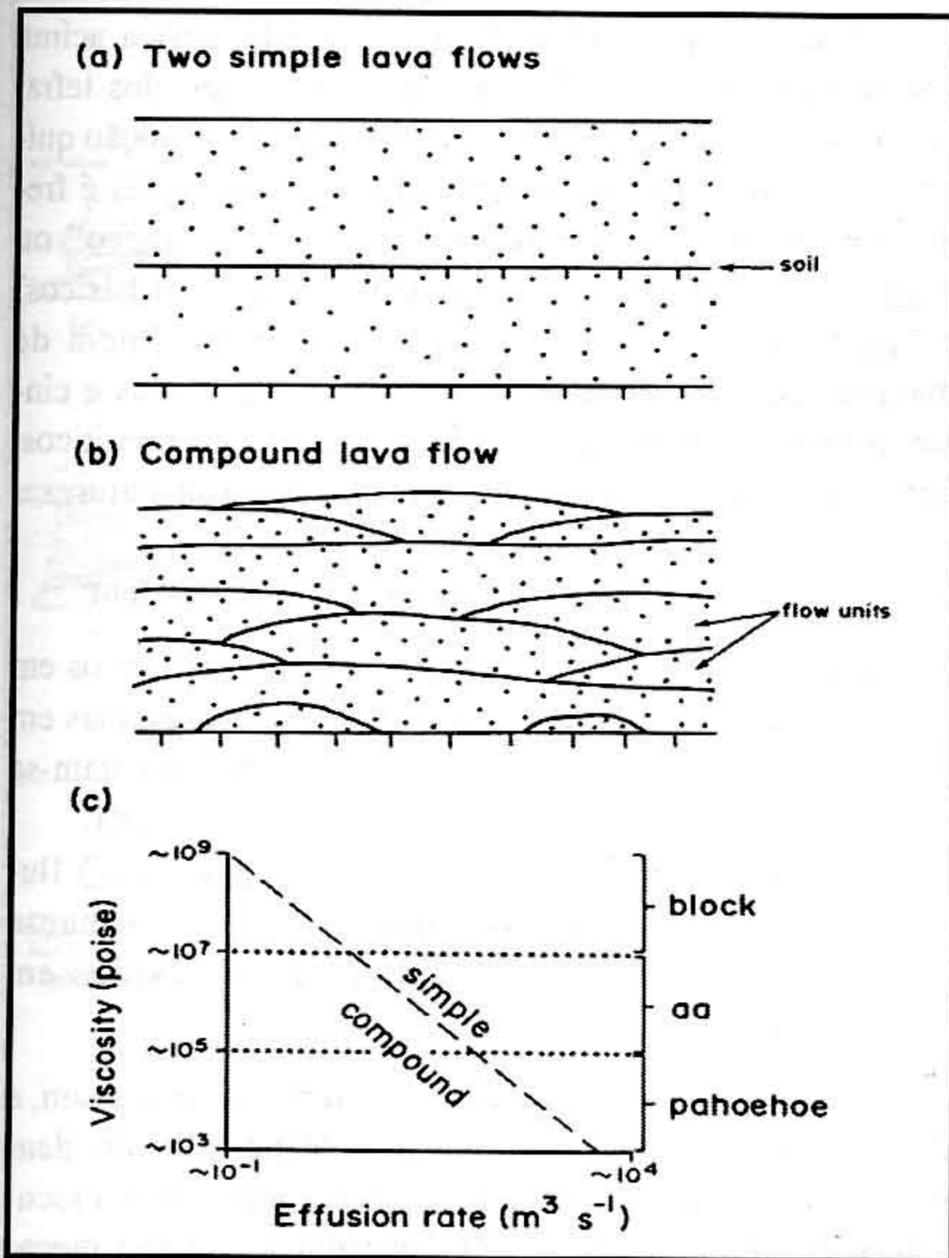


Fig. 11 – Representação esquemática de escoadas simples e de escoadas compostas. In: CAS E WRIGHT (1987).

mentares àquelas mais tradicionais acima referidas, e que incluem as “lavas pahoehoe imperfeitas” (*rough pahoehoe*), as lavas “pasta de dentes” (*toothpaste lava* – Foto 16) e as “lavas em placas” (*slab pahoehoe*). Estes tipos de morfologia apresentam como característica comum uma superfície espinhosa, irregular e/ou ondulada, que contrasta com a suave morfologia das escoadas *pahoehoe*.

As escoadas lávicas *aa*, por seu turno, evidenciam diferentes características consoante a distância ao respectivo centro emissor, podendo distinguir-se sobretudo dois tipos: “proximais” e “distais”. As escoadas lávicas *aa* proximais, mais fluidas, que apresentam uma viscosidade semelhante à das lavas *toothpaste* e apresentam usualmente espessuras pequenas, segundo canais lávicos pouco profundos (Foto 17). Pelo contrário, as escoadas *aa* distais atingem espessuras usualmente superiores a 10 metros, com uma frente de escoada elevada, composta por *clinker* com fragmentos de dimensões muito variadas (desde blocos a areia). É igualmente nas zonas distais das escoadas lávicas *aa* que se observa uma maior profusão de “bolas lávicas de acreção” (*accretionary lava balls*), estruturas vulcânicas concêntricas típicas destas escoadas lávicas (Foto 18) e que se formam por um processo idên-

tico ao das bolas-de-neve, a partir de um fragmento sólido que é incorporado na lava, viscosa, em movimento.

As lavas *pahoehoe* e *aa* são muitas vezes emitidas de um mesmo centro eruptivo, sendo factores como a taxa de efusão, a viscosidade do magma, a morfologia e a inclinação da superfície de escoamento que determinam o aspecto superficial evidenciado pela escoada lávica. Refira-se, contudo, que enquanto que as lavas *pahoehoe* podem evoluir para lavas *aa* (cf. arrefecimento da lava), o inverso nunca acontece!

Por outro lado, as lavas *pahoehoe* típicas desenvolvem-se quase exclusivamente em escoadas basálticas de baixa viscosidade, enquanto que as lavas *aa* podem encontrar-se numa maior variedade de escoadas lávicas, incluindo nomeadamente os andesitos basálticos. Ao invés, as “lavas em blocos” são típicas das escoadas lávicas andesíticas, nas quais nunca foram encontradas morfologias no tipo *pahoehoe*. Por fim, a extrusão de escoadas lávicas de elevada viscosidade (*e.g.* dacíticas e riolíticas) origina morfologias típicas, caracterizadas por níveis de obsidiana, laminação pronunciada e formas de relevo elevadas, espessas e de bordos declivosos, as quais incluem os domos e as *coulées*, referidas mais adiante.

Os piroclastos, por seu turno, incluem sobretudo fragmentos resultantes directamente do arrefecimento e da solidificação de magma, bem como da fragmentação de rochas encaixantes, pré-existent e já consolidadas. Função das suas características morfo-texturais, os produtos piroclásticos são vulgarmente agrupados em:

- pedra pomes (*pumice*): tefra de cor clara (Foto 19), associada a erupções explosivas de magmas diferenciados, siliciosos a intermédios (*e.g.* fonolíticos e traquíticos); constituem fragmentos muito vesiculados, de grande porosidade e baixa densidade ($<1\text{g/cm}^3$); mais raramente, apresenta uma coloração mais escura (cf. composição mais básica) e densidade mais elevada, designando-se por reticulite; se resultante de magmas porfíricos, apresenta cristais; vesículas de aspecto fibroso; emitida no estado sólido, pelo que apresenta usualmente formas angulosas (*e.g.* blocos);
- líticos: fragmentos rochosos, usualmente densos e maciços, observados nos depósitos piroclásticos, quer resultem, ou não, da solidificação do magma emitido (Foto 19); os fragmentos de rochas mais antigas do mesmo vulcão, e associados a erupções anteriores, denominam-se líticos acessórios; os fragmentos não relacionados com uma actividade vulcânica e que foram arrancados ao substrato (por exemplo de rochas calcárias) denominam-se líticos acidentais;

- **escórias** (*scoria* ou *cinder*): tefra de cor escura e aspecto frequentemente esmaltado/iridiscente (Foto 20); com vesicularidade, densidade e formas muito variadas; associadas a magmas pouco viscosos (básicos a intermédios), nomeadamente basáltico-andesíticos; emitidas ainda fluidas, solidificam no ar ou depois de atingirem o solo, o que lhes confere formas muito diversas.

Neste âmbito, refira-se que os *spatter* (“salpicos de lava” ou “emplastos”) são igualmente piroclastos (e.g. basálticos) que atingem o solo ainda bastante fluidos e plásticos, uma vez que se acumulam muito próximo do centro emissor. Por este motivo moldam-se uns aos outros (deformando-se plasticamente), dando um depósito aglutinado (Foto 21) que, por este motivo, é susceptível de apresentar declives acentuados. Distinguem-se, assim, dos depósitos de escórias, os quais constituem acumulações de piroclastos soltos, logo, mais instáveis e sujeitos a movimentos de massa do tipo *grain flow* (“escorregamentos de grãos” – Foto 20).

Por outro lado, do ponto de vista genético, os materiais piroclásticos podem agrupar-se em: 1) piroclastos de queda e 2) piroclastos de fluxo (ver Figura 6). No primeiro caso, os fragmentos, essencialmente gravíticos, atingem o solo por queda livre, quer a partir de uma coluna eruptiva, quer projectados balisticamente a partir da boca emissora. No segundo caso, os piroclastos movimentam-se ao longo das encostas do edifício vulcânico sob a forma de uma escoada.

Os piroclastos de queda, em função da granulometria dos clastos/fragmentos, classificam-se em:

- 1.1 – cinzas: se apresentam dimensões inferiores a 2 mm;
- 1.2 – lapilli: quando os clastos têm dimensões compreendidas entre 2 a 64 mm;
- 1.3 – bombas e blocos: se têm dimensões superiores a 64 mm e apresentam, respectivamente, uma forma arredondada, ou angulosa.

Os blocos e bombas apresentam uma trajectória balística parabólica (ver Foto 7) a partir do centro emissor e são usualmente projectados a distâncias relativamente pequenas. Os *lapilli* basálticos (Foto 20), que nos Açores são designados por “bagacina” (ou por “cascalho”), podem apresentar formas idênticas às das bombas. Os depósitos de cinzas vulcânicas consolidadas denominam-se cineritos, enquanto que a designação de “tufo” se aplica, genericamente, a todos os depósitos piroclásticos de granulometria cinza ou *lapilli* que se apresentam litificados. Aos materiais piroclásticos de dimensões muito reduzidas (inferiores a 1/16 mm) aplica-se muitas vezes a designação de cinzas finas ou poeiras vulcânicas.

Uma vez que a classificação granulométrica acima apresentada traduz exclusivamente o tamanho dos tefra, sendo por isso independente da génese e composição química do material piroclástico, àquelas designações é frequente adicionarem-se termos como “escoriáceo” ou “basáltico” (quando estão associados a magmas básicos) e “pomítico” (quando emitidos na dependência de magmas ácidos). Têm-se, assim, cinzas basálticas e cinzas pomíticas, bombas escoriáceas e blocos pomíticos, consoante as dimensões dos clastos e a sua natureza/quimismo.

Os piroclastos de fluxo, por seu turno, incluem:

- 2.1 – escoadas piroclásticas: fluxos piroclásticos em que os clastos (de dimensões variadas, mas em que as cinzas são dominantes) movimentam-se envolvidos em gás a temperatura elevada;
- 2.2 – escoadas de lama e “escoadas de detritos”: fluxos piroclásticos em que os clastos, de natureza vulcânica, movimentam-se envolvidos em água.

As escoadas piroclásticas *s.l.* correspondem, assim, e de um modo genérico, a fluxos piroclásticos de alta densidade, que se deslocam junto ao solo, num fluxo essencialmente laminar (Foto 22). Em função do seu mecanismo genético e da sua composição, estas escoadas incluem (Figura 12):

- 2.1.1 – escoadas piroclásticas pomíticas (“escoadas piroclásticas propriamente ditas”): compostas por pedra pomes, poeiras e gás; associadas ao colapso de colunas eruptivas convectivas;
- 2.1.2 – nuvens ardentes (*nuées ardentes*, *glowing clouds* ou *glowing avalanches*): constituídas por clastos densos, não vesiculados, resultantes do colapso gravítico dos flancos/frente de domos e de *coulées* (i.e. escoadas lávicas muito viscosas); mais recentemente são designadas de escoadas de blocos e de cinzas (*block and ash flows*);
- 2.1.3 – surges: escoadas piroclásticas em que a concentração de fragmentos/clastos é menor, conferindo à escoada uma densidade inferior à das escoadas pomíticas e das nuvens ardentes.

Os *surges* (ou “ondulações piroclásticas”) são, assim, tipos particulares de escoadas piroclásticas, que: 1) têm baixa densidade e elevada velocidade; 2) apresentam fluxo turbulento e uma movimentação não condicionada pela topografia; 3) têm elevado poder destrutivo; 4) atingem menores distâncias do que as escoadas piroclásticas propriamente ditas; 5) os

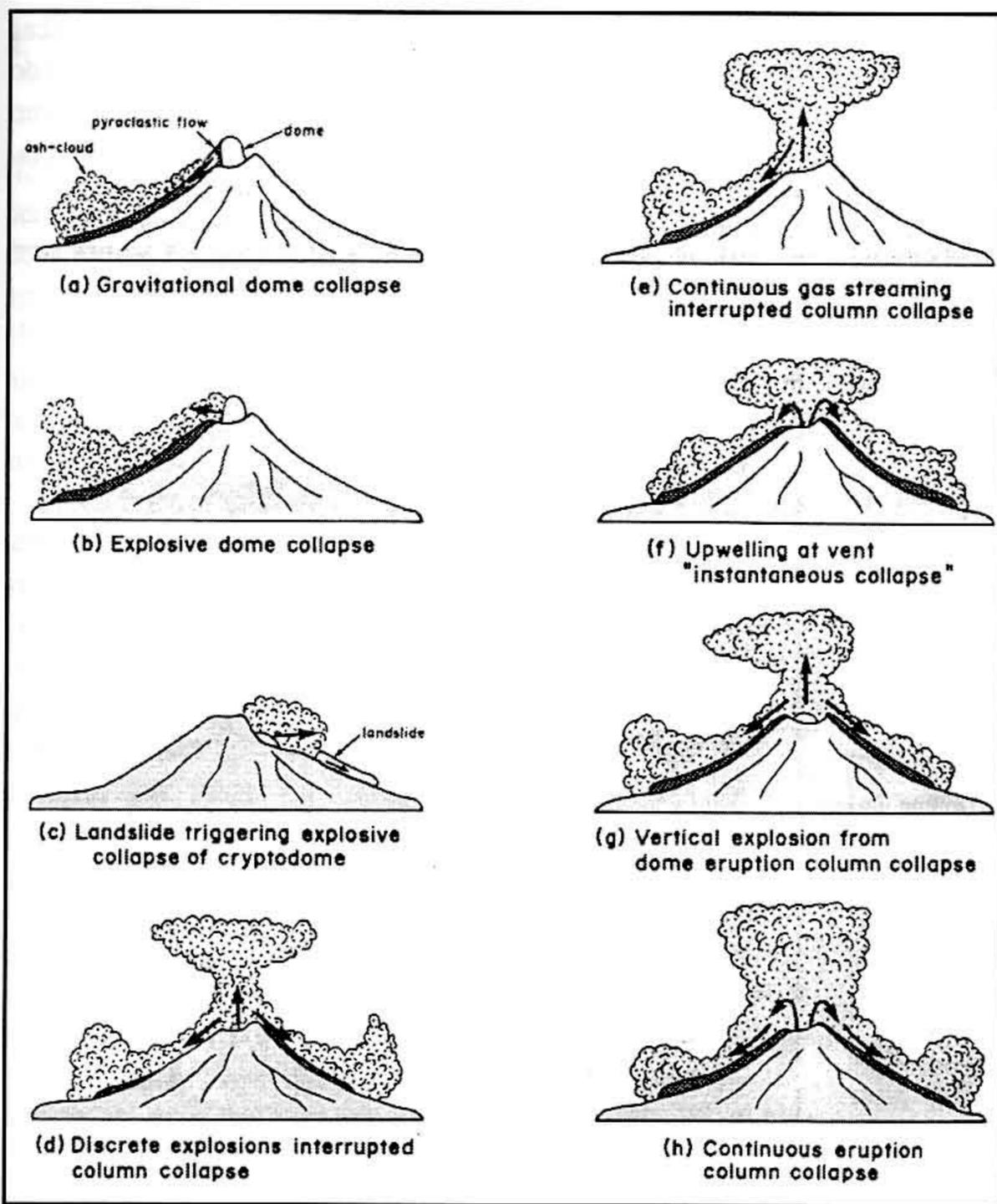


Fig. 12 – Principais mecanismos geradores de escoadas piroclásticas s.l.. Adaptado de CAS e WRIGHT (1987).

respectivos depósitos apresentam-se frequentemente com estratificação entrecruzada e laminação importante (centimétrica a decimétrica). Os principais tipos de *surges* são:

- 2.1.3.a) *base surges*: formados a partir de uma nuvem piroclástica em forma de anel (Foto 23), gerada aquando de erupções hidrovulcânicas, quer de magmas básicos, quer de magmas ácidos; esse anel, que se forma ao nível do solo/mar, progride radialmente relativamente ao centro emissor;
- 2.1.3.b) *ash cloud surges*: formados a partir das nuvens que acompanham a implantação dum escoada piroclástica (Figura 13 e Foto 24);
- 2.1.3.c) *ground surges*: formados, quer pelo colapso parcial da parte externa da coluna eruptiva, quer na parte frontal de uma escoada piroclástica (Figura 13 e Foto 24) devido à fluidização da mesma pelo ar aprisionado pela cabeça da escoada, aquando da sua movimentação.

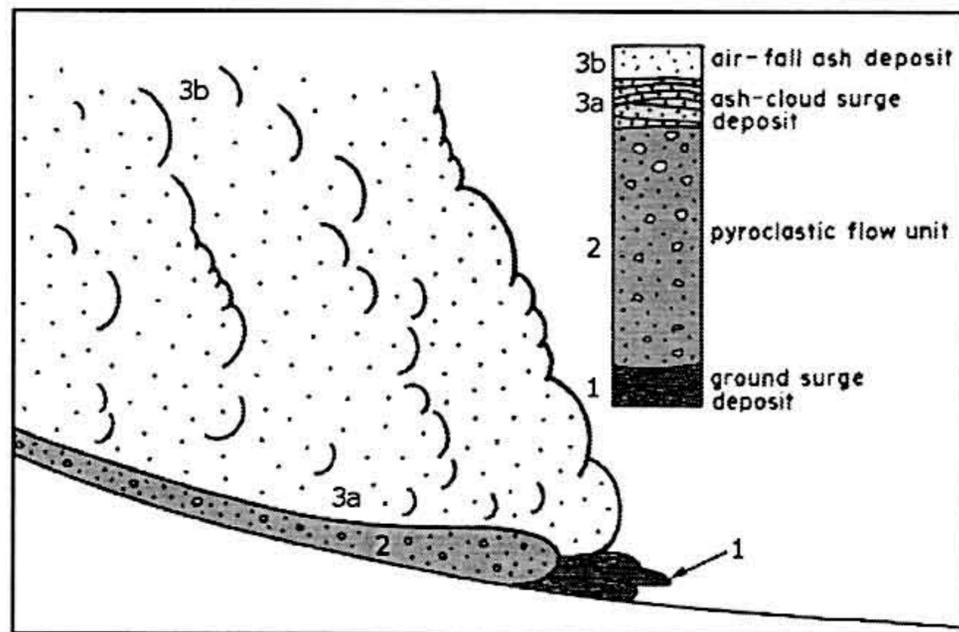


Fig. 13 – Representação esquemática das principais estruturas e depósitos associados a uma escoada piroclástica. Adaptado de CAS e WRIGHT (1987).

Os depósitos resultantes das nuvens ardentes e das “ondulações piroclásticas” designam-se por depósitos de cinzas e de blocos. Por seu turno, os depósitos resultantes das escoadas piroclásticas em que os clastos/fragmentos são maioritariamente pomíticos (e.p. propriamente ditas) são designados por ignimbritos, quer se apresentem soldados (*welded*), ou não (Foto 25). Estas rochas vulcânicas soldadas, implantadas a temperaturas elevadas, apresentam uma estrutura fluidal com *fiammes*, ou seja, com concentrações lenticulares vítreas, escuras e densas (compostas por fragmentos pomíticos comprimidos e estirados segundo os planos de acamação do depósito) dispersas numa matriz mais clara (Foto 26). Os ignimbritos soldados, foram amplamente utilizados nos Açores como pedra ornamental (e.g. “ignimbrito das Lajes”, Ilha Terceira e “ignimbrito da Povoação”, Ilha de São Miguel), enquanto que os ignimbritos não soldados (e.g. “tufos” da Ribeira Grande, Ilha de São Miguel) são explorados para a produção de inertes ou para a produção de blocos, dada a sua natureza detrítica e não litificada.

Como se disse, os piroclastos de fluxo em que os clastos se movimentam envolvidos em água constituem:

- 2.2.1 – escoadas de lama (mud flows): fluxos de lama nos quais predominam os fragmentos piroclásticos da dimensão cinza;

2.2.2 – escoadas de detritos (*debris flows*): em que dominam os clastos de maiores dimensões, incluindo blocos métricos e com várias toneladas de peso, arrastados na corrente, dada a natureza torrencial destes fluxos.

Refira-se que as “avalanchas de detritos” (*debris avalanches*) se distinguem das escoadas de detritos (*debris flows*), uma vez que nas primeiras não há saturação em água da formação vulcânica, dando-se o fluxo piroclástico com uma interacção clasto-clasto (ver escoadas de blocos e de cinzas).

Os depósitos resultantes das escoadas de lama e de detritos são designados por *lahars* (ou “depósitos de enxurrada”) e estão associados a fenómenos de solifluxão/liquefacção de formações vulcânicas detríticas (pela sua saturação em água), fenómenos esses que estão entre os mais destruidores associados ao vulcanismo. Os *lahars* podem estar directamente associados a uma erupção vulcânica (designando-se *lahars* primários ou sin-eruptivos), ou podem ocorrer independentemente de fenómenos eruptivos (*lahars* secundários ou pós-eruptivos). Os *lahars* primários formam-se, por exemplo: 1) na dependência de chuvadas mais ou menos intensas que vão saturar cinzas e *lapilli* depositados por um vulcão em actividade; 2) pela expulsão de um lago de cratera/caldeira; 3) pela fusão de gelo e neve acumulados num vulcão que entra em actividade, como aconteceu na erupção do vulcão Nevado del Ruiz, Colômbia, em Novembro de 1985, que causou a morte a cerca de 22 000 pessoas na vila de Armero.

Os *lahars* secundários, por seu turno, correspondem a depósitos epiclásticos resultantes de movimentos de massa associados a uma liquefacção de formações vulcânicas detríticas. Esses movimentos gravíticos dão-se, designadamente: 1) na sequência de abalos sísmicos fortes que promovem a movimentação de vertentes instáveis, como foi o caso em Vila Franca do Campo, Ilha de São Miguel, em Outubro de 1522, que causou cerca de 4000 a 5000 mortes, ou 2) na sequência de precipitações anormalmente intensas, como aconteceu no Fojo (Furnas), em 1996 (Foto 27), ou em Outubro de 1997, na freguesia de Ribeira Quente (Ilha de São Miguel), onde causou 29 vítimas mortais.

De entre os produtos associados a uma actividade hidrovolcânica básica destacam-se: i) as *pillow lavas* (“lavas em almofada”): lavas submarinas (Figura 14) que podem apresentar uma forma tubular ou alongada (daí também se designarem por “lavas em rolo” – Foto 28); ii) hialoclastitos: clastos vitrificados resultantes da fragmentação de lavas devido ao seu rápido arrefecimento em contacto com água. Este último termo tem, igualmente, uma aplicação mais generalizada, englobando todos os

materiais vítreos gerados em erupções hidrovolcânicas básicas (ou, também, em erupções sub-glaciais), incluindo aqueles derivados de escoadas submarinas, bem como os fragmentos de natureza explosiva (piroclastos submarinos).

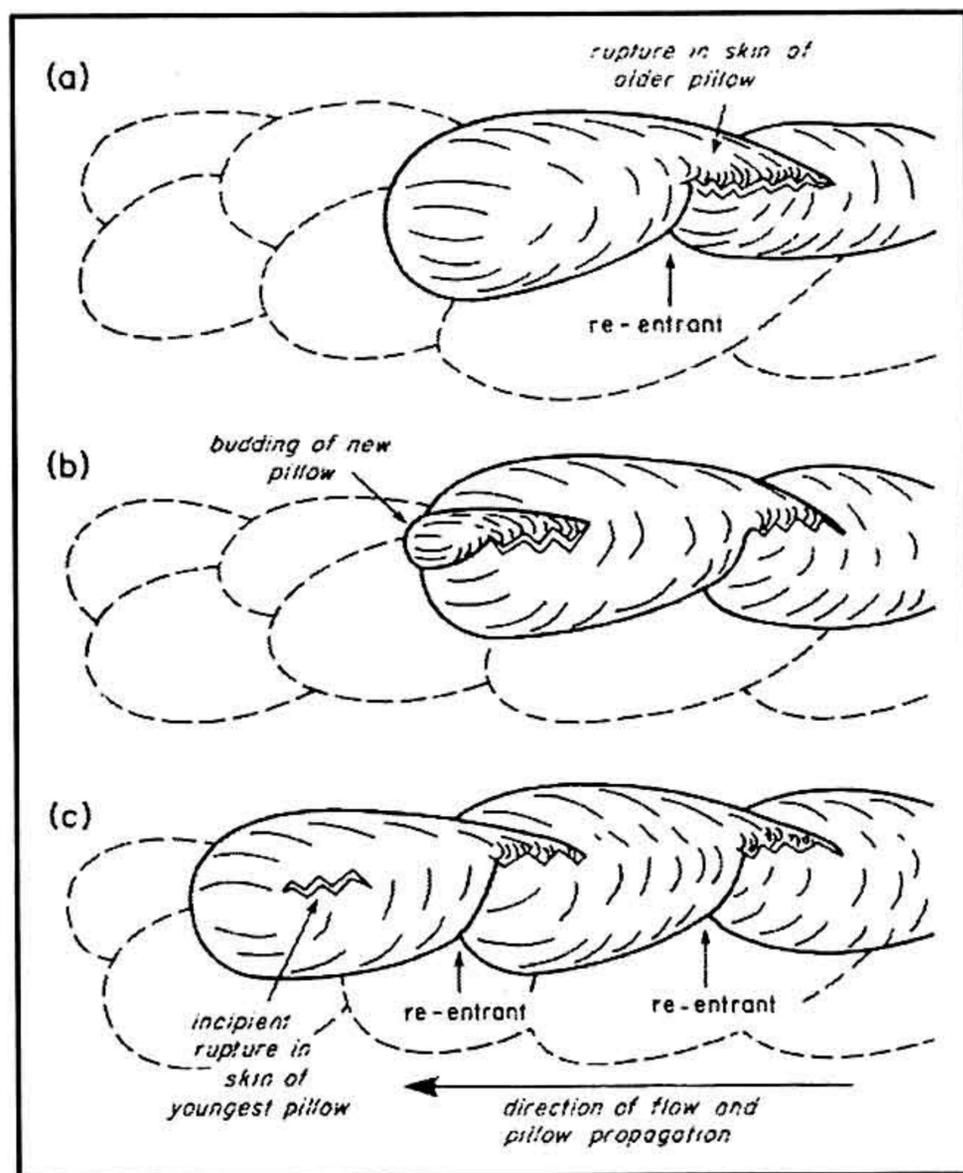


Fig. 14 – Representação esquemática da formação de *pillow lavas* (cf. Figura 8). In: CAS e WRIGHT (1987).

O rápido arrefecimento resultante do contacto magma-água na actividade hidrovolcânica básica dá origem a um depósito piroclástico denominado tufo surtseiano (ou tufo hialoclastítico – ver acima), no qual dominam as dimensões cinza e *lapilli*, com clara predominância para a primeira (Foto 29). Essa interacção origina um vidro vulcânico denominado sideromelana, o qual evolui rapidamente para a palagonite, um produto de alteração de cor amarelada resultante da hidratação do vidro basáltico e composto maioritariamente por minerais de argila. Por essa razão os cones de tufos surtseianos são também designados por “cones de tufos palagoníticos” por alguns autores.

Refira-se, neste contexto, que a obsidiana corresponde a um vidro vulcânico (de cor negra ou cinzento escuro, brilho vítreo e fractura concoidal) associado a magmas muito siliciosos (riolíticos), pelo que está frequentemente presente quer em níveis superficiais/externos de domos e *coulées*, quer em escoadas piroclásticas (e.g. *fiammes*).

4. Paisagens Vulcânicas

A paisagem vulcânica apresenta um vasto e diversificado conjunto de formas e de características muito peculiares, que estão dependentes de factores como o tipo de actividade vulcânica, a sua dinâmica e a actuação dos agentes externos. Em anteriores trabalhos (cf. NUNES, 1998) fez-se uma análise dos principais aspectos relacionados com a morfologia das regiões vulcânicas, razão pela qual, no presente texto, se faz, apenas, uma revisão sumária dessas peculiaridades.

As formas poligenéticas, geradas em períodos de tempo relativamente longos, resultam da acumulação de volumes significativos de materiais vulcânicos e envolvem frequentemente um complexo sistema de condutas subterrâneas (cf. *plumbing system*). De entre estas formas, que incluem cones vulcânicos de grandes dimensões e extensas zonas aplanadas, destacam-se: i) os vulcões em escudo, que podem ser do tipo havaiano, do tipo da Islândia ou do tipo das Ilhas Galápagos; ii) os estratovulcões (*stratovolcanoes*), também denominados por vulcões compósitos (*composite volcanoes*), de forma cónica bem pronunciada (Foto 30); iii) as planícies e planaltos lávicos, associadas a erupções muito volumosas de magmas básicos, e iv) as planícies e planaltos ignimbríticos (Foto 31), que constituem formas de relevo aplanadas, com declives muito reduzidos ($0,5^\circ$ a 3°) resultantes da acumulação de escoadas piroclásticas *s.l.*

Os vulcões monogenéticos têm dimensões significativamente menores e são, na sua maioria, cones vulcânicos constituídos por materiais piroclásticos, de diferentes naturezas e granulometria. Estes incluem: i) cones de escórias (Foto 20); ii) cones de spatter; iii) cones de pedra pomes (Foto 6); iv) cones de tufos (Fotos 29 e 32); v) anéis de tufos (*tuff rings*) e vi) spatter ramparts (“murallas de salpicos de lava”), estas últimas dependentes de erupções fissurais basálticas *s.l.*

Os vulcões monogenéticos basálticos dão origem, ainda, a acumulações cónicas de escoadas lávicas (os *dribblet cones*, ou cones lávicos – ver Foto 4) e, na dependência de erupções de magmas ácidos, geram também formas efusivas, entre as quais se incluem os domos, as agulhas e as coulées (Figura 15). Nestas formas vulcânicas associadas a magmas muito viscosos (*e.g.* dacíticos, riolíticos), há uma fraca dispersão lateral da escoada lávica, que se acumula directamente sobre a conduta emissora (como é o caso dos domos peleanos, “*tortas*” e “*mamelões*” – ver NUNES, 1996), ou obstrui a própria conduta, como acontece com os “*domo-chaminé*” (*plugs*) e as agulhas.

As coulées correspondem a escoadas lávicas muito espessas, maciças e frequentemente vítreas (com obsidiana) que se movimentaram em superfícies suficien-

temente inclinadas para que, vencidos os atritos internos, a escoada adquira maior dispersão relativamente ao centro emissor. Dada a sua natureza muito viscosa, os flancos dessas escoadas apresentam-se muito elevados, declivosos e são frequentemente bordejados por um talude de blocos (Figura 15).

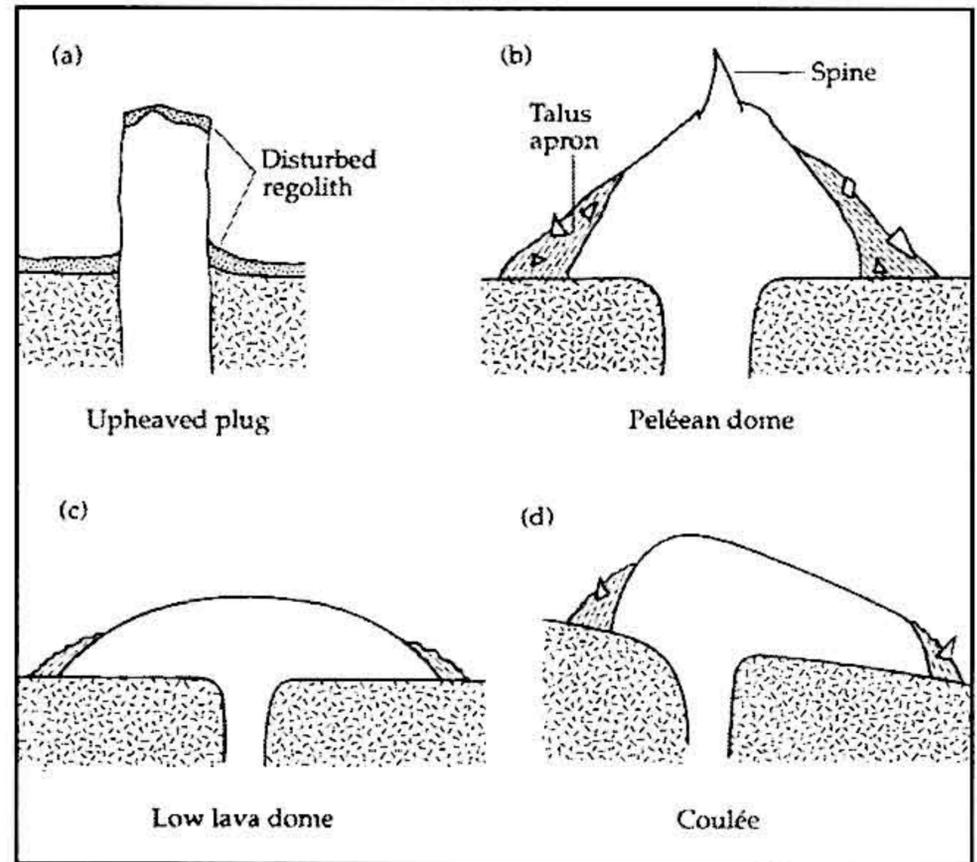


Fig. 15 – Formas efusivas associadas a magmas ácidos: a) domo-chaminé b) domo peleano e agulha (*spine*); c) domo endógeno achatado (ou “*torta*”); d) *coulée*. In: FRANCIS (1993).

As escoadas lávicas (*e.g.* basálticas) associadas a um vulcanismo básico e efusivo, evidenciam um vasto leque de formas, micro-relevos e de estruturas próprias, de entre as quais se destacam: *pahoehoe toes* (Fotos 1 e 11); *tumuli*; cristas de pressão (*pressure ridges*); cristas laterais (*lateral ridges*); deltas lávicos (Foto 32); grutas e algares lávicos, cascatas de lava e, ainda, hornitos, pseudocrateras e cones litorais, estes últimos sob a forma de edifícios cónicos de pequena dimensão que se geram no topo das escoadas lávicas (ver NUNES, 1996).

Para além das formas construtivas anteriormente referidas, o vulcanismo é também responsável pelo aparecimento de formas destrutivas, de relevo negativo (as depressões vulcânicas), que se geram, quer devido a explosões, quer a colapsos, e que incluem as crateras, as caldeiras e os grabens. Enquanto que as primeiras são depressões de pequena dimensão, as segundas atingem maiores diâmetros (ver Foto 5), sendo usual considerarem-se diâmetros de 1 milha terrestre (cerca de 1,5 km) como o limite, arbitrário, entre as crateras e as caldeiras. Os grabens, por seu turno, correspondem a depressões alongadas, segundo sectores abatidos entre falhas normais, onde frequentemente os fenómenos vulcânicos e tectónicos, actuando em conjunto, são responsáveis pela sua formação.

Os principais tipos de crateras incluem as crateras de explosão (no topo de cones piroclásticos – Foto 5), os maars (tipo especial de cratera de explosão, associado a uma actividade hidrovulcânica ou freática) e as “crateras-poço” (*pit craters*), devidas a pequenos colapsos que afectam o edifício vulcânico, na dependência de erupções de magmas básicos a intermédios. Por seu turno, as depressões vulcânicas de maiores dimensões incluem as caldeiras de subsidência (Foto 6), associadas a uma actividade muito explosiva (*e.g.* pliniana), as caldeiras do tipo havaiano (cf. magmas básicos e devidas a colapsos), as caldeiras do tipo Glen Coe e as caldeiras ressurgentes (Figura 16), entre outras tipologias menos comuns.

As formas subvulcânicas, embora constituam corpos intrusivos a pequena profundidade, como filões/diques, chaminés (*necks*), soleiras (*sills*) e lacólitos (Figura 17), podem originar relevos residuais, que marcam igualmente a paisagem vulcânica (Foto 34), em especial nas regiões onde o vulcanismo está há muito extinto.

As rochas e as formações vulcânicas, parte integrante desta paisagem, evidenciam estruturas típicas, muitas das quais estão intrinsecamente associadas à sua génese (*e.g.* disjunção prismática, lavas encordoadas, estruturas em rampa (*ramp structures*) e *slumping marks*, entre outras). Os agentes externos da hidrosfera, biosfera

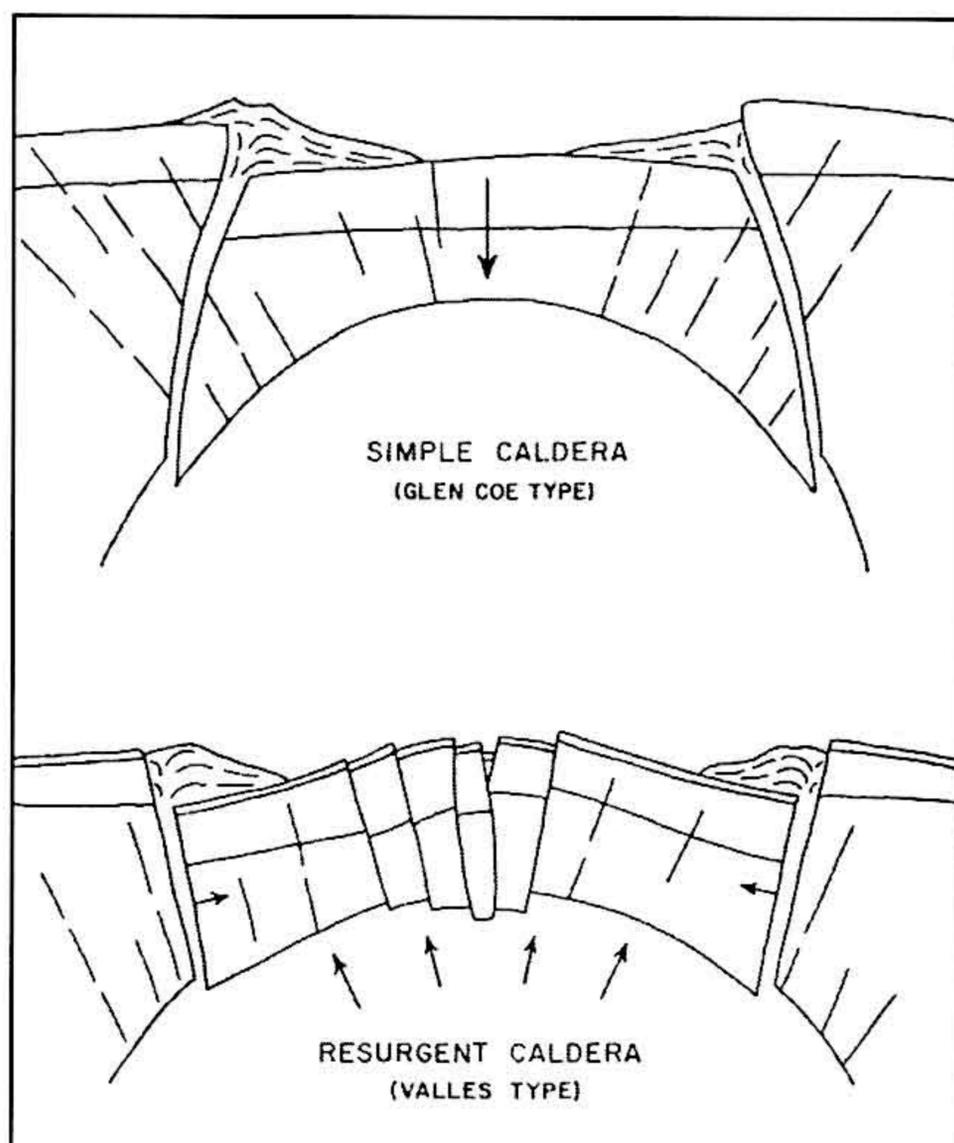


Fig. 16 – Caldeiras do tipo *Glen Coe* e ressurgentes. In: MACDONALD (1972).

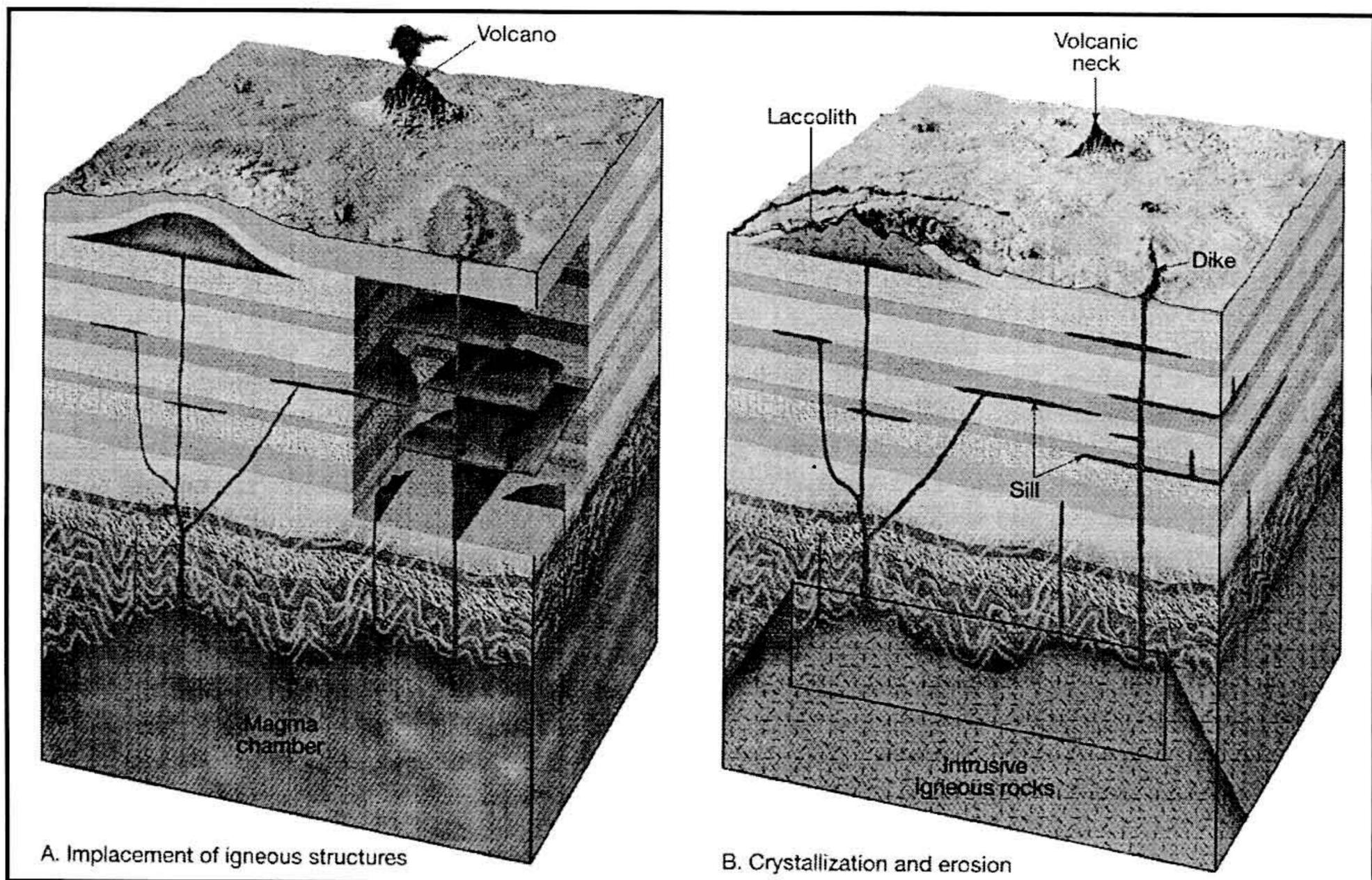


Fig. 17 – Representação esquemática das principais estruturas intrusivas (A) e sua expressão superficial mais comum, após uma erosão (diferencial) da região (B). In: E. J. TARBUCK E F. K. LUTGENS (1999). “*Earth: An Introduction to Physical Geology*”.

e atmosfera (cuja actuação depende de factores como o clima, a drenagem da região e o tempo de actuação dos processos de alteração e erosão) originam, igualmente, aspectos característicos do modelado vulcânico, como é o caso da disjunção esferoidal dos basaltos (Foto 35), devida essencialmente a uma hidrólise dos silicatos.

Bibliografia

- CAS, R.A.F. e WRIGHT, J. V., 1987. *Volcanic successions. Modern and ancient*. Allen & Unwin, Ltd (Ed.), Londres. 528 p.
- COLOMBO, F. e MARTI, J., 1989. Depósitos volcano-sedimentários. In: A. Arche (Ed.) *Sedimentologia*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid. Colección Nuevas Tendencias 11: 271-345.
- FORJAZ, V. H., FRANÇA, Z. e NUNES, J. C., 2001. "Serretian, a new type of submarine eruptions". *Poster- "Cities on Volcanoes 2 - Abstracts Book"*. Fevereiro. Auckland. Nova Zelândia; p. 39.
- FRANCIS, P., (1993). *Volcanoes. A planetary perspective*. Oxford University Press (Ed.). 443 p.
- GASPAR, J. L., QUEIROZ, G., FERREIRA, T., COUTINHO, R., ALMEIDA, M. H., WALLENSTEIN, N. e PACHECO, J., 2000. A erupção vulcânica de 1998-99 na Crista Submarina da Serreta (W da Ilha Terceira, Açores): modelo eruptivo. In: Instituto Geofísico Infante D. Luís (Ed.), *Actas da 2.ª Assembleia Luso-Espanhola de Geodesia e Geofísica*. Faro (Algarve): 355-356.
- KRAFFT, M. e KRAFFT, K., 1975. *Volcano*. Harry N. Abrams, Inc. (Ed.). New York.
- MACDONALD, G. A., 1972. *Volcanoes*. Prentice-Hall, Inc. (Ed.), New Jersey. 510 p.
- NUNES, J. C., 1996. Modelado das regiões vulcânicas. *Açoreana* 8 (2): 313-342.
- NUNES, J. C., 1998. *Paisagens vulcânicas dos Açores*. Amigos dos Açores (Ed.). Ponta Delgada. 54 p.
- NUNES, J. C., 1999. *A actividade vulcânica na Ilha do Pico do Plistocénico Superior ao Holocénico: mecanismo eruptivo e hazard vulcânico*. Provas de Doutoramento. Univ. dos Açores. Ponta Delgada. 357 p. Edição Electrónica: www.uac.pt/jcnunes
- SIGURDSSON, H., HOUGHTON, B. F., MCNUTT, S. R., RYMER, H. e STIX, J., 2000. *Encyclopedia of Volcanoes*. Academic Press (Ed.). San Diego. 1417 p.
- WALLENSTEIN, N., 1991. *Elementos sobre a caracterização e métodos de estudo de depósitos piroclásticos de queda*. Provas de Aptidão Pedagógica e Capacidade Científica. Univ. dos Açores. Ponta Delgada. 175 p.

Lista de Fotografias

- Foto 1. Actividade vulcânica efusiva associada a magmas básicos – vulcão Kilauea (Hawaii).
- Foto 2. Actividade vulcânica explosiva associada a magmas ácidos – vulcão Pinatubo (Filipinas).
- Foto 3. Actividade hidrovulcânica (ou freatomagmática), vulcão dos Capelinhos, Ilha do Faial (Açores).
- Foto 4. Actividade vulcânica centrada (cones de Pu’u’ O’o, Hawaii, e Piquinho, Ilha do Pico, Açores) e respectivas fissuras eruptivas, em actividade, no primeiro caso.
- Foto 5. Vulcão poligenético (*pol*) e vulcão monogenético adventício (*m*); *ca*- caldeira; *cr*- cratera.
- Foto 6. Actividade intra-caldeira: cones de pedra pomes da “Caldeira Seca” (*se*) e da “Caldeira do Alferes” (*al*), no interior da caldeira das Sete Cidades, Ilha de São Miguel (Açores).
- Foto 7. Actividade estromboliana em centros eruptivos adventícios do vulcão Etna (Itália).
- Foto 8. Actividade sub-pliniana a pliniana (Indonésia).
- Foto 9. Actividade surtseiana, vulcão dos Capelinhos, Ilha do Faial (Açores).
- Foto 10. *Pillow* lavas flutuantes da erupção do “Vulcão Oceânico da Serreta” (a Oeste da Ilha Terceira, Açores) em Fevereiro de 2000, a maior das quais, em primeiro plano, à esquerda, com cerca de 4 m de diâmetro.
- Foto 11. Morfologia *pahoehoe* em escoadas lávicas basálticas do topo da Montanha do Pico (Açores), popularmente designada de “lajes” ou “lajidos”.
- Foto 12. “Lavas em tripa” (*entrail lava*) em escoadas *pahoehoe* do topo da Montanha do Pico (Açores).
- Foto 13. Morfologia *aa* em escoadas lávicas da erupção de 1718, do Mistério de São João, Ilha do Pico (Açores).
- Foto 14. Escoada *aa* simples da erupção de 1718 (Mistério de Santa Luzia), sobre lava *pahoehoe* “antiga” (cf. martelo). Notar parte central maciça da unidade de fluxo *aa* e os respectivos níveis de *clinker*, Cachorro, Ilha do Pico (Açores).
- Foto 15. Escoada *pahoehoe* composta, São Roque do Pico (Açores).
- Foto 16. Morfologia do tipo “pasta de dentes”, Praia do Norte, Ilha do Faial (Açores).
- Foto 17. Canal lávico em escoada *aa* proximal, emitida do Cabeço da Lança, Ilha do Pico (Açores).
- Foto 18. Bola lávica de acreção associada à escoada *aa* do Pico da Urze, Ilha do Pico (Açores).
- Foto 19. Pedra pomes, vulcão do Pico Alto, Ilha Terceira (Açores); L- líticos.
- Foto 20. Escórias basálticas, cone das Contendas; Ilha Terceira (Açores). Notar talude de detritos (*scree slope*) na base do cone, associado a movimentos de massa do tipo *grain flow*.
- Foto 21. “Salpicos de lava”. Notar a deformação plástica sofrida pelos fragmentos de lava e o grau de aglutinação do depósito, Montanha do Pico (Açores).
- Foto 22. Escoadas piroclásticas *s.l.*.
- Foto 23. *Base surges*, vulcão dos Capelinhos, Ilha do Faial (Açores).
- Foto 24. Escoada piroclástica, com indicação sumária das principais estruturas presentes (cf. Figura 13).
- Foto 25. Ignimbrito das Lajes, Ilha Terceira (Açores).
- Foto 26. *Fiammes* no ignimbrito de São Mateus, Ilha Terceira (Açores).
- Foto 27. *Lahar* secundário, Fojo – Furnas, Ilha de São Miguel (Açores).
- Foto 28. *Pillow lavas*, Ponta do Castelo, Ilha de Santa Maria (Açores).
- Foto 29. Figuras de carga (*bomb sag*) no tufo surtseiano (ou tufo hialoclastítico) do Monte Brasil, Ilha Terceira (Açores). Notar a estratificação do depósito piroclástico, e a sua compacidade e coloração típicas.
- Foto 30. Estratovulcão da Montanha do Pico (Açores).
- Foto 31. Região de “*Ten Thousands Smokes Valley*”, EUA.
- Foto 32. Cone de tufos do Morro Grande e delta lávico (cf. fajã lávica) de Velas, Ilha de São Jorge (Açores).
- Foto 33. Domos (D) e *coulées* (C) do vulcão do Pico Alto, Ilha Terceira (Açores). Indica-se, ainda, a localização do cone de escórias do Algar do Carvão (A). Fotografia aérea da Força Aérea Portuguesa.
- Foto 34. Chaminés vulcânicas, Cedros, Ilha das Flores (Açores).
- Foto 35. Disjunção esferoidal, ou em bolas, Santo Antão, Ilha de São Jorge (à esquerda); Salto da Farinha, Ilha de São Miguel (à direita), Açores.

PRANCHA I

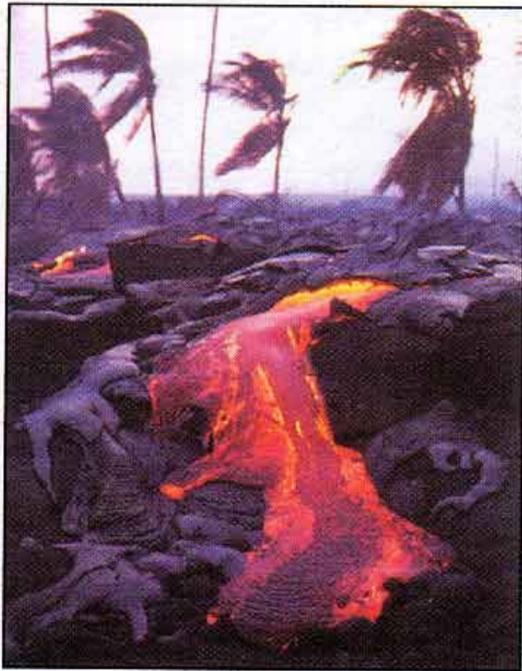


Foto 1.

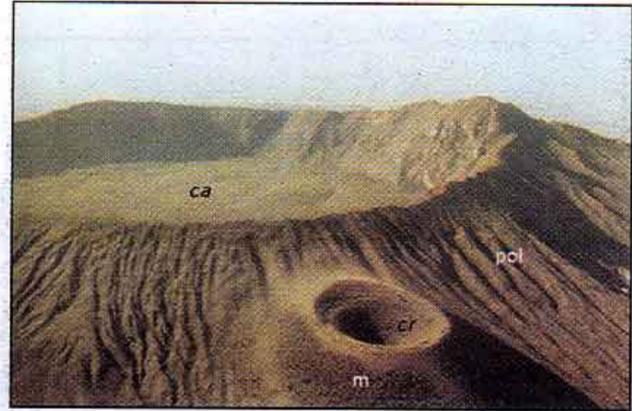


Foto 5.



Foto 6.



Foto 2.



Foto 7.

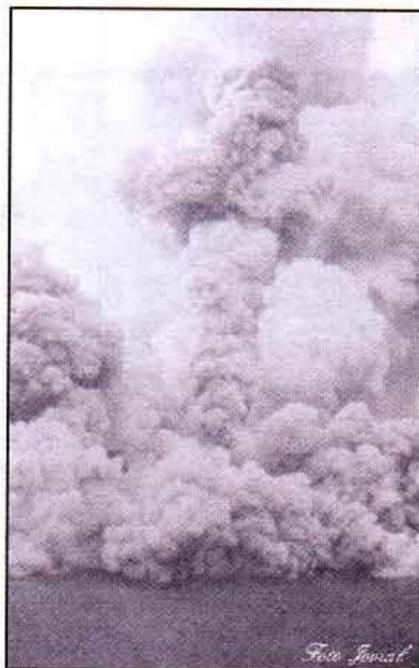


Foto 3.



Foto 8.



Foto 4.



Foto 9.

PRANCHA II



Foto 10.



Foto 11.



Foto 12.



Foto 13.



Foto 14.

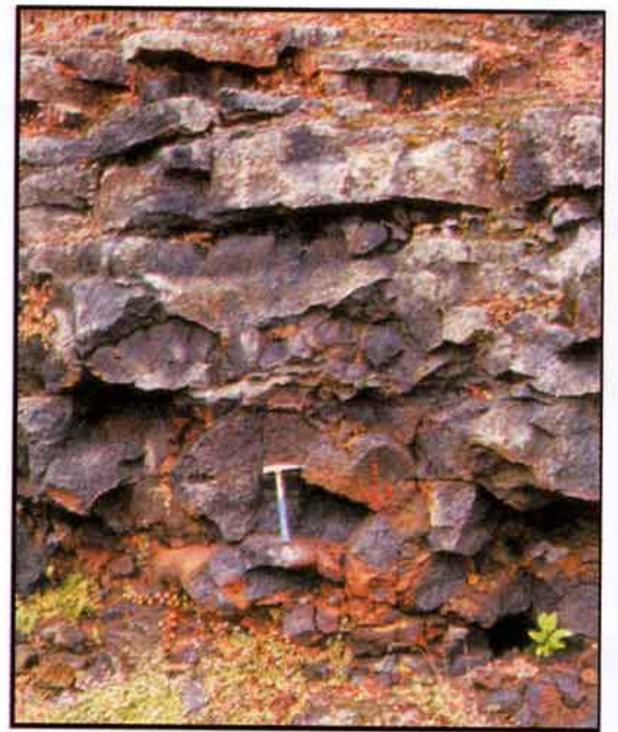


Foto 15.



Foto 16.

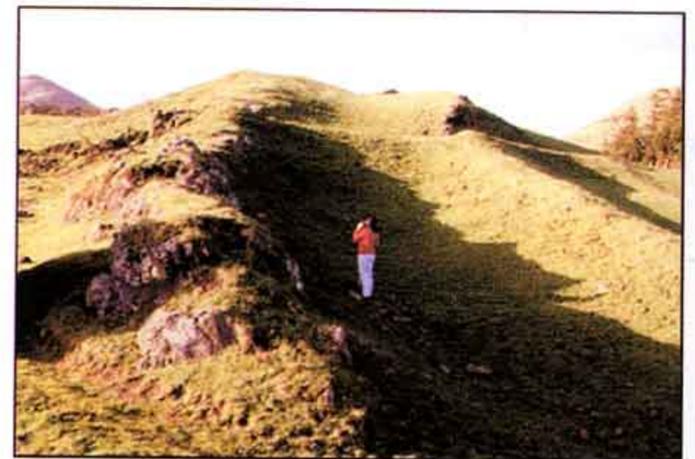


Foto 17.



Foto 18.

PRANCHA III



Foto 19.

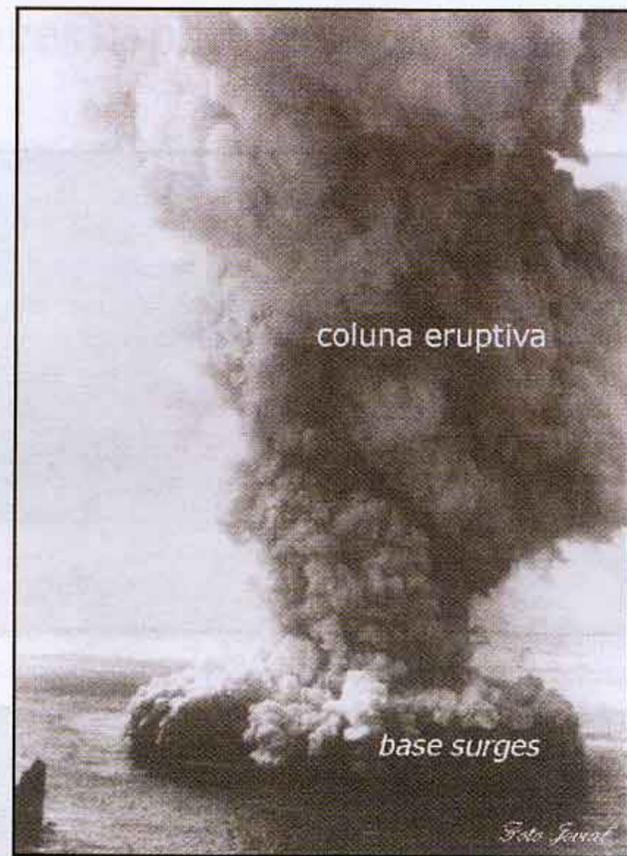


Foto 23.

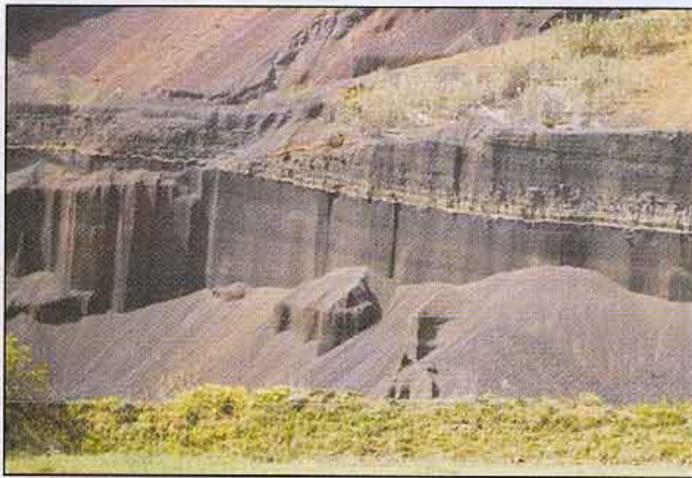


Foto 20.

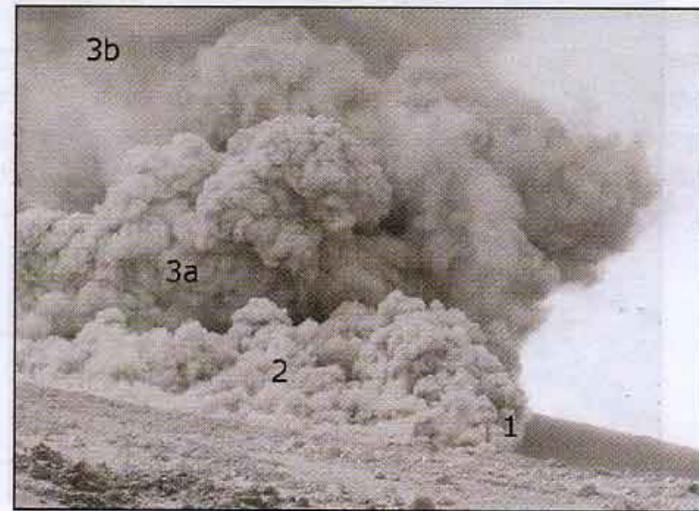


Foto 24.



Foto 21.



Foto 25.



Foto 22.



Foto 26.

PRANCHA IV



Foto 27.

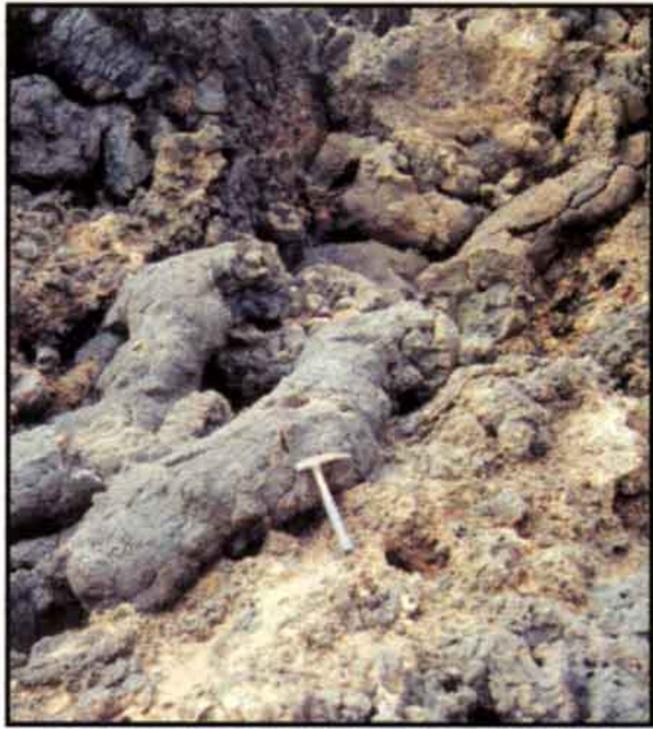


Foto 28.



Foto 29.



Foto 30.

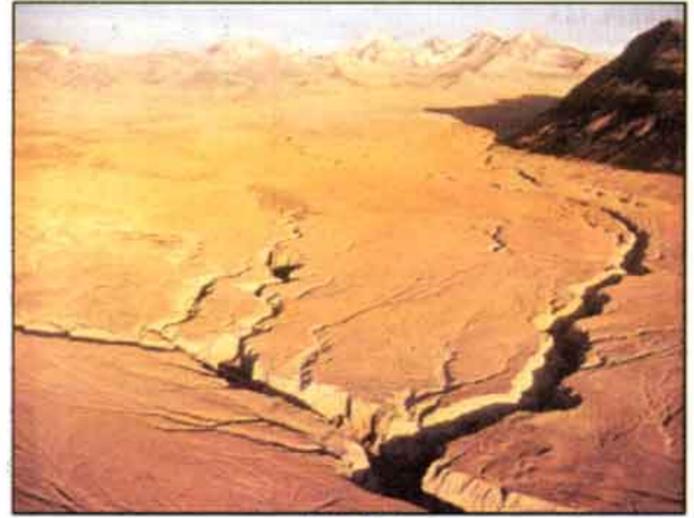


Foto 31.



Foto 32.



Foto 33.

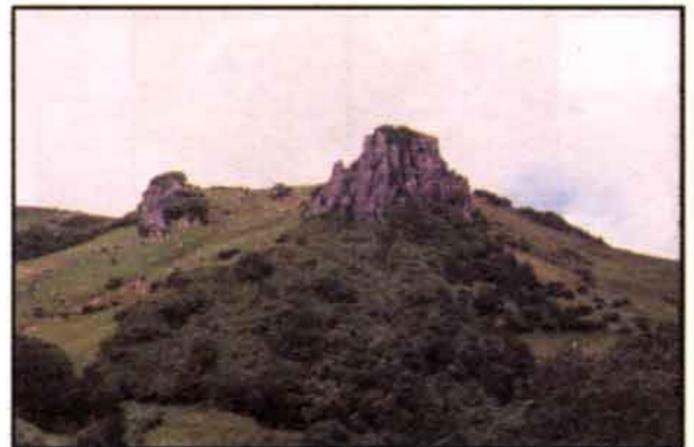


Foto 34.



Foto 35.