

Pesquisas em Geociências

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias>

Depósitos de Fluxo Piroclástico Primários: Caracterização e Estudo de um Caso no Vulcanismo Ácido Neoproterozóico do Escudo Sul-rio-grandense

Carlos Augusto Sommer, Evandro Fernandes de Lima, Lauro Valentim Stoll Nardi,

Joaquim Daniel de Liz, Ronaldo Pierosan

Pesquisas em Geociências, 30 (1): 3-26, maio/ago., 2003.

Versão online disponível em:

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/19576>

Publicado por

Instituto de Geociências



Portal de Periódicos UFRGS

UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

Informações Adicionais

Email: pesquisas@ufrgs.br

Políticas: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/editorialPolicies#openAccessPolicy>

Submissão: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#onlineSubmissions>

Diretrizes: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#authorGuidelines>

Data de publicação - maio/ago., 2003.

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

Depósitos de Fluxo Piroclástico Primários: Caracterização e Estudo de um Caso no Vulcanismo Ácido Neoproterozóico do Escudo Sul-rio-grandense

CARLOS AUGUSTO SOMMER¹, EVANDRO FERNANDES DE LIMA², LAURO VALENTIM STOLL NARDI²,
JOAQUIM DANIEL DE LIZ³ & RONALDO PIEROSAN³

¹ Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Caixa Postal 15001, CEP 91509-900, Porto Alegre, RS, Brasil.
e-mail: casommer@sinos.net

² Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Caixa Postal 15001, CEP 91509-900, Porto Alegre, RS, Brasil.

³ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Caixa Postal 15001, Porto Alegre, RS, Brasil, Cep 91509-900

⁴ Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Caixa Postal 15001, CEP 91509-970, Porto Alegre, RS, Brasil.

(Recebido em 09/02. Aceito para publicação em 06/03)

Abstract - Volcanic deposits can be included in two main groups: coherent and volcanoclastic. The former results from volcanic and sub-volcanic (syn-volcanic intrusions) effusive events, excluding autoclastic portions, and the second group, which is related to deposits constituted by volcanic fragments, encompassing primary deposits (pyroclastic) generated from fragment dispersion through gases and hot vapour, syn-eruptive resedimented deposits, besides volcanogenic sedimentary deposits. Clast transport processes are separated in three broad categories: mass-flow, traction and suspension. Basic concepts that are used in the study of volcanic rocks, classification and characterization of the main subaerial pyroclastic deposits are discussed in this paper, considering lithological and genetic aspects. Lithological aspects are mainly related to composition, components and grain-size of the deposits, while genetic aspects and interpretations are based on clast-forming and depositional processes, allowing understanding about eruption and emplacement conditions. Emphasis is given to pumiceous pyroclastic flow deposits, describing their main textural features and the post-depositional modifications associated to them. The discussed concepts are applied in the reconstruction of the Neoproterozoic pyroclastic flow deposits of two plateaus in the Sul-rio-grandense Shield, southernmost Brazil. The main characteristic of the Taquarémbo Plateau is the occurrence of stratified/partially welded ignimbrites and high-grade welded deposits, while massive and crystal-rich ignimbrites are more common in the Ramada Plateau. The facies association of both plateaus suggests a fissural volcanic regime in a subaerial setting, associated to the post-collisional stages of the Brasiliano-Pan African Orogenic Cycle.

Keywords - pyroclastic deposits, ignimbrites, Neoproterozoic acid volcanism, Sul-rio-grandense Shield.

INTRODUÇÃO

A reconstrução de terrenos vulcânicos antigos é alicerçada fundamentalmente na observação de fenômenos vulcânicos atuais. O avanço na área de vulcanologia tem permitido a identificação de diferentes tipos de depósitos, a determinação de geometrias e variações faciológicas, além da definição de ambientes geotectônicos específicos com sua afinidade geoquímica e/ou metalogenética.

A investigação de seqüências vulcânicas antigas, como é o caso da maior parte dos terrenos vulcânicos do Brasil, tem como fator de limitação a preservação parcial dos depósitos que na comparação direta com os terrenos modernos pode gerar interpretações equivocadas. Este fato determina que os registros preservados nesses terrenos sejam devidamente valorizados e, quando possível, corretamente definidos de acordo com as classificações modernas e consagradas. Adicionalmente, deve-se considerar a capacidade de preservação dos depósitos, especialmente os vulcanoclásticos e as modifi-

cações a que estão sujeitos pela ação do transporte, deposição, diagênese, hidrotermalismo e metamorfismo.

Entre os fatores que devem ser especialmente considerados estão o tipo de depósito, a forma e a composição dos constituintes, bem como as feições texturais da rocha, tendo-se em conta que estas auxiliam na determinação do processo formador dos clastos. As características das litofácies (geometria, estruturas, organização interna, natureza dos contatos e relações entre as unidades) permitem a definição dos processos de transporte e deposição dos fragmentos. Evidências texturais de deposição em alta temperatura, como soldagem, disjunção colunar, estruturas de escape de gases e cristalização da fase vapor são fundamentais no reconhecimento de depósitos vulcanoclásticos primários.

A correta obtenção destas características possibilita a distinção entre as diferentes categorias genéticas de depósitos vulcanoclásticos e a determinação do ambiente de deposição: subaéreo/subaquoso raso/subaquoso profundo, a avaliação da pro-

ximidade dos depósitos em relação a fonte dos componentes vulcânicos e o estabelecimento do caráter, composição e ambiente do vulcanismo.

Nas manifestações vulcânicas explosivas subaéreas são liberados grandes volumes de fragmentos vulcânicos imersos em gases e vapores de alta temperatura. O transporte das partículas vulcânicas assemelha-se ao observado nos terrenos sedimentares envolvendo mecanismos de tração, suspensão e fluxo de massa, responsáveis pela construção dos depósitos primários de queda, *surge* (ondulado) e de fluxo piroclástico. A principal diferença entre os depósitos piroclásticos primários e os sistemas sedimentares é a participação de gases quentes na dispersão das partículas.

Em terrenos vulcânicos, os fluxos de massa vulcanoclásticos são um importante meio de transporte de partículas, pois podem envolver grande mobilidade e distâncias. Os depósitos de fluxos piroclásticos primários são aqueles onde os fragmentos e os fluidos intersticiais são de origem vulcânica, envolvendo principalmente gases e vapores de alta temperatura. A caracterização destes depósitos é de suma importância na avaliação do vulcanismo de uma região.

O presente trabalho dedica-se, inicialmente, a discussão de conceitos vulcanológicos principais, apresentando as classificações e uma síntese sobre a faciologia e origem dos diferentes tipos de depósitos. A terminologia utilizada no estudo de seqüências piroclásticas é em alguns casos conflitante, entretanto alguns termos são consensuais (Tabela 1) e em geral utilizados na definição destas seqüências. Adicionalmente são enfatizados os fluxos de púmices subaéreos, cujos piroclastos podem refletir, em parte, a composição do magma parental. Os conceitos e discussões inicialmente apresentados são em parte utilizados na reconstrução do vulcanismo ácido neoproterozóico III - eocambriano do Rio Grande do Sul.

CLASSIFICAÇÃO DE DEPÓSITOS VULCÂNICOS

O vulcanismo pode envolver manifestações efusivas e/ou explosivas (Fig. 1), sendo as primeiras representadas por fluxos de lavas e domos, por vezes acompanhados de corpos intrusivos sin-vulcânicos (diques, sills e criptodomos). Nas lavas e produtos associados dominam as texturas coerentes ou não-particuladas (*e.g.* porções maciças), embora condições vulcanoclásticas do tipo autoclástica possam também ocorrer (*e.g.* auto-brechas).

As erupções explosivas podem gerar três tipos principais de depósitos piroclásticos primários: depósitos de fluxo, depósitos tipo *surge* e depósitos de queda. A condição particulada destes depósitos, onde volumes expressivos de fragmentos ainda não consolidados (tefra) se acumulam especialmente ao longo dos flancos de edifícios vulcânicos, facilita o deslocamento dos constituintes durante ou após a erupção, sem modificar a identidade original destes, gerando desta forma os depósitos vulcanoclásticos ressedimentados. Estes não devem ser confundidos com os depósitos sedimentares vulcanogênicos, cuja origem dos fragmentos vincula-se necessariamente à ação do intemperismo e erosão de terrenos vulcânicos pré-existentes. A expressão “depósitos vulcanoclásticos” possui uma conotação apenas descritiva, referindo-se a todos os depósitos ricos em constituintes de origem vulcânica, sem implicações genéticas (Fisher, 1961), podendo ser subdivididos em quatro categorias: autoclástica, piroclástica, ressedimentado sin-eruptivo, sedimentar vulcanogênico (Tabela 2).

CARACTERIZAÇÃO DE ERUPÇÕES EXPLOSIVAS

As manifestações vulcânicas explosivas são desencadeadas por mecanismos de fragmentação que podem envolver o aquecimento rápido da água em condutos vulcânicos (erupção freática), a interação entre magma e água (freatomagmática) e atividade magmática com pequena participação de voláteis externos (magmática). Os dois primeiros tipos são fenômenos hidrovulcânicos onde grande parte da energia responsável pela erupção origina-se da interação do magma com as águas superficiais, subterrâneas ou gelo. Erupções magmáticas consideradas “secas” podem apresentar estilos diferentes de manifestações vinculados especialmente ao conteúdo de sílica do sistema, sendo a dinâmica dos principais tipos de erupção sumariada por Cashman *et al.* (2000) e Morrissey *et al.* (2000). A figura 2 ilustra as principais características das erupções explosivas, acompanhadas de exemplos vulcânicos atuais.

CLASSIFICAÇÕES DE DEPÓSITOS PIROCLÁSTICOS

Os depósitos piroclásticos são gerados diretamente da atividade vulcânica explosiva, a partir da fragmentação de rochas e/ou magma, onde as partículas são dispersas em um meio fluido representado por gases quentes e vapores.

Tabela 1 - Relação dos principais termos utilizados na caracterização de depósitos piroclásticos (a partir de Fisher, 1961, Schmid, 1981, Cas & Wright 1987 e McPhie *et al.* 1993).

TERMO	SIGNIFICADO/CONCEITO
a) piroclastos	fragmentos gerados por fragmentação como resultado direto de ação vulcânica explosiva
b) piroclastos juvenis	fragmentos oriundos diretamente do magma (essenciais)
c) piroclastos cognatos:	fragmentos originados da fragmentação de rochas vulcânicas co-magmáticas anteriormente formadas
d) piroclastos acessórios	fragmentos oriundos de rochas encaixantes ejetadas explosivamente durante a erupção
e) piroclastos acidentais	clastos englobados aleatoriamente durante o transporte
f) vitroclastos	piroclastos oriundos da fragmentação de vidro vulcânico. A morfologia destes fragmentos (shards) é bastante variável: meia-lua, espículas, cúspides ou filamentos
g) cristaloclastos	fragmentos de cristais que podem ser originados a partir do próprio magma e são capturados no ato da cristalização. Como produto final tem-se cristais envolvidos nas bordas por material vítreo que podem ser originados, também, a partir das rochas encaixantes
h) litoclastos	fragmentos de rochas que normalmente são os componentes mais densos de um depósito. O tipo de composição mais comum é similar a do magma que sofreu a explosão; podem ser originados a partir do conduto vulcânico ou relacionados a outros tipos de rochas
i) tefra	termo coletivo para depósitos piroclásticos inconsolidados
j) epiclastos	Fragmentos que tenham sido liberados de qualquer tipo de rocha, por intemperismo ou erosão e transportados de seu local de origem: fragmentos: cristais, vidro e rochas
k) soldagem	processo pós-deposicional que envolve a cimentação conjunta de fragmentos vesiculares e shards de vidro sob uma carga de compactação
l) fiamme	clastos juvenis de vidro achatados em depósitos soldados (queda ou fluxo). Em muitos casos, os fiammes resultam da deformação do púmice original em depósitos primários ou secundários não soldados, mas compactados por processos diagenéticos
m) esferulitos, litofises, textura micropoiquilitica	feições indicativas de processos de devitrificação de alta temperatura em vidro vulcânico; os esferulitos consistem de arranjos fibrorradiados, onde cada fibra representa um cristal. Litofises são esferulitos que apresentam uma cavidade central. A textura micropoiquilitica é caracterizada pela presença de pequenos (< 1mm) e irregulares cristais, de um mineral, que envolvem completamente cristais pequenos de outras fases minerais
n) perlito	vidro vulcânico com abundância de fraturas curvas, suaves e normalmente concêntricas, que circundam núcleos bem preservados de vidro, indicando hidratação e rápido resfriamento do vidro vulcânico
o) foliações de fluxo	estruturas planares decorrentes do fluxo laminar, principalmente em lavas e intrusões sin-vulcânicas. As foliações são definidas por variações na composição, vesicularidade, cristalinidade, granulometria, abundância de esferulitos ou litofises, grau de devitrificação e cor. As foliações de fluxo ocorrem também em reoignimbritos e lava-like ignimbritos, sendo normalmente associadas aos processos reomórficos - envolvem o fluxo de massa secundário do depósito piroclástico. Este fluxo comporta-se como aquele existente em um fluido viscoso e coerente, capaz de produzir dobramentos e outras estruturas internas
p) juntas colunares	fraturas regulares que dividem a rocha em unidades prismáticas e alongadas, encontrado em lavas, diques, sills e depósitos vulcanoclásticos primários quentes; são decorrentes da contração que acompanha o resfriamento dos depósitos.
q) acamadamento gradacional	estrutura indicando uma deposição a partir de fluxos de massa ou suspensão
r) laminação plano-paralela	estrutura indicando deposição a partir de mecanismos de suspensão ou tração
s) estratificação cruzada	estrutura indicando uma deposição por correntes de tração

Tabela 2 - Descrição dos tipos de depósitos vulcanoclásticos (modificado a partir de Cas & Wright 1987 e McPhie *et al.* 1993).

DEPÓSITO VULCANOCLÁSTICO	DESCRIÇÃO
Autoclástico	depósito primário constituído de partículas (autoclastos) geradas por fragmentação não explosiva <i>in situ</i> de lavas ou magmas (autobrechamento/fragmentação por resfriamento)
Piroclástico	depósito primário formado por partículas (piroclastos) gerados por erupções explosivas e depositadas por processos vulcânicos primários (queda, fluxo, surge);
Ressedimentado sin-eruptivo	depósito secundário, sin-eruptivo, formado a partir da rápida ressedimentação de piroclastos ou partículas autoclásticas, não modificadas texturalmente
Sedimentar vulcanogênico	agregado contendo partículas derivadas por erosão, a partir de depósitos vulcânicos pré-existent e que não foram submetidos a um retrabalhamento significativo durante a deposição, e/ou que foram redepósitos logo após a erupção

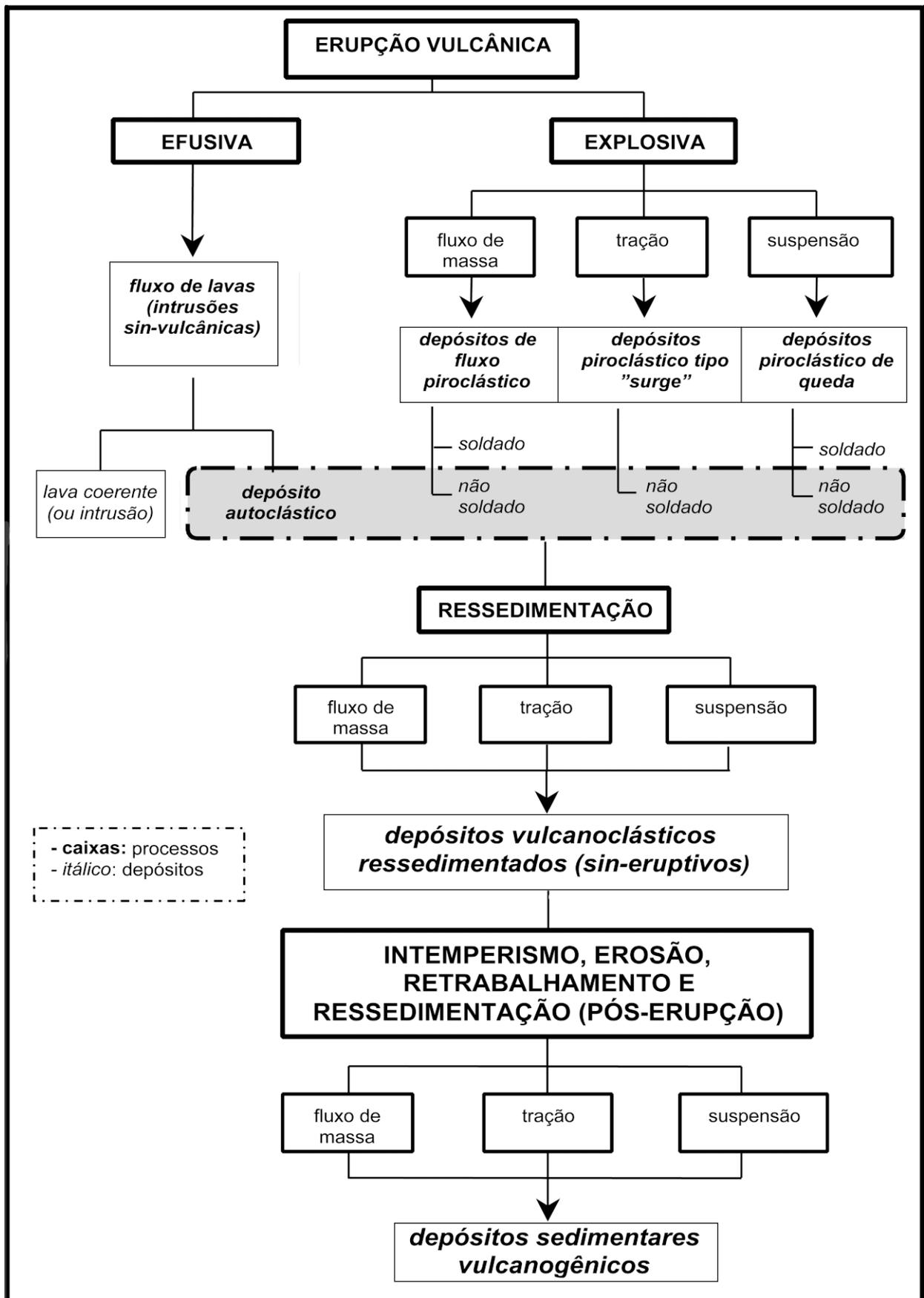


Figura 1 - Classificação genética dos depósitos vulcânicos (modificado de McPhie *et al.* 1993).

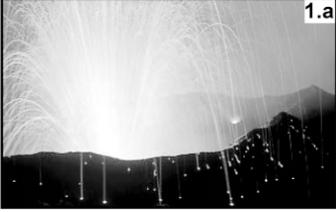
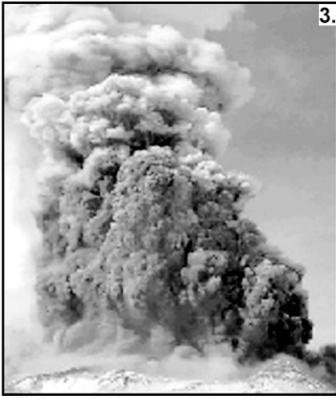
Estilo de erupção	Descrição e constituintes principais	Ilustração
1. Magmática	o comportamento e as características destas erupções são controlados pela composição do magma, conteúdo de voláteis (supersaturação), viscosidade, temperatura, densidade e geometria do conduto. Este estilo envolve a exsolução e a expansão de voláteis magmáticos, com pouca participação de fluídos externos, gerando grande quantidade de púmices ou escórias e fragmentos de vidro;	
1.a Stromboliana e Hawaiana	restringe-se a magmas de baixa viscosidade com pequeno conteúdo de voláteis. Strombolianas: as explosões concentram-se na parte superior de condutos vulcânicos abertos, onde ocorrem elevada concentração de bolhas. A sucessão de novas concentrações de bolhas determinam o caráter intermitente destas erupções. Hawaianas: são muito semelhantes as anteriores, porém as erupções tem uma natureza mais constante, gerando em alguns casos verdadeiras fontes de lavas;	 A ilustração mostra uma erupção com múltiplas colunas de cinzas e lava que se elevam verticalmente do topo de um vulcão, característico de estilos Stromboliano e Hawaiano.
1.b Vulcaniana	caracteriza-se por discretas explosões, em geral cíclicas, associadas a magmas andesíticos. A supersaturação em voláteis do sistema deve-se a magma em ascensão e a participação de voláteis vinculados a águas superficiais. Os piroclastos são liberados na forma de colunas de erupção de 5-10km e plumas de convecção de cinzas. Mecanismos de suspensão são mais comuns, gerando depósitos de queda e, em alguns casos, depósitos de fluxo de cinzas e escória.	 A ilustração mostra uma erupção vulcaniana com uma única, alta e densa coluna de cinzas e piroclastos que se eleva do vulcão.
1.c Pliniana	comum em sistemas silicosos, com alta viscosidade e vesicularidade, sob condições de pressões internas elevadas. A liberação violenta de gases e piroclastos pode gerar colunas de erupção com alturas de até 30 km. São comuns depósitos de queda, fluxos piroclásticos e surge. Os produtos piroclásticos são principalmente lúpilis e cinzas de púmices.	 A ilustração mostra uma erupção pliniana com uma enorme, densa e alta coluna de cinzas e piroclastos que se eleva do vulcão, formando uma nuvem que se espalha no topo.
2. Freato-magmática	este estilo é comum em condutos onde há a possibilidade de acesso da água, tais como caldeiras preenchidas por lagos ou inundadas pela água do mar. O vapor associado às erupções deste tipo é produzido diretamente pela interação do magma e/ou lava com águas superficiais. O gatilho destas explosões envolve o superaquecimento da água, provocando a geração instantânea de gases, cuja rápida expansão provoca fragmentação simultânea do magma. As colunas e plumas de erupção são ricas em vapores e contêm uma alta proporção de cinzas. Os piroclastos, em geral, possuem significativas variações no grau de vesicularidade, sendo comum a presença abundante de litoclastos.	 A ilustração mostra uma erupção freato-magmática com uma coluna de cinzas e piroclastos que se eleva diretamente do nível do mar, onde a interação com a água é evidente.
3. Freática	este estilo é comum em sistemas geotermiais e no entorno de condutos ativos. Os gases responsáveis pela explosão são gerados pela ação do calor do magma, sem a incorporação deste em nenhuma etapa do processo eruptivo. Este superaquecimento da água em subsuperfície determina a liberação repentina de vapores, determinando uma rápida redução na pressão confinante. Este estilo caracteriza-se, portanto, por uma grande quantidade de vapor aliada a uma pequena proporção de sólidos não juvenis ejetados. Estes são depositados próximos ao centro eruptivo, principalmente por mecanismos de suspensão.	 A ilustração mostra uma erupção freática com uma grande quantidade de vapor branco sendo ejetado do vulcão, com uma menor proporção de cinzas e piroclastos.

Figura 2 - Descrição e exemplificação de erupções vulcânicas explosivas: (1a) stromboliana - Vulcão Stromboli - Itália; (1b) vulcaniana - Tavurvur Volcano in Rabaul Caldera - Paupa, New Guinea. (1c) pliniana - Monte Santa Helena - Estados Unidos da América; (2) freatomagmática - surgimento da Ilha de Surtsey - Islândia; (3) freática- Monte Santa Helena- Estados Unidos da América (fonte: <http://www.volcanoes.usgs.gov>).

Classificação litológica de depósitos piroclásticos

De acordo com a IUGS a classificação litológica dos depósitos piroclásticos fundamenta-se nos limites de tamanho de grão e sua distribuição, nos tipos de fragmentos e no grau de soldagem. (Le Maitre, 1989; 2002). Apesar da natureza descritiva desta classificação, ela também pode ser usada para discriminar genericamente os mecanismos que produziram um depósito piroclástico particular. Os depósitos piroclásticos podem ser separados em unimodais bem selecionados (Tabela 3) e polimodais pobremente selecionados (Fig. 3). Os depósitos polimodais e mal selecionados contêm piroclastos com mais de uma fração granulométrica, sendo mais apropriado uma nomenclatura que utilize combinações dos termos propostos para os depósitos unimodais.

Segundo a composição dos fragmentos, os tufos e as cinzas podem ser subdivididos em: cinza ou tufo vítrico; cinza ou tufo de cristal; cinza ou tufo lítico (Fig. 4).

Outra classificação descritiva é sugerida para rochas constituídas por uma mistura de piroclastos e epiclastos (Tabela 4). Esta classificação proposta por Schmid (1981) considera um limite mínimo de 75% de piroclastos por volume, para classificar-se um depósito como piroclástico. Este autor define como piroclasto todo fragmento sólido ejetado diretamente da atividade vulcânica, sendo as misturas com conteúdos superiores a 25% de epiclastos agrupadas como tufitos.

Classificação genética de depósitos piroclásticos

Sparks & Walker (1973) reconhecem três tipos principais de depósitos piroclásticos (Figura 5), definidos de acordo com o mecanismo principal de transporte dos fragmentos:

- depósitos de queda (*pyroclastic fall*) - mecanismo: suspensão;
- depósitos tipo *surge* (*pyroclastic surge*) - mecanismo: tração
- depósitos de fluxo (*pyroclastic flow*) - mecanismo: fluxo de massa;

Depósitos piroclásticos de queda: a origem destes depósitos está relacionada à acumulação do material ejetado pelo conduto, que gera uma coluna de erup-

ção na forma de uma pluma convectiva. A pluma expande-se pela ação dos gases e os piroclastos depositam-se sob a influência da gravidade, capeando a superfície com espessuras uniformes sobre áreas restritas (Fig. 5a).

Depósitos piroclásticos tipo *surge*: a origem destes depósitos está relacionada ao movimento lateral de piroclastos como um fluxo altamente expandido (tração), turbulento e com baixa concentração de partículas. Estes depósitos capeiam a topografia, tendendo a se acumular nas depressões (Fig. 5b).

Depósitos de fluxos piroclásticos: a origem destes depósitos envolve o movimento lateral de piroclastos como um fluxo quente, com alta concentração de partículas, controlado pela gravidade que em, algumas vezes, pode atingir uma condição parcialmente fluidizada. A deposição dos fluxos é controlada pela topografia, preenchendo vales e depressões (Fig. 5c₁ e 5c₂).

DEPÓSITOS DE FLUXO PIROCLÁSTICO

Estes depósitos são subaéreos e gerados por fluxos de superfície com concentração elevada de piroclastos com uma alta taxa de dispersão gás-sólido. Fluxos subaquosos são extremamente raros sendo a origem e evolução um tema polêmico (Carey & Singurdsson, 1980). Os fluxos piroclásticos apresentam volumes variáveis (<0,1 até >1000 km³) e podem percorrer distâncias desde inferiores a 1 km a superiores a 100 km. Os fluxos mais volumosos possuem composições riolítica a dacítica e os de menor expressão são em geral de composição andesítica a basáltica. A fração sólida juvenil é gerada pela desintegração explosiva de magmas, formando púmices, escórias, fragmentos vítreos não vesiculados, *shards* e cristaloclastos relacionados a magmas com taxa elevada de cristalização. Outras contribuições importantes para a formação destes depósitos são os fragmentos cognatos e acessórios, extraídos dos condutos além de litoclastos acidentais englobados pelo fluxo. A fase gasosa compreende originalmente voláteis expelidos antes e durante a erupção, acrescida dos voláteis liberados dos piroclastos durante a trajetória do fluxo e a incorporação de ar, representados por vapores originados da incorporação de águas superficiais e da combustão de vegetação.

Tabela 3 - Classificação granulométrica de piroclastos e depósitos piroclásticos unimodais bem selecionados (modificado a partir de Fisher, 1961 e Schmid, 1981).

Tamanho de grão (mm)	Piroclasto	Depósito Piroclástico	
		Tefra (inconsolidado)	Rocha piroclástica
	Bomba	Aglomerado ou tefras de bombas	Aglomerado
64	Bloco	Depósito de blocos ou tefra de blocos	Brecha piroclástica
2	Lápili	Depósito de lápili	Lapilito
1/16	Cinza grossa	Depósito de cinzas grosso	Tufo grosso
	Cinza fina	Depósito de cinzas fino	Tufo fino ou tufo a pó

Tabela 4 - Classificação granulométrica de depósitos piroclásticos e vulcanoclásticos ressedimentados ou mistos (modificado a partir de Fisher, 1961 e Schmid, 1981).

Tamanho de grão (mm)	Depósito Piroclástico (consolidado)	Depósito rico em Piroclastos (consolidado)	
		Ressedimento sin-eruptivo	Ressedimento ou retrabalhado/pós-eruptivo/origem incerta
64	Brecha piroclástica	Brecha ressedimentada rica em piroclastos;	Brecha / conglomerado tufaceo
	Lapilito	Lapilito ressedimentado rico em piroclastos;	
2	Tufo grosso	Arenito ressedimentado rico em cinzas	Arenito tufaceo
	Tufo fino ou tufo a pó	Lamito/siltito/argilito ressedimentado rico em cinzas	Lamito/siltito/argilito tufaceo

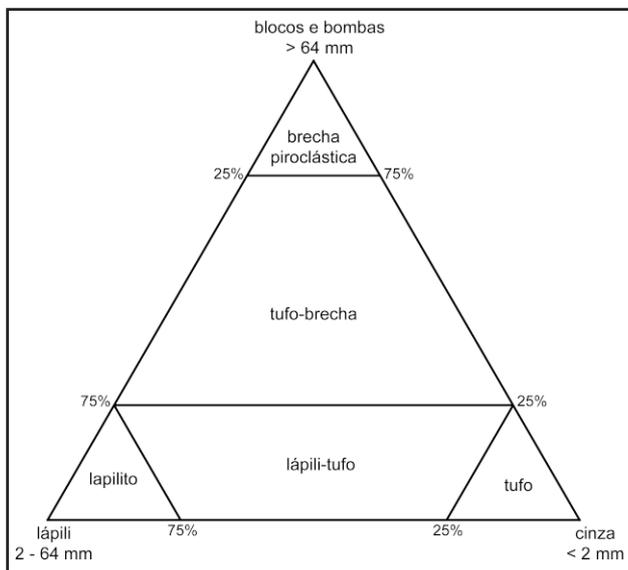


Figura 3 - Classificação granulométrica para depósitos piroclásticos primários polimodais (modificado de Fisher, 1966 b).

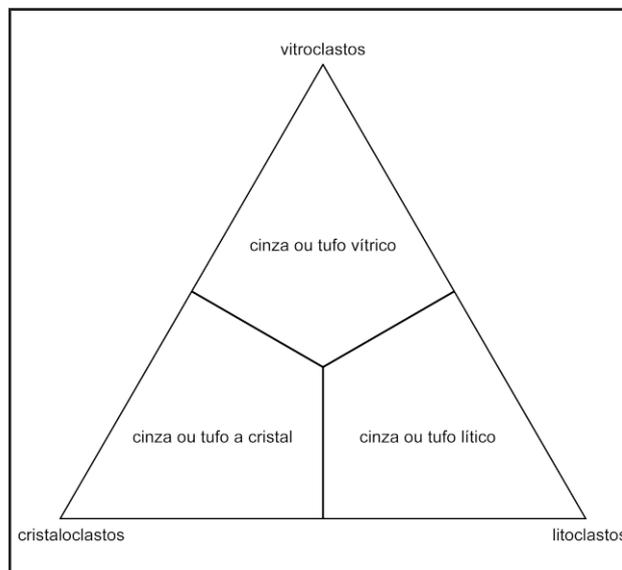


Figura 4 - Classificação de cinzas e tufo conforme a composição dos piroclastos (modificado a partir de Schmid, 1981).

Classificação genética de depósitos de fluxo piroclástico

A classificação genética é baseada nos três mecanismos principais responsáveis pela geração de fluxos piroclásticos (Fig. 6):

a) **mecanismos associados com a extrusão de domos e fluxos de lavas:** os fluxos são gerados do colapso gravitacional ou explosivo de lavas

ou domos. Podem estar também relacionados a colunas de erupção explosivas verticais ou laterais associadas à extrusão de domos de lavas. Os depósitos gerados são em geral denominados de fluxos de blocos e cinzas ou depósitos de avalanches quentes (Figs. 6a).

b) **mecanismos associados ao colapso de coluna de erupção vertical:** a instabilização da coluna

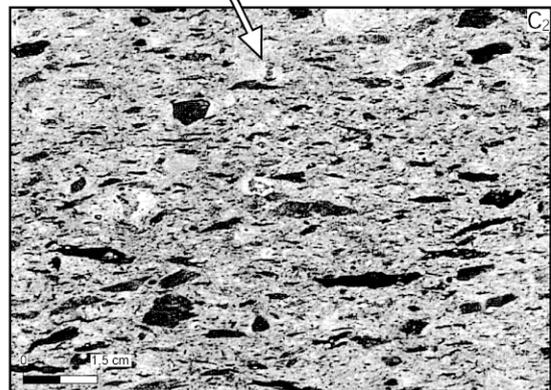
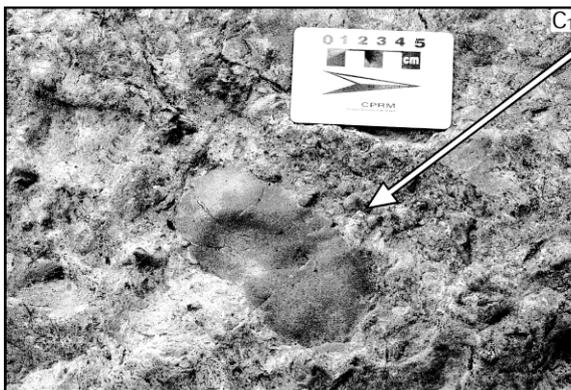
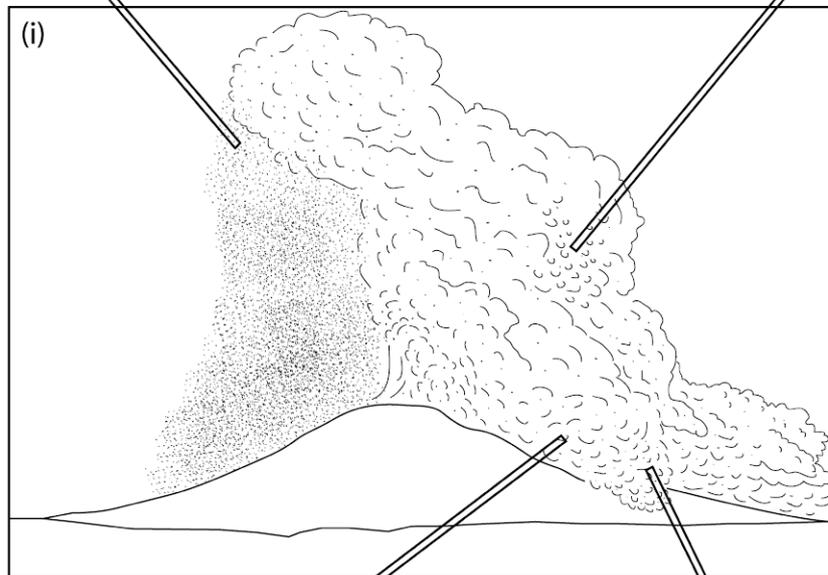
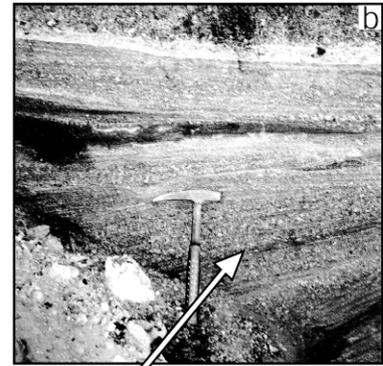
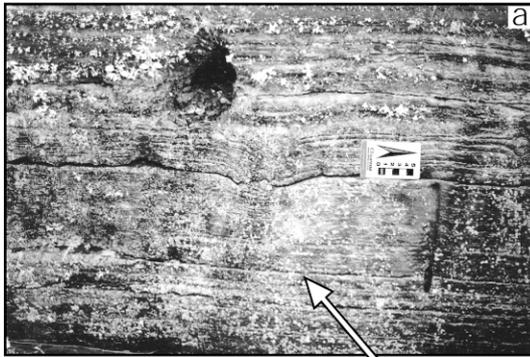
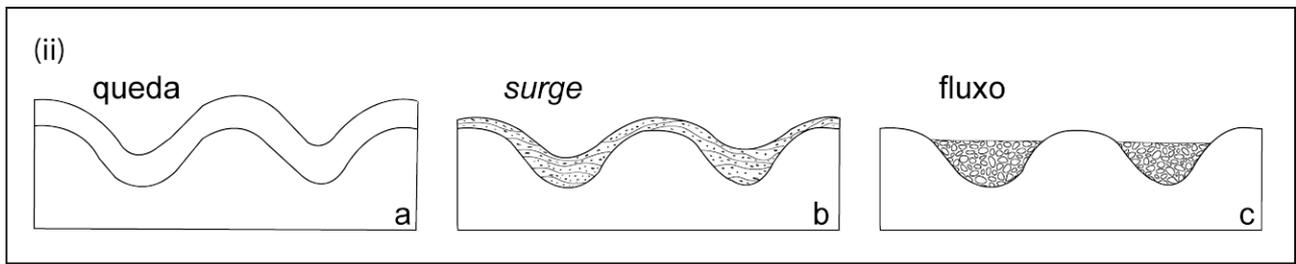


Figura 5 - Figura esquemática ilustrando: (i) três principais mecanismos de transporte na deposição dos depósitos piroclásticos: suspensão (depósitos de queda), tração (depósitos tipo *surge*), fluxo de massa (depósitos de fluxo piroclástico); (ii) as relações geométricas dos três tipos básicos de depósitos piroclásticos sobre uma mesma topografia e (iii) exemplos de depósitos piroclásticos: (a) *queda*); (b) *surge* (fotos a e b - depósitos do vulcão Bromo Tenger - Indonésia); (c) fluxos piroclásticos (fotos: c₁- brecha co-ignimbrítica - Platô da Ramada, RS; c₂ - ignimbrito tipo lenticulito - Pleistoceno-Nova Zelândia).

de erupção pode ocorrer após uma única explosão ou em uma série de explosões intermitentes. Os fluxos gerados são ricos em cinzas e escórias ou púmices (ignimbritos) (Fig. 6b).

- c) **mecanismos associados diretamente aos condutos:** os fluxos são gerados pela expansão de magmas supersaturados em voláteis, por pequenas emissões de misturas de gás-piroclastos e por liberações de “jatos” de lava de pequena intensidade (*low fountaining*). Os depósitos gerados são ricos em púmices ou em cinzas e escórias (Fig. 6c).

Os principais tipos de depósitos estão relacionados a fluxos de púmices (ignimbritos), fluxos de cinzas-blocos e fluxos de escórias, cujos aspectos descritivos são apresentados na tabela 5. Os principais processos de sustentação das partículas nestes fluxos são a fluidização, flutuabilidade e colisões

entre os grãos. A mobilidade destes é atribuída parcialmente às forças gravitacionais, ao impulso originado dos processos eruptivos e a grande eficiência de sustentação das partículas durante o fluxo.

DEPÓSITOS IGNIMBRÍTICOS

Ignimbritos são depósitos formados por fluxos piroclásticos de púmices, podendo ser encontrados em todos os ambientes geotectônicos e em todos os períodos geológicos, sendo comuns em erupções explosivas envolvendo magmas de composição riolítica, dacítica e andesítica. Podem percorrer grandes distâncias, principalmente em terrenos que apresentam superfícies levemente inclinadas, podendo em alguns casos, ultrapassar barreiras topográficas. Os fluxos de púmices podem atingir velocidade-

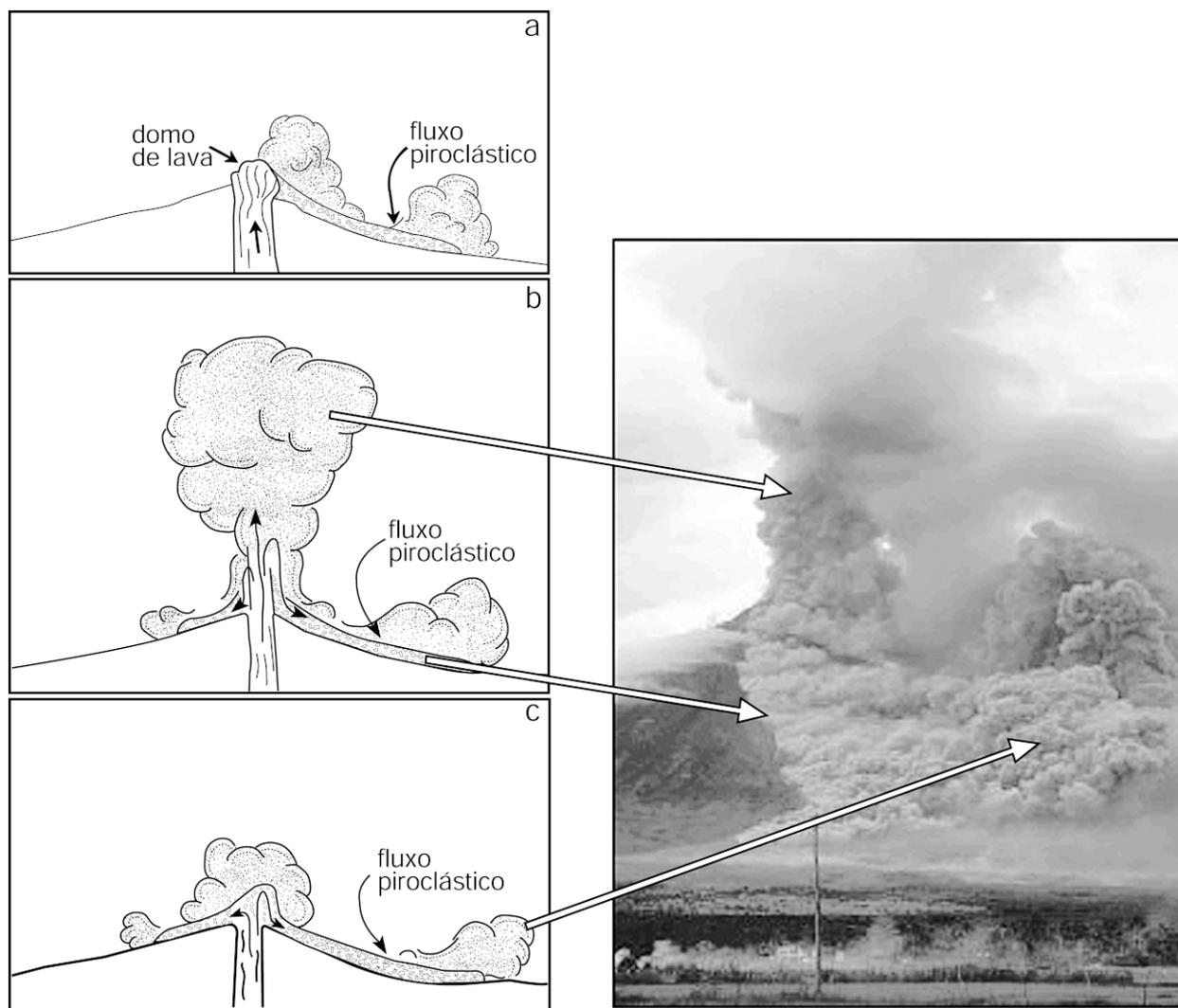


Figura 6 - Figura esquemática e ilustração sobre os principais mecanismos de geração de fluxos piroclásticos: (a) Colapso gravitacional/explosivo de domo/lava; (b) colapso da coluna de erupção; (c) relacionados diretamente ao conduto (Foto de erupção: Vulcão Mayon - Filipinas, fonte: <http://www.volcanoes.usgs.gov>).

des médias da ordem de 60 m/s até 160 m/s, e as principais características destes depósitos são apresentadas na tabela 6 com alguns exemplos ilustrados na figura 7.

Aspectos texturais e organização interna dos depósitos

Os depósitos ignimbríticos são, em geral, mal selecionados, contendo piroclastos que variam de tamanho bloco a cinza. Os clastos maiores são sustentados por uma matriz rica em púmice, *shards* e cristaloclastos. O escape acentuado de gases é responsável pela elutriação da fração fina dominada por *shards*, sendo freqüente o escape destes durante a movimentação do fluxo ou na sua deposição, levando a construção de feições do tipo *pipes*, *vugs* e *pods*.

É comum a ocorrência de depósitos ricos em cristais sendo um dos fatores principais para este enriquecimento relativo o mecanismo de elutriação de cinzas durante o fluxo piroclástico. Embora seja mais comum a presença de fragmentos angulosos de cristais ou fenocristais euédricos, os efeitos de abrasão podem deixá-los com formas arredondadas a subarredondadas.

Os ignimbritos podem apresentar genericamente dois pólos principais de organização interna que gradam entre si, e que refletem diferenças nos regimes deposicionais dentro de um fluxo. Estas unidades deposicionais limites são discutidas por Sparks *et al.* (1973) e Sheridan (1979), e classificadas como **depósito de fluxo piroclástico maciço**, quando o aspecto é relativamente homogêneo, com uma suave gradação normal da fração lapilítica mais densa, e **depósito de fluxo piroclástico estratificado**, caracterizado por estratificações sucessivas e bem marcadas (Fig. 8).

A organização interna destas unidades de fácies deposicionais depende dos processos de transporte, da deposição, das mudanças no fornecimento de material e dos efeitos da interação entre o fluxo e a topografia. As temperaturas elevadas destes depósitos e a capacidade de retenção de calor podem causar transformações texturais e modificar as características deposicionais primárias.

Processos de modificações pós-deposicionais

Os principais processos pós-deposicionais são a soldagem, devitrificação e a cristalização da fase vapor.

Tabela 5 - Aspectos descritivos dos principais depósitos de fluxo piroclástico.

DEPÓSITO	CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS
a) Depósito de fluxo de cinzas e blocos:	mal selecionados, contendo litoclastos cognatos tamanho bloco, geralmente não vesiculares, que podem exceder diâmetros superiores a 1 metro. São constituídos também por piroclastos tamanho cinza e lúpili moderadamente a pobremente vesiculados. Os lúpilis juvenis são angulosos e as cinzas são formadas por <i>shards</i> de vidro e fragmentos de cristais. Os depósitos podem exibir gradação inversa e camadas basais finamente granuladas. Texturas de soldagem não são comuns. Estão normalmente associados com extrusões de domos e fluxos de lavas, de composição andesítica à riolítica, especialmente em vulcões compostos ou em ambientes típicos de caldeira, e indicam uma alta energia durante o fluxo piroclástico.
b) Depósito de fluxo de cinzas e escórias:	depósitos de cinzas mal selecionados, com lúpilis vesiculares de composição basáltica a andesítica. Podem apresentar fragmentos de até 1m de diâmetro, com superfície escoriácea e, subordinadamente, litoclastos cognatos tamanho bloco não vesiculados. Também podem ser encontradas camadas basais finamente granuladas. Frontes íngremes são comuns e indicam uma alta energia durante o fluxo. Devido a composição relativamente máfica envolvida nestes fluxos, as temperaturas de erupção são relativamente altas e a viscosidade baixa, possibilitando a soldagem em depósitos de pequena espessura (< 10 m).
c) Depósito de fluxo de púmices (ignimbritos):	formados a partir de fluxos piroclásticos com púmices, independente do volume e do grau de soldagem (Sparks <i>et al.</i> ,1973). Este conceito, embora pareça amplo por demasia, tem demonstrado ser bastante coerente com as descrições realizadas em depósitos ignimbríticos. Outros termos têm sido utilizados como sinônimos de ignimbritos, mostrando-se porém, muito imprecisos: - <i>Ash-flow tuffs</i> (Smith, 1960a; Ross e Smith, 1961): intensamente utilizado, apesar de sua imprecisão, pois a maioria dos ignimbritos apresentam grandes proporções de fragmentos tamanho lúpili e bloco/bomba, e não somente cinza, como propõe o próprio termo; - <i>Depósito de nuvens ardentes</i> : este termo deveria ser restrito aos depósitos de fluxo piroclástico de blocos e cinzas de pequeno volume, produzido pelo colapso de um domo de lavas, como originalmente descrito por La Croix (1904). Deve-se evitar este termo, não só pela sua ambigüidade, mas porque a maioria das nuvens ardentes formam ash-cloud surges e depósitos de tufo de queda.

A expressão **soldagem** é utilizada para a indicar a litificação e deformação plástica de fragmentos de púmices quentes, *shards*, litoclastos e cristaloclastos. Este processo é responsável pela redução da porosidade do depósito, que adquire uma maior densidade (ignimbrito soldado, depósito de fluxo de blocos e cinzas soldado), sendo controlado especialmente pela viscosidade do vidro da fração púmice e dos vitroclastos, pelo conteúdo de litoclastos e pela carga litostática vinculada a espessura do depósito.

A presença de textura eutaxítica, marcada pelo achatamento dos púmices e vitroclastos paralelo ao acamadamento, é indicativa da soldagem dos depósitos. Em depósitos mais espessos, com temperaturas mais altas e com viscosidade baixa da fração vítrea, a soldagem é mais eficiente, sendo comum em erupções onde a perda de calor é menor, como em regimes com baixas colunas de erupção ou em colapso de domos.

O grau de soldagem dos depósitos não é necessariamente homogêneo, observando-se zonas soldadas, moderadamente soldadas a não soldadas (Fig. 9). Esta zonalidade é facilmente observada em unidades de fluxo simples, sendo mais complexa em unidades de fluxos compostos. Em casos excepcionais,

fluxos piroclásticos constituídos por partículas com viscosidade baixa, podem ser soldados ainda durante a deposição, não dependendo portanto da carga litostática, sendo este fenômeno definido como aglutinação (Branney & Kokelaar, 1992). As feições originadas nestes depósitos são muito semelhantes a depósitos de lava e podem levar a interpretações distintas (Milner *et al.*, 1995; Umann *et al.*, 2001).

A condição de instabilidade termodinâmica da fração vítrea é responsável pela devitrificação, que inclui a nucleação e neoformação de minerais nos sistemas vulcânicos. Em composições ricas em sílica é comum o crescimento de fibras cristalinas de quartzo (cristobalita ou, mais raramente, tridimita) e feldspatos alcalinos ricos em Na⁺ e K⁺ (Lofgren, 1970). Alguns processos de devitrificação ocorrem sob condições de alta temperatura, podendo gerar esferulitos, *litophysae* e textura micropoiuquilitica.

Os esferulitos são constituídos por crescimentos fibro-radiados, onde cada fibra é considerada como um cristal único, sendo sua morfologia relacionada à temperatura de formação (Lofgren, 1971 a). As *litophysae* envolvem a nucleação de esferulitos a partir de pequenas vesículas, que tendem a se expandir pela liberação dos voláteis, desenvolvendo uma cavidade central (*vug*). A textura

Tabela 6 - Feições macroscópicas e microscópicas de ignimbritos.

FEIÇÕES MACROSCÓPICAS	FEIÇÕES MICROSCÓPICAS
<ul style="list-style-type: none"> - depósitos mal selecionados, contendo quantidades variadas de lápilis, cinzas e púmices arredondados, e blocos de até 1m de diâmetro. Os clastos são normalmente sustentados pela matriz; - freqüentemente observa-se gradação inversa de púmices e gradação normal de litoclastos, embora sejam comuns unidades de fluxo sem gradação; - presença de camada basal finamente granulada; - os depósitos menores, ricos em fragmentos mais grossos, usualmente preenchem vales; - podem mostrar diferentes zonas e intensidades de soldagem; - os púmices possuem aparências extremamente diversas, devido às diferentes condições de soldagem e devitrificação; - algumas vezes, os púmices são muito pequenos e estão presentes em tão pequenas quantidades, que é preciso utilizar outros critérios de reconhecimento de ignimbritos; - púmices frescos apresentam cores que variam do branco ou cinza até matizes de marron; - durante o achatamento e a soldagem os púmices escurecem e, em zonas fortemente soldadas, tornam-se pretos como as obsidianas; - a presença de elementos lenticulares em ignimbritos soldados podem indicar estiramento de púmices; - o achatamento de púmices e outros constituintes por carga de compactação e soldagem dá origem a uma estrutura foliada (foliação eutaxítica), comum na maioria dos ignimbritos. Quando perpendicular ao plano de foliação, os fragmentos ocorrem como discos ou placas achatadas; quando paralela ao plano, ocorrem fragmentos em formas lenticulares. 	<ul style="list-style-type: none"> - shards em diversas formas: U, Y, espículas ou meia lua - originados da fragmentação das paredes de bolhas e púmices, indicando a alta vesiculação do magma, antes da explosão; - matriz com fragmentos tamanho pó; - fragmentos de púmices e devitrificação de púmices, formando um intercrescimento entre feldspatos e cristobalita; - soldagem e deformação do material piroclástico; - estrutura foliada devido ao arranjo paralelo de fragmentos achatados, ou a compactação e achatamento de shards de vidro e púmices; - ignimbritos de composição riolítica: predomínio de feno-cristais de feldspato e quartzo; - composição andesítica: é comum a presença de fenocristais de augita, hornblenda e biotita; - presença de fragmentos líticos acessórios e acidentais; - textura axiolítica: intercrescimento paralelo delgado de produtos de devitrificação. É um critério microscópico diagnóstico para o reconhecimento de ignimbritos; - textura esferulítica: feição esferoidal com o crescimento radial de minerais.

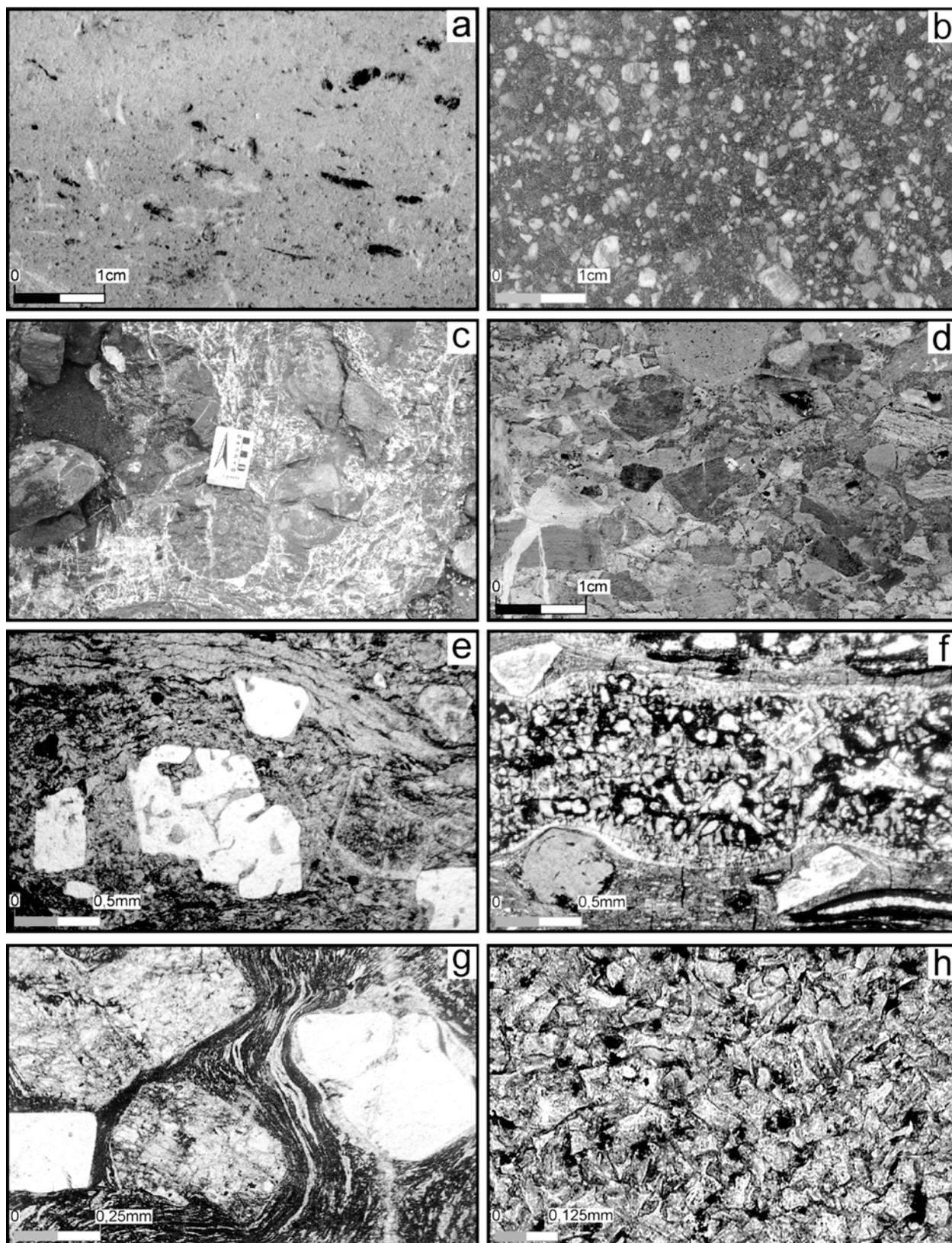


Figura 7 - Feições características em ignimbritos: (a) Bishop Tuff - Califórnia, Estados Unidos da América: mal selecionado, sustentado pela matriz rica em cristais e *shards*; *lithophysae* - cavidades circundadas por uma borda de fibras de cristais; (b) Ignimbrito rico em cristais e fortemente soldado - Formação Iriri na região do Moriru - Aripuanã, MT. (c-h) Exemplos de feições em ignimbritos do Platô da Ramada, RS (Brasil): (c) feições de escape gases (*paleopipes*) em ignimbritos tipo lenticulito; (d) ignimbrito rico em cristais de K-feldspato e quartzo e moderadamente soldado; (e) feições de reabsorção em cristaloclasto de quartzo, envolto por *fiamme* e *shards* em lenticulito; (f) cristalização da fase-vapor (quartzo+k-feldspato) em *lithophysae* em ignimbrito moderadamente soldado; (g) ignimbrito fortemente soldado com foliação eutaxítica envolvendo cristaloclastos subédricos de K-feldspatos micropertitizados e quartzo; (h) ignimbrito moderadamente soldado rico *shards*.

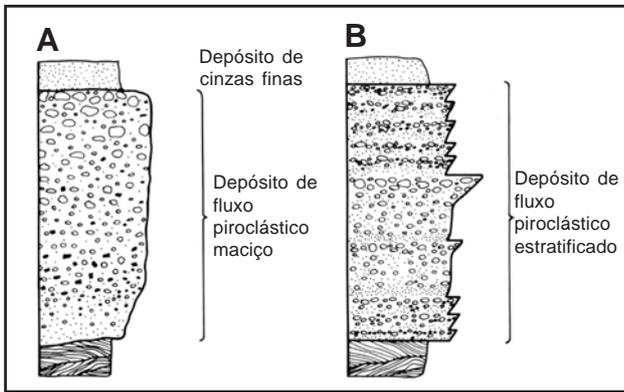


Figura 8 - Seções ideais em depósitos de fluxo piroclástico não soldados: (A) depósito de fluxo piroclástico maciço; (B) depósito de fluxo piroclástico estratificado (modificado a partir de Sparks *et al.* 1973 e Sheridan 1979).

micropoiquilitica é representada por um mosaico de cristálitos incluídos em pequenos grãos, originado pela nucleação e crescimento de fases distintas durante a devitrificação.

De acordo com Lofgren (1971 b), nos vidros riolíticos podem ocorrer quatro estágios de devitrificação: (a) estágio inicial de hidratação, representado por um mosaico poligonal de fraturas no vidro, denominado de fraturas perlíticas; (b) estágio vítreo, marcado pela textura felsítica e pequenos esferulitos; (c) estágio esferulítico, onde estes são abundantes e associados a quartzo micropoiquilitico, e (d) estágio granofírico, definido por agregados quartzo-feldspáticos, finamente granulados e aparentemente

equidimensionais. A devitrificação, como a soldagem, não ocorre de maneira uniforme, podendo-se observar variações deste processo em um mesmo depósito (Figs. 9 e 10).

Os gases aprisionados nos poros e cavidades (*vugs*) dos depósitos piroclásticos de fluxo podem cristalizar, levando ao crescimento de novos e pequenos minerais, logo após a deposição. Este fenômeno denominado de cristalização da fase vapor é responsável pela neoformação de tridimita, que tende a reverter para quartzo, feldspato alcalino, hematita e, em alguns casos, biotita e anfibólio. A composição desta fase vapor dependerá da contribuição dos voláteis aprisionados, dos voláteis liberados dos fragmentos vítreos juvenis e das águas superficiais aquecidas. A textura originalmente vesicular do depósito pode ser modificada pelo crescimento de novos cristais ou agregados, sendo as modificações texturais e mineralógicas confinadas, em geral, a pequenas áreas adjacentes aos *pipes* de escape de gases ou paralelas ao acamadamento (Fig. 10).

DEPÓSITOS DE FLUXO PIROCLÁSTICO NO VULCANISMO ÁCIDO NEOPROTEROZÓICO DO RIO GRANDE DO SUL

Os depósitos de fluxo piroclástico caracterizam-se pela presença e preservação de calor que facilitam o processo de litificação e soldagem, con-

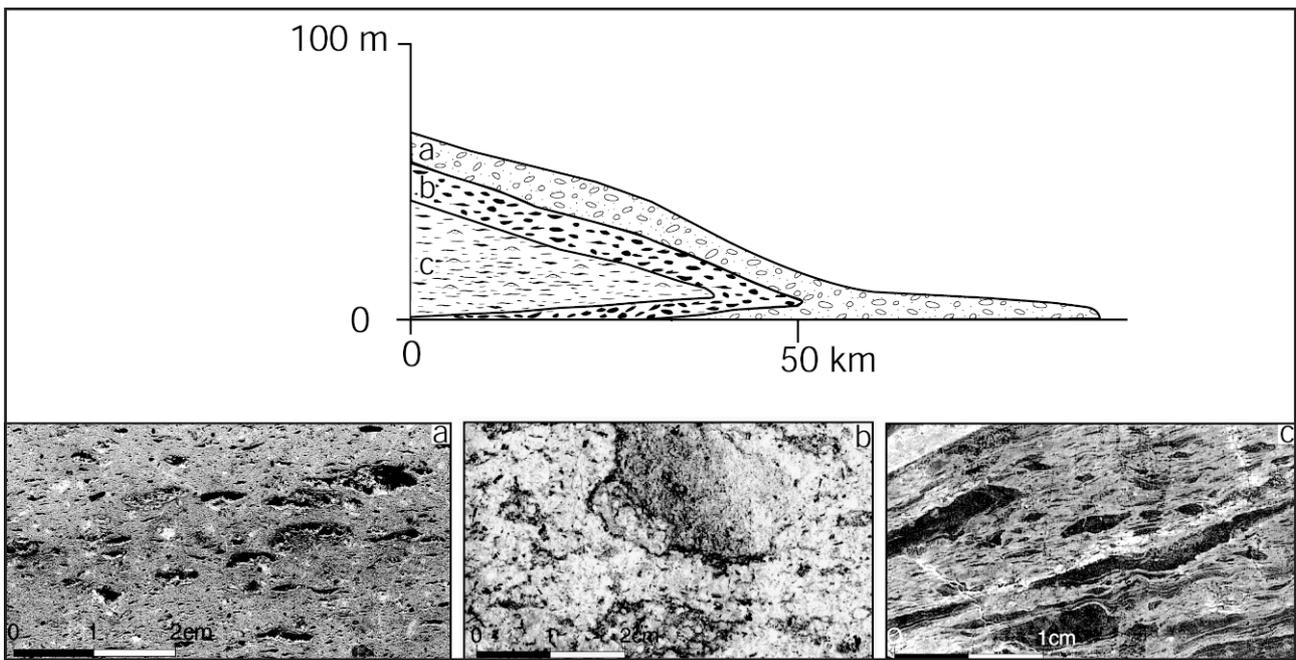


Figura 9 - Desenho esquemático representando os arranjos vertical e lateral ideais para as zonas de soldagem em uma simples unidade de fluxo ignimbrítico (modificado de Smith 1960 b): (a) ignimbrito fracamente soldado, com preservação de *lithophysaes* - Taupo (Nova Zelândia); (b) ignimbrito moderadamente soldado - Vesúvio (Itália); (c) ignimbrito fortemente soldado com *fiamme* estirados definindo uma textura eutaxítica - Platô da Ramada, RS (Brasil).

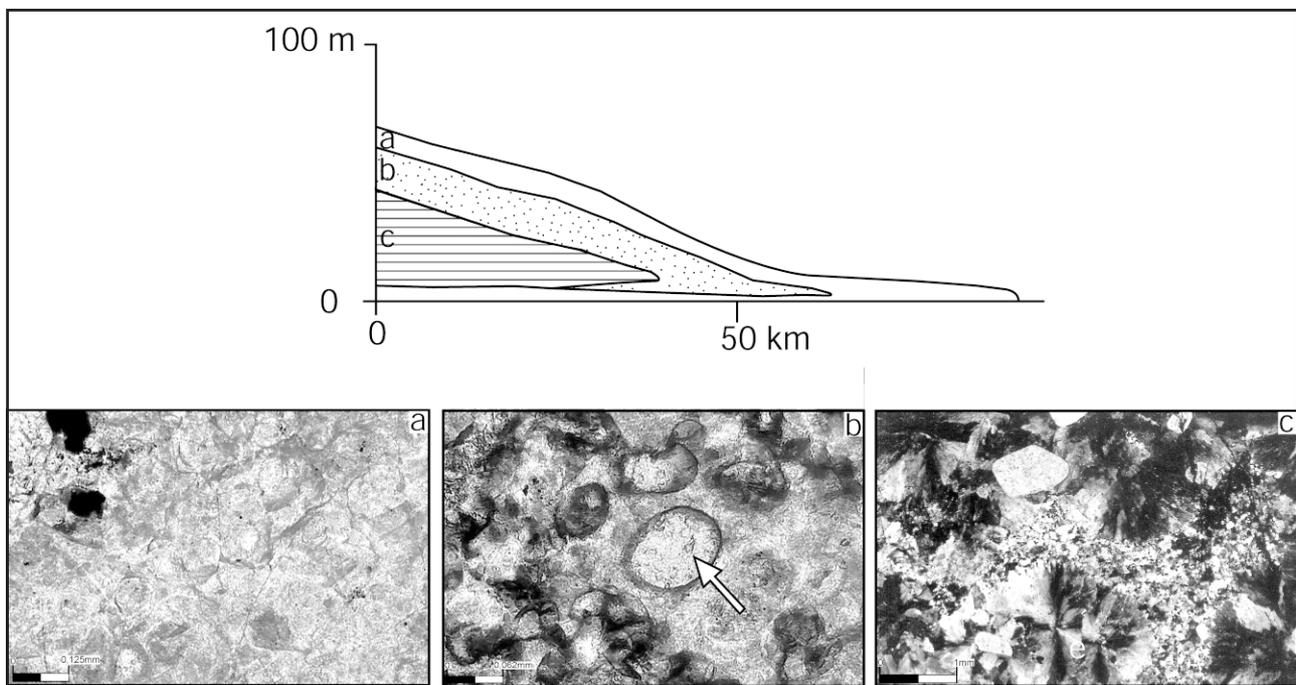


Figura 10 - Ilustrações dos arranjos vertical e lateral ideais para as zonas de devitrificação em uma simples unidade de fluxo ignimbrítico (modificado de Smith 1960 b): A zona devitrificada inclui esferulitos, *lithophysaes* e cristalização granofíbrica. (a) ignimbrito vítreo com fraturamento perlítico; (b) cristalização da fase vapor em ignimbrito moderadamente soldado; (c) textura esferulítica e granofíbrica como evidência de devitrificação em altas temperaturas em ignimbrito moderadamente soldado. Fotomicrografias de ignimbritos do Platô da Ramada, RS (Brasil).

dição importante para preservação deste registro vulcânico. Depósitos de fluxo piroclástico têm sido identificados no Brasil em sucessões vulcânicas de idades e ambientes geológicos diversos, destacando-se: Formação Iriri na região do Moriru - Aripuanã, MT (Pinho *et al.*, 1999); vulcanismo félsico da Formação Campo Alegre, SC (Waichel *et al.*, 2000); Grupo Castro, PR (Mendes & Vasconcellos, 1999); vulcanismo riolítico da Suíte Plutono-vulcânica Cambirela, SC (Tomazzoli, 1999); vulcanismo ácido da Formação Acampamento Velho - RS, nas regiões de Dom Pedrito (Platô do Taquarembó - Sommer *et al.*, 1999; Wildner *et al.*, 1999) e Vila Nova do Sul (Platô da Ramada - Sommer *et al.*, 2001). Constatase, no entanto, que são ainda escassos os trabalhos dedicados à descrição e caracterização dos aspectos diagnósticas destes depósitos. No presente trabalho são reunidos os dados e interpretações referentes aos depósitos de fluxos piroclásticos encontrados no Escudo Sul-Rio-Grandense.

No Rio Grande do Sul o vulcanismo ácido neoproterozóico da Aloformação Acampamento Velho representa parte do magmatismo alcalino supersaturado em sílica, não deformado e não metamorfoisado, associado às últimas manifestações do Ciclo Brasileiro-Pan-africano no Escudo Sul-Rio-Grandense (Wildner *et al.*, 2002). As melhores

exposições destes vulcanitos localizam-se nas porções sudoeste (Platô do Taquarembó - Dom Pedrito) e centro-oeste (Platô da Ramada - Vila Nova do Sul) do Escudo Sul-Rio-Grandense (Fig. 11). Nestes terrenos são observados diferentes tipos de depósitos vulcânicos, especialmente lavas e depósitos piroclásticos de fluxo, sendo menos comuns depósitos de queda. Esta faciologia é típica de sistemas riolíticos fortemente influenciados pela relação viscosidade alta - conteúdo de voláteis elevado. O grau de preservação dos depósitos permite reconstruir, pelo menos em parte, a história vulcanológica destas regiões e, apesar da idade pré-cambriana-cambriana, inúmeros registros do vulcanismo permanecem preservados, especialmente na fração vulcanoclástica dos depósitos.

Depósitos de fluxo piroclástico no Platô do Taquarembó

O vulcanismo do Platô do Taquarembó estabeleceu-se sobre uma crosta continental granulítica (Complexo Granulítico Santa Maria Chico), sendo todos os depósitos identificados de natureza subaérea. Dados geocronológicos sugerem uma idade de U-Pb de 573 ± 18 Ma (Chemale *et al.*, 1999). Segundo Wildner *et al.* (1999) o vulcanismo do platô está representado por derrames básicos a inter-

mediários, seguidos por uma sucessão de rochas efusivas e piroclásticas ácidas, além de depósitos sedimentares vulcanogênicos. A fração vulcânica ácida da porção sul do Platô do Taquarembó foi informalmente denominada por Sommer *et al.* (1999) de Sequência Vulcânica Ácida (SVA) e pode ser dividida em dois eventos explosivos separados estratigraficamente por unidades efusivas, sendo esta organização ilustrada na tabela 7.

Os depósitos de fluxo piroclástico concentram-se na porção superior da SVA e representam um segundo ciclo explosivo do Platô. Os depósitos são fluxos de púmices estratificados e parcialmente soldados (ignimbritos estratificados - fig. 12a) e caracterizam as primeiras manifestações explosivas do evento 2. Estas são sucedidas por fluxos de púmices maciços e fortemente soldados (ignimbritos maciços soldados - fig. 12 b-c) que são subjacentes ao evento efusivo 2.

Os **ignimbritos estratificados** estão organizados em uma sucessão de camadas sub-horizontais, que internamente possuem uma gradação normal de litoclastos e inversa de púmices. São mal selecionados e constituídos por piroclastos tamanho lúpili e, subordinadamente, cinza e bloco, apresentando um grau moderado de soldagem. As características individuais de cada nível assemelham-se ao tipo 2b da seção ideal de unidades deposicionais de fluxos piroclásticos proposta por Sparks *et al.* (1973) e Sheridan (1979). O tipo 2b caracteriza-se pela gradação normal de litoclastos associada a uma gradação inversa de púmices. A condição turbulenta do fluxo determina uma maior “flutuabilidade” dos clastos extremamente vesiculados e não consegue

sustentar os litoclastos maciços. A origem do padrão estratificado, no caso do Platô do Taquarembó, pode estar vinculada a sucessão de diferentes unidades de fluxo piroclástico, sendo esta hipótese em geral assumida para estes tipos de depósitos (Fisher & Schmincke, 1984; Cas & Wright, 1987; Ross & Smith, 1961; Wright *et al.*, 1980; Smith, 1960). A avaliação dos constituintes do depósito estratificado permite reconhecer a concentração de níveis ricos em blocos cognatos riolíticos (Fig. 12e), possivelmente extraídos da fração efusiva I e concentrados na parte inferior do depósito, acompanhados de fragmentos lapilíticos (vitroclastos, litoclastos e púmices). Neste nível concentram-se grandes fragmentos vítreos (6,5 cm até 20 cm), plasticamente deformados, ricos em fraturas perlíticas que são interpretados como fragmentos juvenis do depósito (Fig. 12d, f). A ausência destes constituintes na porção superior, onde ocorre uma grande concentração de púmices, sugere um aumento gradativo da vesicularidade do sistema magmático. A avaliação petrográfica dos púmices, constituintes principais do depósito, indica processos de devitrificação, intercrescimentos microcristalinos entre quartzo e feldspato alcalino, além de texturas axiolítica e esferulítica. (Figs. 13 a, b, c, g).

Os **ignimbritos** soldados ocorrem sobre os depósitos estratificados, podendo quanto à soldagem serem classificados como depósitos do tipo alto grau (Fig. 12b, c). Este, caracteriza-se por uma drástica diminuição da porosidade tornando o depósito maciço, assemelhando-se a rochas riolíticas efusivas. A zonalidade da soldagem no depósito é incipiente, observando-se uma condição moderada

Tabela 7 - Organização faciológica da Sequência Vulcânica Ácida do Platô do Taquarembó, RS, Brasil (modificado de Sommer *et al.* 1999).

EVENTOS	PROCESSOS	DEPÓSITOS	UNIDADES
Efusivo 2	Fluxo de lavas	Derrames traquidacíticos e riolíticos	Associação Efusiva II
	Mecanismos de fluxo de massa	Fluxos piroclásticos de púmices (ignimbritos)	Depósitos Ignimbritos
Explosivo 2	Mecanismos de fluxo de massa (+ ressedimentação)	Fluxos piroclásticos de blocos/ cinzas e fluxos de púmices ressedimentados	Depósitos de fluxo piroclástico ressedimentados
	Mecanismos de tração	Tipo surge	Depósitos tipo surge
Efusivo 1	Fluxo de lavas	Derrames traquidacíticos e riolíticos	Associação efusiva 1
	Mecanismos de suspensão (+ ressedimentação)	Piroclásticos de queda ressedimentados	Depósitos de brechas piroclásticas ressedimentados
Explosivo 1	Mecanismos de suspensão	Piroclásticos de queda	Depósitos piroclásticos de queda

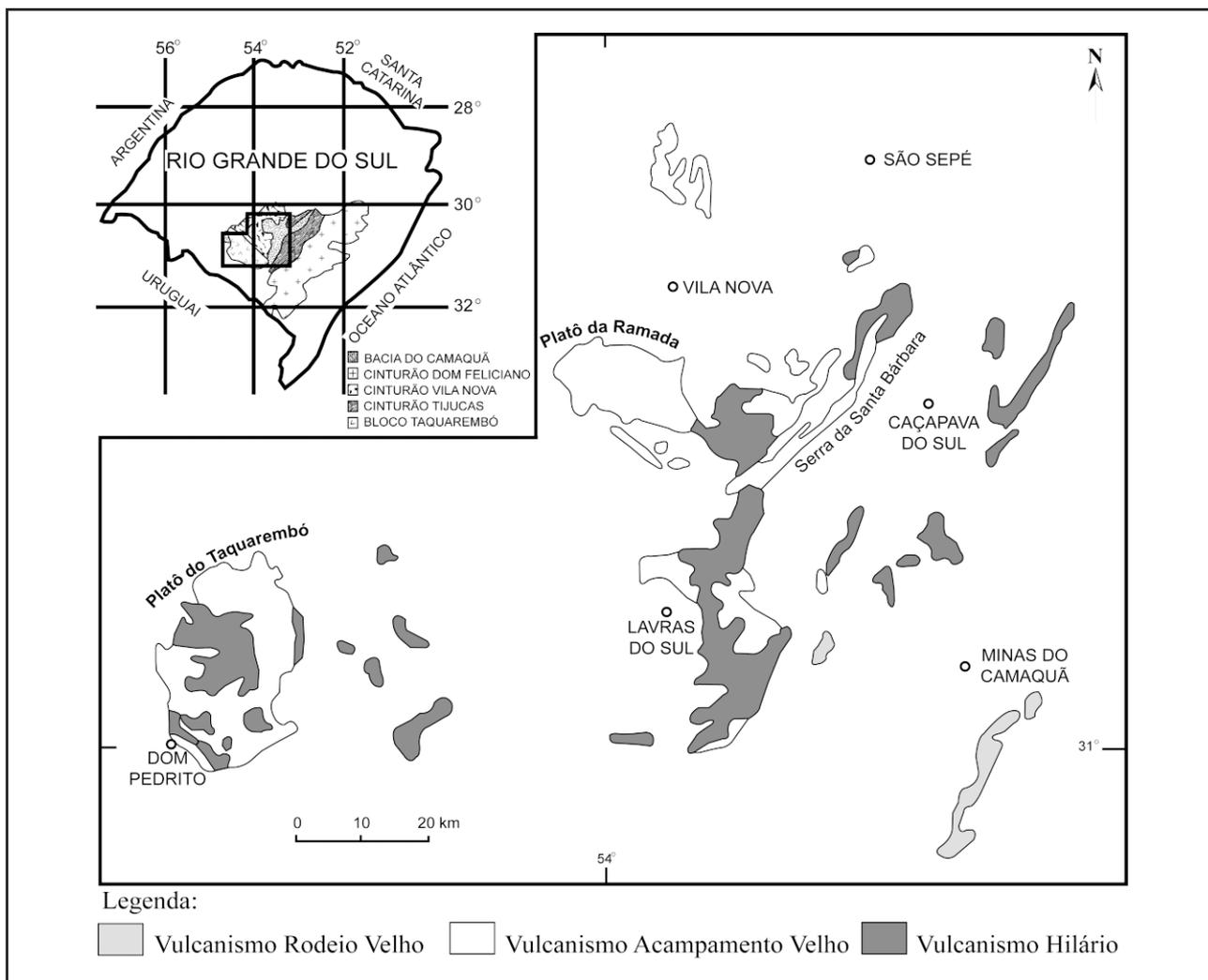


Figura 11 - Mapa esquemático mostrando as principais ocorrências do vulcanismo neoproterozóico na Bacia do Camaquã, RS (Brasil) e a localização dos Platôs da Ramada e do Taquarembó.

na base do depósito, determinada pela maior concentração de litoclastos, com dimensões lapilíticas, e cristaloclastos. Na porção fortemente soldada observa-se que a matriz é rica em *fiamme* e *shards*, desenvolvendo uma textura eutaxítica. Os litoclastos são predominantemente de rochas vulcânicas e os cristaloclastos são representados por quartzo e feldspato (Fig. 13 d, e, f, h). Os processos de devitrificação de alta temperatura são evidenciados pela presença de *lithophysaes*, axiolitos e esferulitos. A cristalização da fase vapor é registrada pela cristalização de quartzo e feldspatos alcalinos em cavidades e fraturas (Fig. 12 f). As diferenças principais entre o tipo estratificado e o maciço são a percentagem baixa de litoclastos e o grau elevado de soldagem presentes neste último. Estas características são indicativas de fluxos de mais alta temperatura, típicas de baixas colunas de erupção, podendo relacionar a menor contribuição

de litoclastos dos depósitos maciços a um índice menor de explosividade. A predominância de piroclastos juvenis e cognatos, e a baixa percentagem de cristais, sugerem uma erupção explosiva magmática, associada a líquidos com taxas de cristalização moderadas a baixas.

Depósitos de fluxo piroclástico no Platô da Ramada

O Platô da Ramada é caracterizado por uma associação não deformada de rochas vulcânicas e intrusões sub-vulcânicas (diques e *sills*), de composição básico-ácida que estabeleceu-se sobre uma crosta continental com assinatura isotópica juvenil (Chemale, 2000), com idade U-Pb em zircões de cerca de 549.3 ± 5 Ma (Sommer *et al.*, 2003). O vulcanismo do Platô é constituído por uma unidade basal representada por lavas intermediárias seguidas

de conglomerados vulcanogênicos, sucedida por uma associação bimodal de composição básica-ácida (Tabela 8). A porção inferior desta associação é caracterizada por depósitos de fluxos piroclásticos ricos em blocos, definidas como brechas co-ignimbríticas e fluxos de púmices que, em algumas porções, são intrudidos por diques básicos. Estes depósitos particulados são sucedidos por fluxos de lavas riolíticas, que apresentam diferentes aspectos estruturais e texturais, destacando-se os tipos autobrechados, foliados e maciços. Localizadamente, ocorrem lavas básicas intercaladas às ácidas. Intrusões rasas de composição riolítica e traquítica cortam as rochas encaixantes ao redor da área do platô.

As **brechas co-ignimbríticas** são definidas pelo enriquecimento de litoclastos e empobrecimento de material fino, tendo como característica principal a pobre seleção, observando-se litoclastos conatos de rochas riolíticas e, subordinadamente, litoclastos acidentais de granitóides, andesitos e arenitos, envolvidos por uma matriz tufácea, composta por cristaloclastos (K-feldspato e quartzo), vitroclastos e púmices. A geometria do depósito é irregular, não tendo sido constatadas feições de acamadamento. A organização subhorizontal do depósito é raramente observada, marcada apenas em alguns locais por um maior achatamento de púmices

(Figs. 14a, b, c, d). Estas características são herdadas da incapacidade do fluxo em sustentar clastos maiores, aliada à elevada fluidização do fluxo que determina a elutriação da fração fina. Wright & Walker (1977) interpretaram este tipo de depósito como produzido pela queda de blocos sincrônicos a fluxos piroclásticos, sendo esta interpretação posteriormente revista pelos mesmos autores e a fração lítica interpretada como parte do próprio fluxo. Esta fácies é interpretada como proximal sendo complexas as relações entre estes depósitos e os ignimbritos.

Os **ignimbritos** são caracterizados pela predominância da fração lúpili, observando-se variações nos conteúdos de cristaloclastos, vitroclastos e litoclastos. Pode-se individualizar duas litofácies principais: ignimbritos do tipo lenticulito e ignimbritos ricos em cristais. Nos primeiros observa-se um predomínio de matriz tufácea de composição vítrea, envolvendo púmices com diferentes formas e tamanhos, além de litoclastos e cristaloclastos. A grande quantidade de púmices, aliada ao grau de soldagem pronunciado resulta em uma quantidade elevada de *fiamme*, originando uma destacada textura eutaxítica que confere à rocha um aspecto lenticular (Fig. 15a, b, c; 16 a, b). Os cristaloclastos são predominantemente de quartzo e feldspato alcalino subédricos e euédricos (*juvenis*),

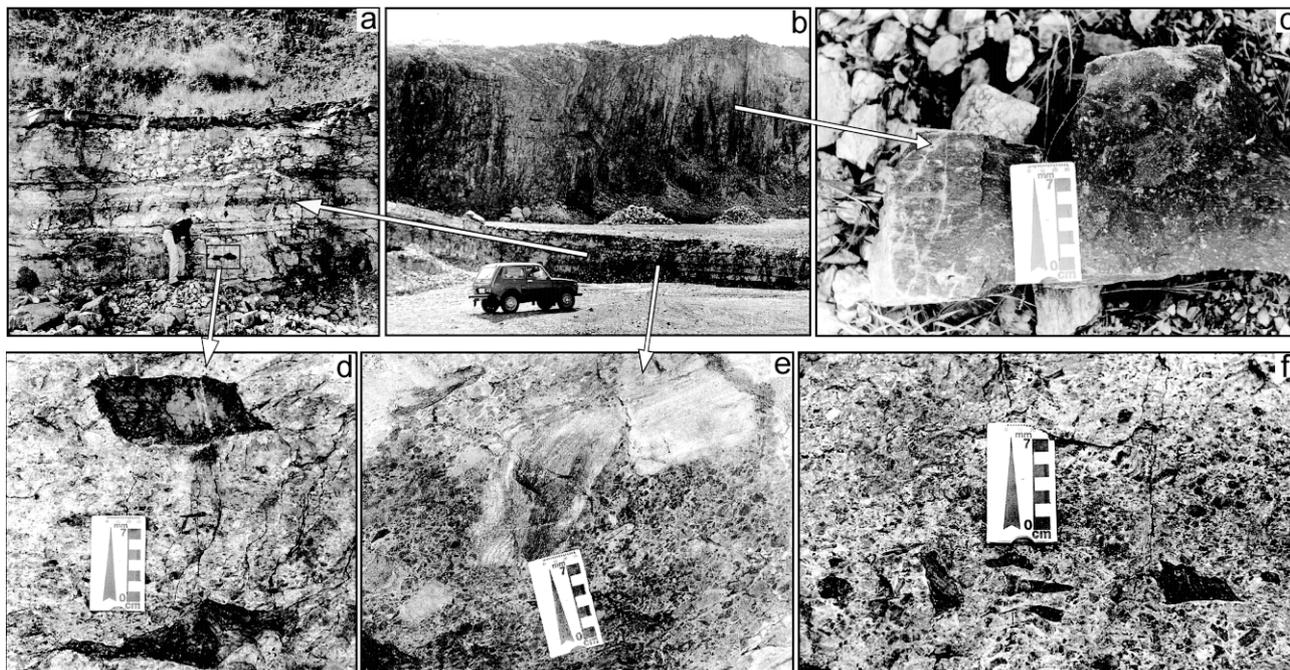


Figura 12 - Exemplos de depósitos de fluxo piroclástico da SVA no Platô do Taquarémob, RS (Brasil): (a) ignimbritos estratificados e parcialmente soldados; (b) ignimbritos maciços soldados sobrepondo os depósitos estratificados (c) detalhe de ignimbrito fortemente soldado com aspecto de lava; d-e) detalhe dos depósitos estratificados, onde é observado um nível com predomínio de blocos juvenis (d) e cognatos (e); (f) textura eutaxítica observada em ignimbrito rico em litoclastos cognatos.

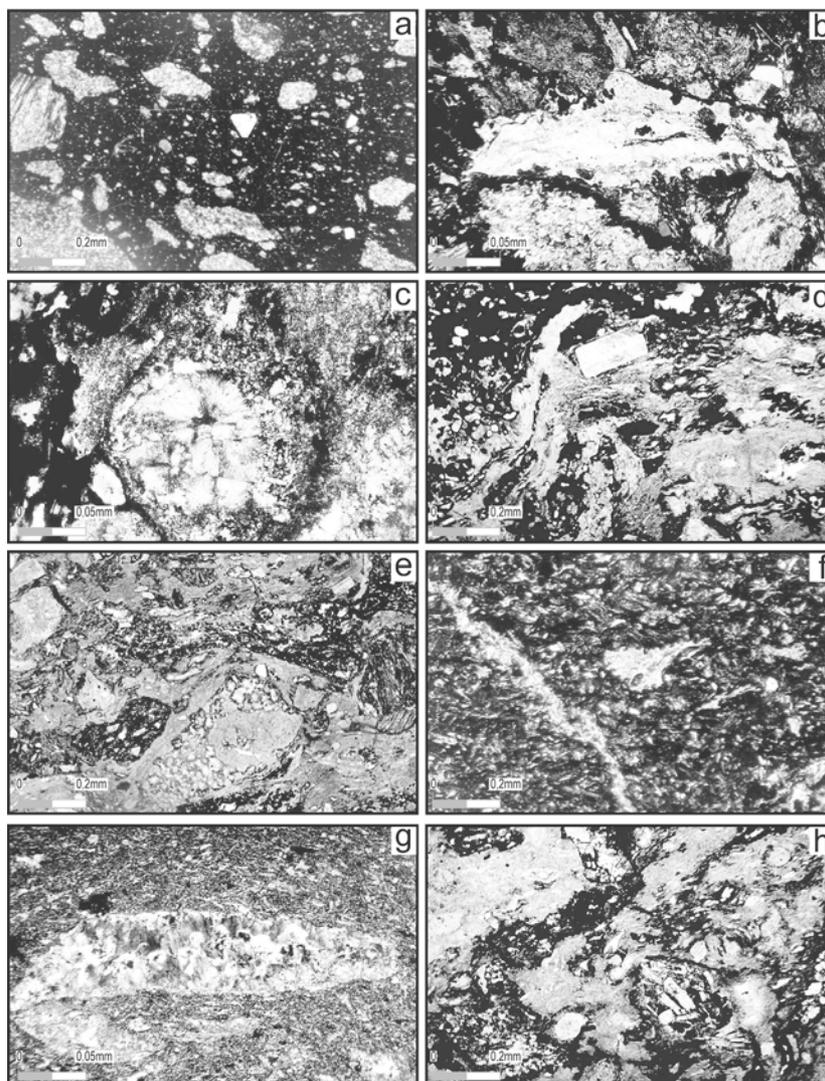


Figura 13 - Feições microscópicas características em ignimbritos da SVA - Platô do Taquarembó, RS (Brasil): (a) púmices e cristaloclastos em ignimbrito parcialmente soldado (LP - 25x); (b) detalhe de fragmento de púmice em ignimbrito não soldado (LP - 100x); (c) esferulitos como feições de devitrificação de alta temperatura em ignimbrito (LP - 25x); (d) cristais euhédricos, litoclastos e púmices em ignimbrito soldado (LP - 25x); (e) litoclastos cognatos e púmices estirados em ignimbrito soldado (LP - 25x); (f) shards e púmices em ignimbrito rico em vitroclastos; cristalização da fase vapor em fratura (LP - 25x); (g) axiolitos como feição de devitrificação de alta temperatura em *lithophysae* (LP - 100x); (h) litoclasto acidental de andesito e púmices estirados em ignimbrito soldado (LP - 25x).

Tabela 8 - Organização faciológica da Seqüência Vulcânica do Platô da Ramada, RS, Brasil (modificado de Sommer *et al.* 2001).

SEQÜÊNCIA	DEPÓSITOS	CARACTERÍSTICAS
Bimodal (básico-ácida) (explosiva-efusiva) (espessuras ≈ 80-100m)	<i>Fluxo de lavas ácidas; lavas e diques básicos</i>	Riolitos com diferentes aspectos estruturais e texturais (autobre-chados, foliados e maciços); intercalação com basaltos em porções restritas do platô.
	<i>Ignimbritos (localizadamente cortados por diques básicos)</i>	Depósito piroclástico de fluxo de púmices = lenticulitos/ricos em cristais (composição ácida)
	<i>Brechas co-ignimbríticas (localizadamente cortados por diques básicos)</i>	Grande quantidade de blocos; Predomínio de clastos cognatos e juvenis (composição ácida)
Basal (intermediária) (espessuras ≈ 12 m)	<i>Sedimentos vulcanogênicos</i>	Conglomerados vulcanogênicos (clastos/matriz = andesitos /basaltos)
	<i>Fluxo de lavas (localizadamente cortados por diques de composição riolítica-traquítica)</i>	Andesitos porfíricos fenocristais= plag. + px (augita)/matriz=plag. + px (ripidiformes). Topo do pacote= vesículas (carb. e qzo).

além de ocorrer com bordas quebradas (cognatos) (Fig. 16 c, d). Os litoclastos são predominantemente de riolitos cognatos, constatando-se também a presença de fragmentos acidentais de andesitos (Figs. 15f, 16e). Axiolitos e esferulitos são feições de devitrificação comuns, principalmente em fragmentos de púmices (Fig. 16f).

Em algumas porções de topo das unidades de fluxo piroclástico foram identificadas pela primeira vez no Rio Grande do Sul, feições típicas de escape de gases (*degassing pipes*) na Aloformação Acampamento Velho, representadas por estruturas semicirculares a circulares centimétricas, preenchidas por material argiloso. Estas estruturas gradam para uma zona brechada, refletindo provavelmente um aumento na fugacidade de gases, onde observa-se uma predominância de fragmentos envoltos por uma matriz argilosa (Fig. 15e). É notável a preservação de estruturas circulares marcando os *pele-pipes*, similares às descritas em ignimbritos dos complexos vulcânicos de Bishop Tuff e Rio Caliente (Sheridan, 1970). Estas feições resultam do intenso escape dos gases contidos na fração púmice e entre os fragmentos durante o resfriamento do depósito.

Ignimbritos ricos em cristais também ocorrem no Platô da Ramada, tendo esta unidade de fluxo uma geometria tabular, com aproximadamente 30 cm de espessura e limites laterais variáveis, sobrepostos aos lenticulitos (Sommer *et al.*, 2001). Diferem dos ignimbritos anteriormente descritos pelo conteúdo elevado de cristaloclastos, em torno de 50 a 60%, destacando-se a abundância em cristaloclastos de K-feldspato e quartzo, envolvidos por púmices e vitroclastos, além de raros litoclastos cognatos de riolitos e acidentais de rochas sedimentares. O achatamento de púmices foi responsável pela geração de *fiamme*, cuja orientação marca uma textura eutaxítica incipiente (Figs. 15d; 16g, h). Um fluxo piroclástico com mais de 40% de cristais é definido como ignimbrito rico em cristais, sendo este tipo de unidade discutida por diversos autores (Lipman, 1975; Byers *et al.*, 1976; Clemens & Wall, 1984, entre outros). A ocorrência deste tipo de depósito tem sido recentemente reconhecida em outras seqüências vulcânicas brasileiras, tais como no paleoproterozóico da Província Tapajós (Lamarão *et al.*, 1999) e no norte do Estado do Mato Grosso (Pinho *et al.*, 1999).

De acordo com Cas & Wright (1987), a concentração elevada de cristais em depósitos piroclásticos de fluxo está relacionada a erupções de sistemas altamente cristalizados ou ao fracionamento físico durante a movimentação do fluxo. Este

último envolve a elutriação da fração fina nas porções altamente fluidizadas do fluxo ou mesmo na coluna de erupção, permitindo a acumulação da fração densa (cristais + líticos).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A diversidade dos produtos vulcânicos é originada a partir de variações nos processos associados a dois principais estilos de erupção, efusivo ou explosivo. As propriedades físicas e químicas dos magmas e a disponibilidade de voláteis do meio ou das encaixantes são os fatores principais que determinam o regime da erupção.

No estudo de seqüências vulcânicas antigas devem ser priorizados inicialmente os aspectos descritivos, inseridos em duas grandes categorias texturais: coerente e vulcanoclástica. Adicionalmente são agregadas informações sobre a geometria, estruturas, texturas e composição dos depósitos, sendo este conjunto importante para construção de hipóteses sobre a origem das rochas vulcânicas.

Os depósitos vulcânicos coerentes subaéreos, em geral, não oferecem dificuldades de interpretação, na medida em que são originados a partir do resfriamento e cristalização de lavas ou de corpos muito rasos (fluxos de lavas, domos e intrusões subvulcânicas relacionadas). A classificação destas rochas é baseada na percentagem dos minerais essenciais, sendo sempre recomendado (devido às características texturais dos depósitos) a utilização de classificações químicas (*e.g.* TAS).

Os depósitos vulcanoclásticos são constituídos predominantemente por fragmentos vulcânicos, independentemente dos processos de formação, transporte ou deposição. A grande variedade de depósitos pode ser agrupada em quatro principais categorias genéticas: 1- fácies autoclásticas das lavas 2- depósitos piroclásticos dispersos pela ação de gases quentes e vapores; 3- depósitos piroclásticos ou autoclásticos ressedimentados e 4- depósitos sedimentares vulcanogênicos.

Entendem-se como depósitos piroclásticos primários aqueles gerados diretamente da atividade vulcânica explosiva, sendo os mecanismos principais de transporte à tração (depósito de *surge*), a suspensão (depósitos de queda) e fluxos de massa (depósitos de fluxo piroclástico). A natureza particulada dos depósitos é um dos principais fatores que inibem a preservação destes registros vulcânicos, sendo os tipos soldados em geral melhor preservados.

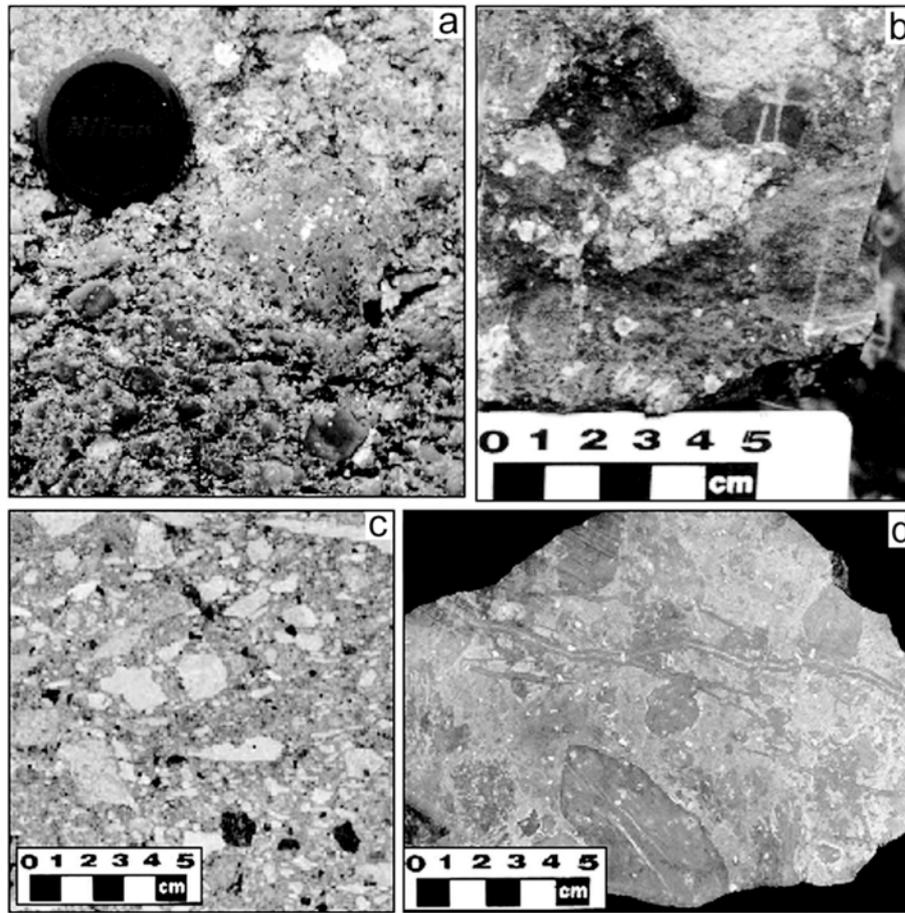


Figura 14 - Exemplos de depósitos de brechas co-ignimbríticas do Platô da Ramada, RS (Brasil): (a) depósito com predomínio de litoclastos cognatos de riolitos; (b-c) depósitos com abundância em litoclastos acidentais e subordinadamente cognatos, além de piroclastos juvenis: púmices e vitroclastos; (d) depósito com predomínio de litoclastos cognatos de riolitos e fraturas preenchidas por material quartzo-feldspático, produto da cristalização da fase vapor.

A natureza primária dos depósitos de fluxo piroclástico pode ser reconhecida através de indicadores da presença de calor, representada por zonas de liberação de gases (*degassing pipes*), aliada a transformações hidrotermais e registros de devitrificação de alta temperatura (texturas granofírica, esferulítica, *litophysae*, fraturas perlíticas, cristalização da fase vapor) além de disjunções colunares.

No Rio Grande do Sul exemplos de fluxos piroclásticos bem preservados, relacionados à atividade vulcânica neoproterozóica-cambriana, são encontrados na Aloformação Acampamento Velho, em especial nos Platôs do Taquarembó (Dom Pedrito) e da Ramada (região de Vila Nova do Sul).

A investigação geológica destes dois platôs permite tecer algumas considerações:

- 1 o vulcanismo no Platô do Taquarembó estabeleceu-se sobre uma crosta transamazônica granulítica, diferente do Platô da Ramada que foi construído sobre uma crosta brasileira juvenil;
- 2 as características dos depósitos vulcânicos indi-

cam um ambiente subaéreo para o vulcanismo nos dois platôs;

- 3 o vulcanismo ácido domina nos dois platôs;
- 4 nos dois platôs observa-se a presença de lavas e depósitos piroclásticos. No Platô do Taquarembó identificou-se uma ciclicidade definida por dois eventos explosivos separados por duas unidades efusivas, diferentemente do Platô da Ramada que concentra a fração piroclástica na base seguida por derrames riolíticos sucessivos;
- 5 o estudo dos fluxos piroclásticos sugere que em ambos os platôs ocorrem ignimbritos maciços e estratificados, sendo os ignimbritos ricos em cristal mais abundantes na Ramada;
- 6 em ambos os platôs foram identificados feições indicativas de calor relacionadas aos fluxos piroclásticos, especialmente texturas de devitrificação de alta temperatura, cristalização da fase vapor e presença de disjunções colunares. Estruturas de escape de gases, até então desconhecidas no Rio Grande do Sul, são identificadas apenas no Platô da Ramada.

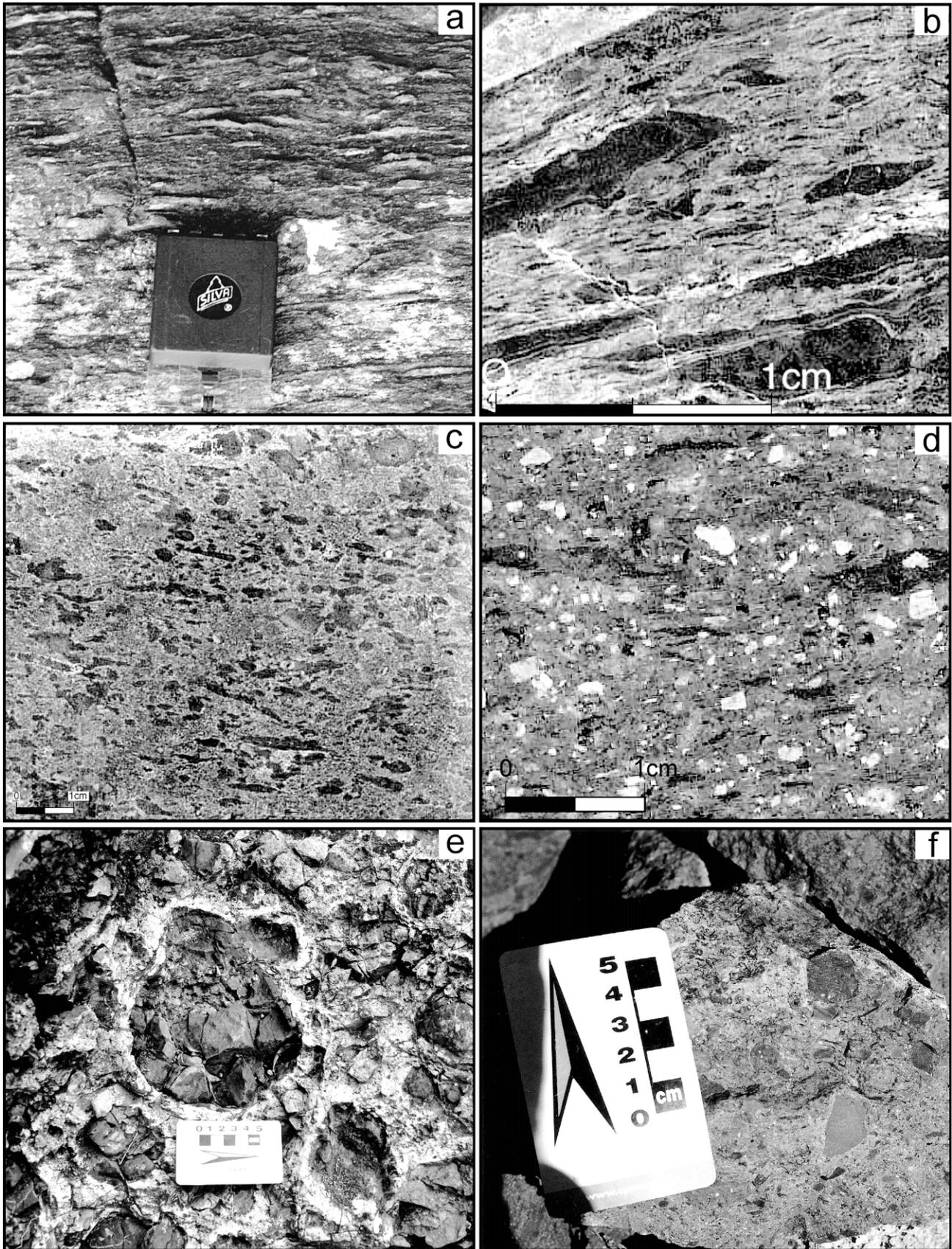


Figura 15 - Feições típicas em ignimbritos do Platô da Ramada, RS (Brasil): (a, b) ignimbrito com predomínio de matriz e fragmentos de púmices achatados e orientados, originando forte textura eutaxítica; (c) ignimbrito tipo lenticulito constituído por cristaloclastos, púmices e raros litoclastos; (d) aspecto macroscópico de ignimbrito rico em cristais: abundância de cristaloclastos de feldspato alcalino e quartzo e subordinadamente púmices e raros litoclastos acidentais; textura eutaxítica incipiente; (e) feição de escape de gases nas porção superior de depósito ignimbrito moderadamente soldado; (f) ignimbrito mal selecionado e moderadamente soldado, constituído de litoclastos acidentais e acessórios.

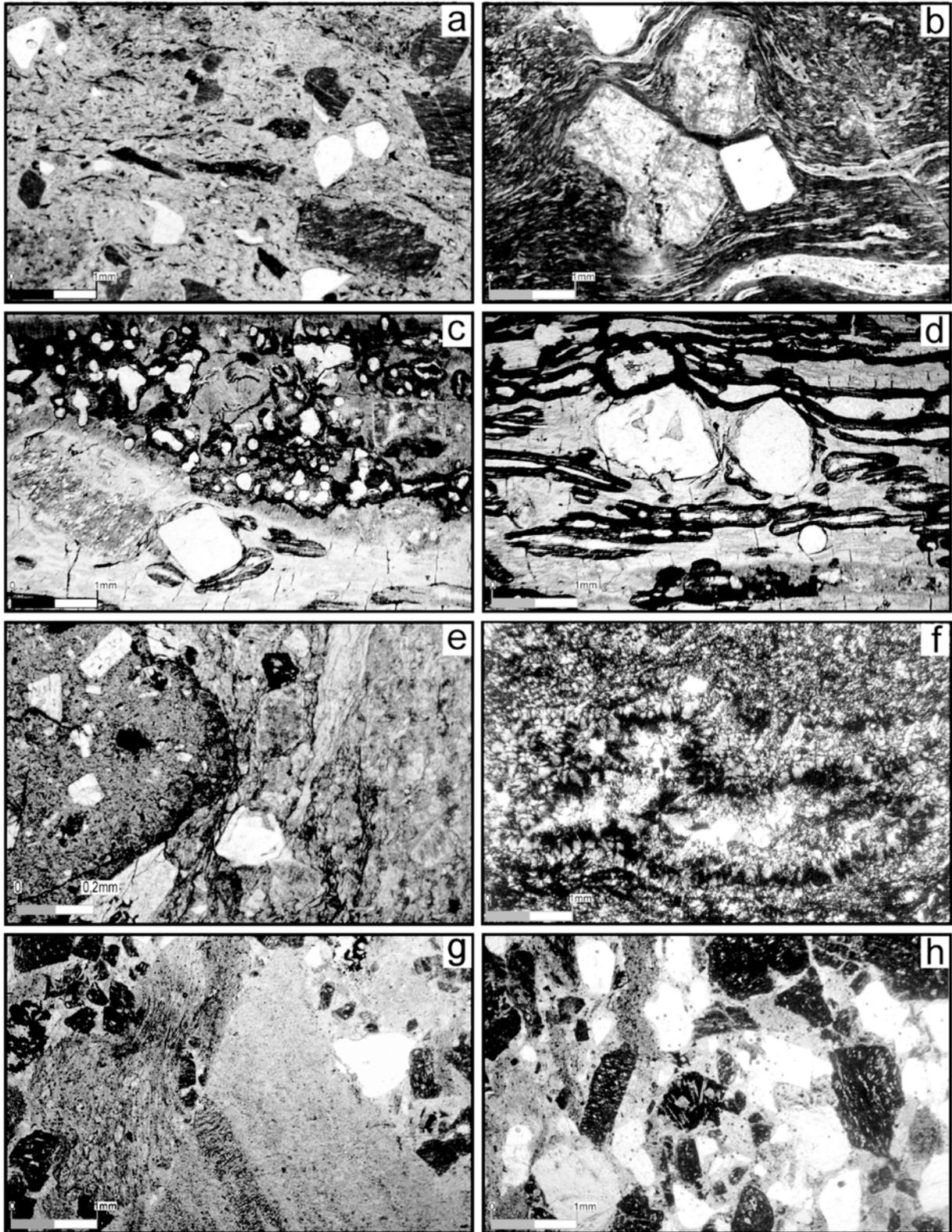


Figura 16 - Fotomicrografias de feições típicas de ignimbritos do Platô da Ramada, RS (Brasil): (a-b) ignimbrito tipo lenticulito com cristaloclastos, púmices e vitroclastos; notável textura eutaxítica (LN-25x); (c-d) cristaloclastos de quartzo envolvidos por púmices devitrificados e orientados (LN-25x); (e) litoclasto cognato de riolito porfirítico em ignimbrito com abundância em cristaloclastos e púmices (LN-50x); (f) axiolito em ignimbrito como produto de devitrificação em alta temperatura (LP - 25x); (g-h) ignimbrito rico em cristais: predomínio de cristaloclastos de feldspato alcalino e quartzo; púmices achatados na matriz marcando incipiente textura eutaxítica; litoclastos acidentais (andesitos e pelitos) e cognatos (riolitos) ocorrendo subordinadamente (LN-25X).

Agradecimentos - Ao apoio financeiro PRONEX e FAPERGS (processos 00/0173.9; 01/1103.5 e BIC 00512023). Ao CNPq pela bolsa de produtividade em pesquisa (processo 4700181/01-5). Ao CPGq e a CPRM-SUREG PA pela infra-estrutura disponibilizada e empréstimo de fotografias aéreas e dados geofísicos. Aos dois revisores anônimos, pelas críticas e sugestões.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Branney, M. J. & Kokelaar, P. 1992. A Reappraisal of ignimbrite emplacement: progressive aggradation and changes from particulate to non-particulate flow during emplacement of high-grade ignimbrite. **Bulletin of Volcanology**, **54**: 504-520.
- Byers, F.M. Jr.; Carr, W.J.; Orkitt, P.P.; Quinlivan, W.D. & Sargent, K.A. 1976. Volcanic suites and related cauldrons of Timber Mountain - Oasis Valley Caldera Complex, southern Nevada. U.S. Geological Survey. **US Geological Survey Professional Paper**, n. **919**.
- Carey, S. N. & Sigurdsson, H. 1980. The Roseau Ash: deep-sea tephra deposits from a major eruption on Dominica, Lesser Antilles arc. **Journal of Volcanology Geothermal Research**, **7**: 67-86.
- Cas, R. A. F. & Wright, J. V. 1987. **Volcanic succession, modern and ancient: a geological approach to processes, products and successions**. London, Allen & Unwin, 528p.
- Cashman, K. V.; Sturtevant, B.; Papale, P. & Navon, O. 2000. Magmatic fragmentation. In: Sigurdsson, H. (ed.). **Encyclopedia of Volcanoes**. San Diego, Academic Press. p. 421-430.
- Chemale Jr., F. 2000. Evolução geológica do Escudo Sul-Rio-Grandense. In: De Ros, L. F. & Holz, M. (ed.). **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, CIGO/UFRGS, p.13-52.
- Chemale Jr, F.; Wildner, W.; Lima, E.F. & Van Schmus, W.R. 1999. Isotopic studies of Brasileiro retro-arc magmatism in Southern Brazil. In: SIMPÓSIO SOBRE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 1., Gramado- RS. **Anais...** Gramado: SBG., p. 57.
- Clemens, J.D. & Wall, V.J. 1984. Origin and evolution of a peraluminous silicic ignimbrite suite: the Violete Town Volcanics. **Contribution of Mineralogy and Petrology**, **88**: 354-371.
- Fisher, R. V. 1961. Proposed classification of volcanoclastic sediments and rocks. **Geological Society of America Bulletin**, **72**: 1409-1414.
- Fisher, R. V. 1966 b. Rocks composed of volcanic fragments and their classification. **Earth-Sciences Reviews**, **1**: 287-298.
- Fisher, R. V. & Schmincke, H. U. 1984. **Pyroclastic rocks**. Springer-Verlag eds., Berlin, 462 pp. <http://www.volcanoes.usgs.gov>
- Lamarão, C.N.; Dall'Agnol, R.; Lafon, J.M.; Lima, E.F. 1999. As associações vulcânicas e plutônicas de Vila Riozinho e Morais Almeida, Província Aurífera do Tapajós, SW do Estado do Pará. In: SIMPÓSIO SOBRE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 1. Gramado-RS. **Anais...** Gramado: SBG., p. 43.
- Le Maitre, R.W., 1989. **A classification of igneous rocks and glossary of terms: recommendations of the international union of geological sciences subcommission on the systematic of igneous rocks**. Oxford, Blackwell Scientific Publications, 193p.
- Le Maitre, R.W., 2002. **Igneous rocks: a classification and glossary of terms: recommendations of the international union of geological sciences subcommission of the systematic of igneous rocks**. Publisher: Cambridge University Press, 2nd edition, 252p.
- Lipman, P.W. 1975. Evolution of the Platoro caldera complex and related volcanic rocks, southeastern San Juan Mountains, Colorado. U.S. Geological Survey (**US Geological Survey Professional Paper**, n. **852**).
- Logfren, G. 1970. Experimental devitrification rates of rhyolitic glass. **Geological Society of America Bulletin**, **81**: 553-560.
- Logfren, G. 1971 a). Spherulitic textures in glassy and crystalline rocks. **Journal of Geophysical Research**, **76**: 5635-5648.
- Logfren, G. 1971 b). Experimentally produced devitrification textures in natural rhyolitic glasses. **Geological Society of America Bulletin**, **82**: 111-124.
- Mephie, J.; Doyle, M. & Allen, R. 1993. **Volcanic textures. A guide to the interpretation of textures in volcanic rocks**. Centre for Ore Deposit and Exploration Studies. University of Tasmania. 198p.
- Mendes, I. S. & Vasconcelos, E. M. G. 1999. Caracterização petrográfica das associações vulcanoclásticas do grupo Castro - PR. In: SIMPÓSIO SOBRE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 1. Gramado- RS. **Anais...** Gramado: SBG., p. 43.
- Milner, S.C.; Duncan, A.R.; Whittingham, A.M. & Ewart, A. 1995. Trans-Atlantic correlation of eruptive sequences and individual silicic volcanic units within the Paraná-Etendeka igneous province. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, **69**: 137-157.
- Morrissey, M.M.; Zimanowski, B.; Wohletz, K. & Buettner, R. 2000. Phreatomagmatic fragmentation. In: Sigurdsson, H. (ed.). **Encyclopedia of Volcanoes**. San Diego, Academic Press. p. 431-446.
- Pinho, M. A. S. B.; Lima, E. F. & Chemale Jr., F. 1999. Caracterização das rochas vulcânicas da Formação Iriri na região do Moribu - Aripuanã - Mato Grosso. In: SIMPÓSIO SOBRE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 1. Gramado- RS. **Anais...** Gramado, SBG., p. 48.
- Ross, C. S. & Smith, R. L. 1961. Ash-flow tuffs, their origin, geologic relations and identification. **USGS Journal Research Professional Paper**, **366**: 81.
- Schmid, R. 1981. Descriptive nomenclature and classification of pyroclastic deposits and fragments: Recommendations of the IUGS Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. **Geology**, **9**: 41- 43.
- Sheridan, M.F. 1970. Fumarolic mounds and ridges of the Bishop Tuff, California. **Geological Society of America Bulletin**, **81**: 851-868.
- Sheridan, M. F. 1979. Emplacement of pyroclastic flows: a review. **Geological Society of America Special Paper**, **180**:125-136.
- Smith, R. L. 1960. Ash flows. **Geological Society of America Bulletin**, **71**: 795-842.
- Smith, R. L. 1960 b). Zones and zonal variations in welded ash-flows. **USGS Journal Research Professional Paper**, **354-F**: 149-159.
- Sommer, C. A.; Lima, E. F. & Nardi, L. V. S. 1999. Evolução do vulcanismo alcalino na porção sul do Platô do Taquarém, Dom Pedrito - RS. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, **29** (2): 245-254.
- Sommer, C.A., Lima, E.F., Nardi, L.V.S., Figueiredo, A.M.G., Pierosan, R., 2003. Potassic and low- and high-Ti mildly alkaline volcanism in the Neoproterozoic Ramada Plateau, Southernmost Brazil. **Journal of South American Earth Sciences** (submitted).
- Sommer, C. A.; Lima, E. F.; Nardi, L. V. S.; Liz, J. D. & Matos, D. 2001. Ignimbritos ricos em cristais do Platô da Ramada - RS, Brasil. In: XI CONGRESSO LATINOAMERICANO DE GEOLOGIA, Montevideo, Uruguai, **Actas...** Base CD-Rom.
- Sparks, R. S. J. & Walker, G. P. L. 1973. The ground surge deposit: a third type of pyroclastic rock. **Nature Physics Sciences**, **241**: 62-64.
- Sparks, R. S. J.; Self, S. & Walker, G. P. L. 1973. Products of ignimbrite eruptions. **Geology**, **1**: 115-118.
- Tomazzoli, E. R. 1999. Litotipos da Suíte Plutono-Vulcânica Cambirela. In: SIMPÓSIO SOBRE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 1. Gramado-RS. **Anais...** Gramado, SBG., p. 33.
- Umann, L. V.; Lima, E. F. & Sommer, C. A. 2001. Vulcanismo ácido da região de Cambará do Sul: fluxos de lavas ou depósitos piroclásticos de alta-temperatura? **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, São Paulo, **31**(3): 357-364.
- Waichel, B.; Lima, E. F.; Nardi, L. V. S. & Sommer, C. A. 2000. The alkaline post-collisional volcanism of Campo Alegre Basin in Southern Brazil: petrogenetic aspects. **Revista Brasileira de Geociências**, **30**(3): 393-396.
- Wildner, W.; Nardi, L. V. S.; Lima, E. F. 1999. Post-collisional alkaline magmatism on the Taquarém Plateau: a well preserved Neoproterozoic-Cambrian plutono-volcanic association in Southern Brazil. **International Geology Review**, **41**: 1082-1098.
- Wildner, W.; Lima, E.F.; Nardi, L.V.S. & Sommer, C.A. 2002. Volcanic cycles and setting in the Neoproterozoic III to Ordovician Camaquã Basin succession in southern Brazil: characteristics of post-collisional magmatism. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, **118**: 261-283.
- Wright, J. V. & Walker, G. P. L., 1977. The ignimbrite source problem: significance of a co-ignimbrite lag-fall deposit. **Geology**, **5**: 729-732
- Wright, J. V.; Smith, A. L. & Self, S. 1980. A working terminology of pyroclastic deposits. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, **8**: 315-336.