



Processos piroclásticos e seus produtos. Exemplos do oeste mineiro e da Itália continental

G.N.C. Sgarbi

Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Av. Antônio Carlos 6627, Pampulha, 31270-901 Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, gncsgarbi@gmail.com

Abstract The western portion of Minas Gerais was affected by an Upper Cretaceous volcanism (~ 85 My), related to the Mata da Corda Group (Sanfranciscana Basin) and to the Bauru Group (NNE border of the Paraná Basin). The volcanic rocks have an ultramafic-alkaline affiliation, exhibiting kamafugites, kimberlites, carbonatites and other rocks, associated to volcanoclastic deposits (pyroclastic and epiclastic rocks), which, together, represent one of the largest occurrences of ultramafic-alkaline rocks known in the Earth. The relative absence of lava flows and the presence of pyroclastic rocks suggest that the eruptions were mainly explosive. This eruptive style is very similar to the Quaternary alkaline volcanism that had affected the regions of San Venanzo (Umbria) and Vulture Mountains (Basilicata), in central and southern Italy, respectively, which were of explosive nature, producing very large amounts of pyroclastic rocks, always capped by a thin layer of alkaline lava, representing the end of the eruptive pulse. The age of this Brazilian volcanism, allied to the severe weathering in tropical, wet climate, masked the majority of the vents and their products, and subsequent erosion. The above mentioned Italian volcanism can be a model for a better comprehension of the processes and products of the Brazilian Cretaceous volcanism in western Minas Gerais.

Palavras-chaves: Rochas piroclásticas, kimberlitos, vulcanismo cretácico, minerais satélites.

INTRODUÇÃO No oeste mineiro, rochas piroclásticas relativamente preservadas podem ser observadas em locais selecionados, sendo que os fragmentos líticos são os únicos componentes claramente identificados. Podem ser vistas, entretanto, estruturas típicas de vulcanismo explosivo como fácies cratera preenchida por tufos, lapilitos, blocos retirados do embasamento e bombas balísticas, crateras tipo *Maar* preenchidas por sedimentos lacustres, tubos de gases (*gas pipes*), aglomerados, depósitos piroclásticos periféricos aos condutos, formados por *surge*, fluxo e queda piroclástica, além de depósitos de lahar e rochas epiclásticas.

Não tem sido registrada a presença de textura eutáxita, *fiammes*, horizontes contínuos de escória e/ou pome, *lápili* acrescionários, provavelmente mascarados pela alteração química. Na Itália, todas essas estruturas podem ser vistas no campo.

DEPÓSITOS PIROCLÁSTICOS Depósitos piroclásticos originários de transporte laminar de misturas aquecidas e altamente concentradas de fragmentos imersos em gases são comumente referenciadas como depósitos de fluxo piroclástico ou *flow deposits*. Aqueles que se depositaram a partir de suspensões aquecidas, turbulentas e pouco concentradas têm sido denominadas de depósitos de *surge* (*surge deposits*). Essas terminologias, altamente genéticas, são, entretanto ambíguas, pois ambos são *flows sensu strictu*. Portanto, não existe consenso entre os autores sobre o que realmente são *flow* e

surge, embora todos concordem que a gravidade é o principal fator no transporte, que os depósitos são caracteristicamente mal selecionados e que a deposição dos fragmentos piroclásticos é proporcional às suas formas, tamanhos e densidades. Os mais altos gradientes de velocidade e *stress* de cisalhamento ocorrem na base do fluxo, enquanto na zona de *plug*, o fluxo apresenta velocidades constantes ao longo do perfil vertical do fluxo. Move-se de modo laminar e/ou como uma massa densa *plug fashion* que entra em colapso pela liberação de ar e gases e cessa o movimento *en masse*, por resfriamento ao longo de toda a espessura do fluxo. Exibem um comportamento reológico semelhante ao das correntes de turbidez, com choque de grãos devido à pressão dispersiva, formando acamamento gradacional inverso (pela pressão dispersiva) além de estruturas direcionais como estratificações cruzadas de baixo ângulo. Recentemente, um termo geral foi proposto para designar tais fluxos-correntes piroclásticas de densidade-, com concentrações altas ou baixas, de maneira a minorar a controvérsia acerca da distinção entre os mecanismos de *surge* (baixa concentração) e *flow* (alta concentração), sendo que ambos representam na verdade, *end members*, em uma complexa variedade de concentração de partículas Capaccioni *et al.* 2001). As formas de leito observadas são estratificações e laminações cruzadas de baixo ângulo, laminações cavalgantes, dunas e estruturas de corte e preenchimento, além de estruturas de escape de gases. Por outro lado, depósitos de queda



piroclástica (*fall*) são mais compreensíveis. Tefra e gases são suspensos na coluna eruptiva em regime de fluatibilidade (*buoyant plume*), e depositam-se com o colapso da coluna eruptiva. Os fragmentos são bem selecionados devido ao fracionamento eólico durante o transporte e comumente são gradacionais. Nunca formam estratificações cruzadas nem mostram formas de leitos erosivos ou truncadas. No oeste mineiro, apesar do avançado grau de alteração dos materiais piroclásticos, depósitos de fluxo, *surge* e queda piroclástica podem ser observados. Muitos detalhes foram perdidos e/ou mascarados, mas é possível identificar os mecanismos de transporte de muitos depósitos e estruturas sedimentares. Blocos métricos do embasamento, além de rochas magmáticas, lançadas balisticamente, foram recentemente registrados. A relativa ausência de lavas indica que o vulcanismo ultramáfico-alcálico que afetou oeste mineiro teve uma dinâmica essencialmente explosiva. Seus registros podem ser observados tanto na borda NE da Bacia do Paraná na região de Coromandel quanto na porção sul da Bacia Sanfranciscana, em Carmo do Paranaíba, Arapuá, Tiros e região. Entretanto, grande parte desses depósitos piroclásticos encontram-se hoje retrabalhados sob a forma de rochas epiclásticas

RELAÇÕES DE CAMPO Wright (1980) resumiu as relações de campo características dos três principais produtos piroclásticos e seus embasamentos:

Queda piroclástica (*Pyroclastic fall*): são materiais ejetados do conduto vulcânico dando origem a uma coluna eruptiva. A geometria e o tamanho dos depósitos é um reflexo da altura da coluna eruptiva e da velocidade e direção dos ventos atmosféricos. Na medida em que a pluma se expande, materiais piroclásticos caem de volta à Terra sob a influência da gravidade à variadas distâncias da fonte, fator que depende de seus tamanhos, formas e densidades. Os fragmentos maiores são ejetados segundo trajetórias balísticas e são pouco afetados pelo vento. Embora depósitos piroclásticos sejam normalmente pobremente selecionados. Formam também camadas capeantes *mantle bedding*, mantendo uma espessura uniforme enquanto cobrem toda a topografia, mesmo as inclinadas. Podem mostrar laminações ou acamamentos horizontais devido às variações na coluna eruptiva. Nas imediações do vulcão esses depósitos podem estar soldados (*welded tuffs*).

Fluxo piroclástico (*Pyroclastic flow*): são depósitos formados por fluxos superficiais de materiais piroclásticos que viajam como alta concentração de partículas em uma dispersão de gases e sólidos. São

controlados pela gravidade, muito quentes e podem estar parcialmente fluidizados. São controlados pela topografia, preenchendo vales. Internamente são maciços e mal classificados, localmente mostram gradação lateral (*coarse tail grading*). O mecanismo principal é provavelmente o fluxo laminar ou como uma massa densa (*plug fashion*), comentadas abaixo. A superposição de fluxos pode dar a aparência de estratificação interna, mas na verdade refletem a superposição de fluxos individuais. Podem conter tubos fumarolíticos formados após a deposição da camada (*gas pipes*), nos quais a fração fina das cinzas é retirada pelo fluxo de gases ascendentes. Produzem concentrações de frações mais pesadas como fragmentos líticos e cristais, as quais são importantes para diferenciar esses depósitos piroclásticos primários daqueles secundários ou epiclásticos. Podem mostrar como restos carbonizados de madeira, alinhados longitudinalmente segundo a direção do fluxo, colorações avermelhadas devido à oxidação térmica do ferro, zonas negras devido à cristalização de micrólitos de magnetita finamente disseminados na matriz, zonas de tufo soldado e Magnetismo Térmico Remanescente/TRM (segundo Hoblitt & Kellogg 1979 *apud* Cas & Wright 1987).

Depósitos de Surge (*Surge deposits*): surge transporta materiais piroclásticos ao longo da superfície do terreno como uma dispersão sólida-gasosa, turbulenta e com baixa concentração de partículas. Os depósitos cobrem a topografia, mas são também topograficamente controlados e tendem a se acumular em depressões. Mostram formas de leito direcionais como estratificações e laminações cruzadas de baixo ângulo, laminações cruzadas cavalgantes, dunas e estruturas de corte e preenchimento (*chute and pool*). Podem conter pequenas estruturas de escape de gases formadas por depósitos precedentes concentrados.

Uma moderna abordagem de processos e produtos piroclásticos pode ser visto em Gilbert & Sparks (1998) e Freundt & Rosi (2001).

VULCANISMO ITALIANO Dentre os termos vulcanoclásticos (piroclásticos, epiclásticos e autoclásticos, no sentido de Fischer 1961), predominam amplamente, em todas as regiões vulcânicas visitadas na Itália (Toscana, Umbria, Basilicata, Lazio e Campânia), os produtos piroclásticos. Verificou-se que as características litológicas e suas relações espaciais presentes em uma dada área vulcânica depende essencialmente das características eruptivas de cada vulcão. Por exemplo, o Vesúvio, situado dentro de Nápoles, na Campânia, é seguramente o vulcão com o maior risco urbano do planeta (vide sites 1 e 2), e libera sua energia

principalmente na forma de violentas explosões, lançando grandes quantidades de materiais piroclásticos na atmosfera, que normalmente se espalham por dezenas de quilômetros de distância, levados pelas correntes atmosféricas. A explosão pliniana de 79 d.C. lançou grandes quantidades de materiais piroclásticos (lapili e blocos, além de cinzas) até a localidade de Agropolis, situada a 72 km do vulcão. Mais energéticas ainda foram as erupções ultraplinianas do Krakatoa, em 1883, as quais geraram uma coluna eruptiva de 80 km de altura e espalharam cinzas sobre uma superfície de 770.000 km² (Rittmann & Rittmann 1976). Também o vulcão do Monte Saint Helens, em Washington (NW do EUA), cuja erupção em 1980 (Moore & Sisson 1981, Fischer 1986, Fischer 1990) lançou cinzas até a costa leste do Canadá, libera sua energia de modo essencialmente explosivo, cuja fragmentação do material presente no conduto pode ter chegado, em 1980, perto de 100% (Cas & Wriht 1987).

Dependendo da densidade da coluna eruptiva com relação à atmosfera, as partículas finas e gases podem excepcionalmente alcançar uma altura de 100 km (Caparezza 2000). Portanto, em função do estilo eruptivo do Vesúvio, lavas não podem ser observadas muito distantes do conduto. Já o Etna, o maior vulcão continental da Europa, possui um estilo eruptivo completamente diverso, pois sua energia tem sido tradicionalmente liberada de modo tranquilo, na forma de quantidades reduzidas de lava, extrudidas sem grandes explosões e com pouco lançamento de detritos na atmosfera.

Um problema do vulcanismo italiano é saber se o magma de muitos vulcões é naturalmente rico em voláteis (principalmente CO₂ que, juntamente com a água, é um dos principais causadores da atividade explosiva vulcânica; vide Grout 1932). Na península italiana ocorre a Formação Massiccio (carbonatos), do Jurássico, com cerca de 5000 m de espessura e totalmente cortada pelos vulcões quaternários, que poderia ser a fonte do CO₂. Já no oeste mineiro, as encaixantes das intrusões são quartzitos, xistos, metassiltitos, granitóides etc, o que simplifica a interpretação da origem da explosividade daquele vulcanismo (Figs 1 e 2).

VULCANISMO DO OESTE MINEIRO A importância de se ter em mente o modelo acima descrito reside na possibilidade de se fazer uma reinterpretação do estudo das seqüências vulcanoclásticas que ocorrem na província alcalina do oeste de Minas. As maiores dificuldades consideradas anteriormente no estudo daquelas rochas eram os seus elevados graus de alteração intempérica devido à

atuação do clima tropical ao longo dos 80-90 milhões de anos de sua existência.



Figura 1. Rochas piroclásticas mostrando tufos e lapilitos depositados por fluxo (R) e surge (S), os quais são sobrepostos por depósitos de queda piroclásticas (T). O conjunto é capeado por um delgado derrame de lava alcalina. Região de Monte Vulture, Basilicata, Itália (Foto do autor)



Figura 2. Tufos e lapilitos com delgadas intercalações de rocha vulcânica. A seta mostra um bloco de lava ejetado balisticamente, formando uma estrutura (sac) em sua base, cujo eixo indica a direção do vulcão. Região de Monte Vulture, Basilicata, Itália. Escala de barra = 1 m) (Foto do autor)

O vulcanismo italiano pode constituir-se em modelo para uma melhor compreensão do nosso vulcanismo cretácico do oeste mineiro. Hoje se sabe que o vulcanismo do oeste mineiro produziu muito mais materiais piroclásticos do que tem sido descrito na literatura e certamente, com o desenvolvimento de novos trabalhos na região, muitas seqüências anteriormente interpretadas como epiclásticas, serão reinterpretadas como piroclásticas.

O vulcanismo alcalino que ocorreu no oeste do estado de Minas Gerais (Fig. 3) assemelha-se com aquele da Itália Central - principalmente na área de San Venanzo - tanto com relação aos aspectos químicos como também com relação ao estilo eruptivo, na forma de explosões que geraram

abundância de materiais piroclásticos e relativamente pouca lava (Sgarbi & Sgarbi 2003). Entretanto, pelo tempo de exposição das rochas brasileiras aos agentes intempéricos e a subsequente erosão, muitos edifícios

vulcânicos e suas associações lávicas e sedimentares foram removidas em níveis profundos, ou mascaradas, total ou parcialmente.

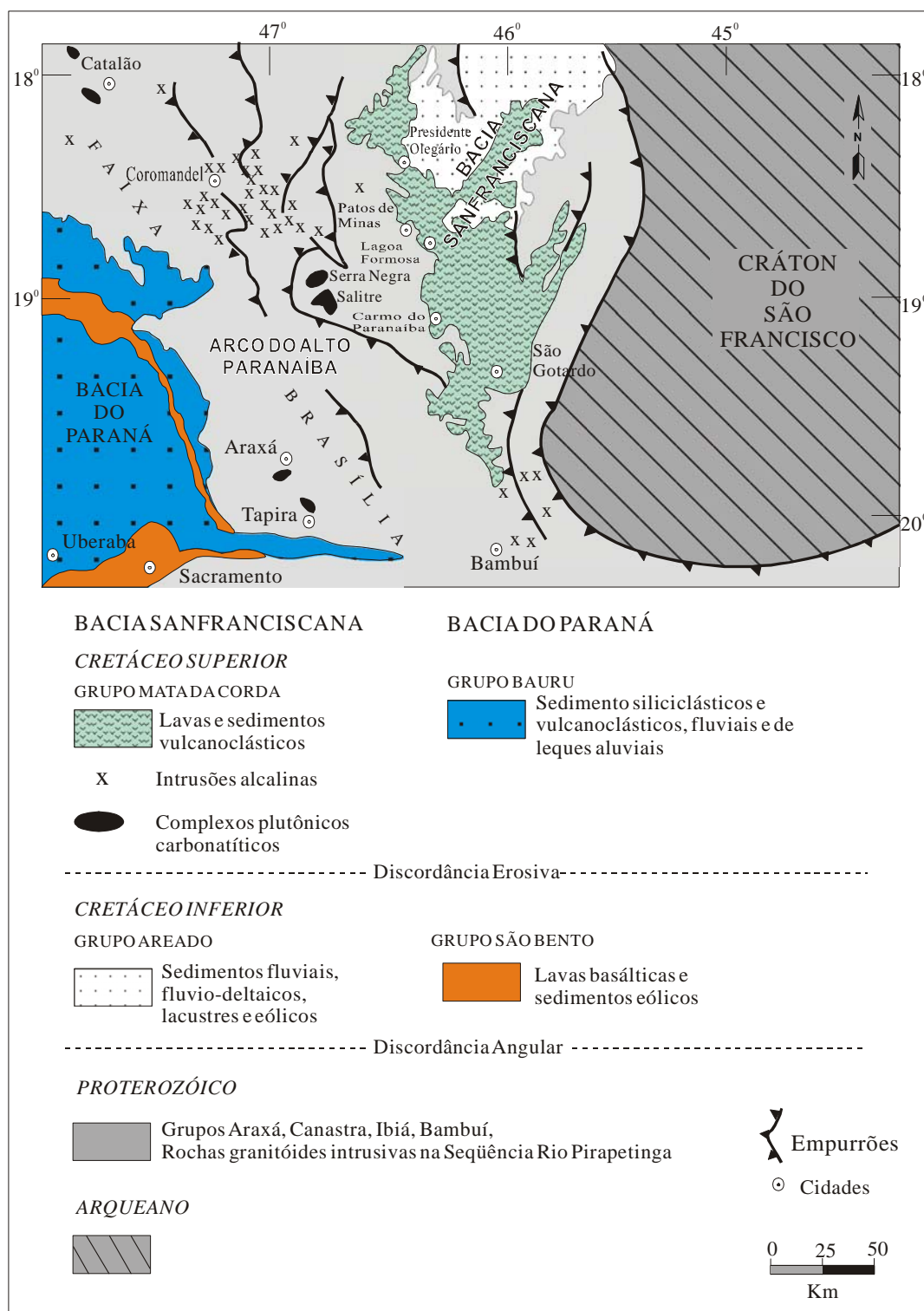


Figura 3. Principais feições tectônicas do oeste mineiro, mostrando a parte meridional da Bacia Sanfranciscana, a borda NNE da Bacia do Paraná, ambas cretácicas, e a Faixa Brasília, precambriana, que separa as duas bacias (In: Sgarbi et al. 2001)

Um aspecto importante nesse contexto é a ocorrência de condutos vulcânicos, a grande maioria alterada intempericamente, porém, passíveis de serem estudados e interpretados em termos de fácies. Eles ocorrem tanto intrudidos em sedimentos vulcanoclásticos formados durante processos eruptivos da mesma natureza, como nos metassedimentos neoproterozóicos dos grupos Bambuí, Canastra, Ibiá e Araxá. A maioria dos condutos teve suas fácies crateras totalmente erodidas em ciclos erosivos terciários, cujos processos removeram muitas de suas características morfológicas. Assim, a maior parte dos condutos mostra incipiente presença de tufos, lapilitos e blocos e apenas poucos afloramentos de um material argiloso de cor verde, produto da alteração da rocha ígnea ainda dentro do conduto. Excepcionalmente, algumas poucas estruturas vulcânicas mostram preservadas suas formas e exibem rochas vulcânicas frescas (Fig.

4). Outros mostram claramente a natureza piroclástica de seus depósitos (Fig. 5). Algumas intrusões, pouco evidentes no campo, exibem critérios que permitem identificá-las (Fig. 6). Uma vez identificado o conduto, análises mineralógicas de concentrados de seus minerais pesados, estudados por espectroscopia Raman, permitem classificar a intrusão. As Figs. 7 e 8 mostram a fácies diatrema de um kimberlito *sensu strictu* e os minerais indicadores (piropo, ilmenita, diopsídio, flogopita e espinélio) recuperados por peneiramento. Análises por microsonda eletrônica têm refinado esses dados, mostrando a presença de ilmenita magnesiana, piropo e diopsídio cromíferos. Uma vista panorâmica de um kimberlito e sua encaixante, além de um detalhe de sua fácies cratera são mostrados nas Figs. 9 e 10, onde se observa a presença de blocos métricos ou maiores retirados do substrato e depositados, por ejeção, sobre tufos e lapilitos.



Figura 4. Conduto vulcânico Cajuru, visto em primeiro plano, constituído por rocha kamafigítica fresca, tendo como encaixantes metassedimentos neoproterozóicos do Grupo Bambuí. Ao fundo vê-se um lineamento de condutos vulcânicos mascarados por rochas vulcanoclásticas (setas). Carmo do Paranaíba, MG (Foto do autor)



Figura 5. Tufos e lapilitos em borda de conduto vulcânico. Tiros, MG (Foto do autor)



Figura 6. Em primeiro plano, anel de rochas silicificadas associados à presença de aroeiras (Myracrodroun urundeuva), marcando o contato do kimberlito com os metassiltitos encaixantes. Notar ao fundo, cupinzeiro branco, formado sobre as encaixantes (setas). Cupinzeiros desenvolvidos no corpo vulcânico são essencialmente vermelhos. Kimberlito Santa Clara, Coromandel, MG (Foto do autor)

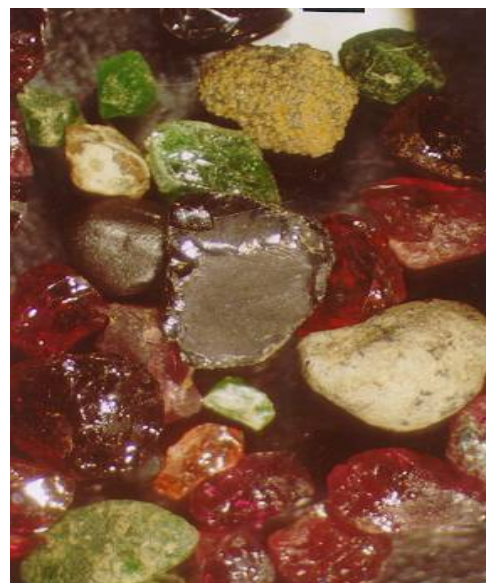


Figura 7. Minerais satélites extraídos de concentrado de peneira da rocha alterada mostrada na Fig.7. Vermelho=piropo; verde=diopsídio; negro=ilmenita e espinélio. Em amarelo e branco encontram-se ilmenitas com capas (Foto do autor)



Figura 8. Rocha vulcânica alterada, da fácies diatreme de um copo kimberlítico, o qual, com área de 106 ha, mostra um único afloramento de cerca de 10 m². Kimberlito São Bartolomeu. Carmo do Paranaíba, MG (Foto do autor)



Figura 9. Vista panorâmica do kimberlito Larissa, mostrando-o em primeiro plano. Notar a diferença de sua textura com a das rochas encaixantes ao fundo (metassiltitos). Os dois corpos são separados por uma drenagem que corta a foto de leste para oeste. Carmo do Paranaíba, MG (Foto do autor)



Figura 10. Fácies cratera do kimberlito Larissa (100 ha), mostrando um bloco do embasamento ejetado balisticamente, sustentado por tufo lapilítico. Carmo do Paranaíba, MG (Foto do Autor)

Agradecimentos O autor agradece à FAPEMIG pelo apoio financeiro (Projeto CRA-210/04)

Referências

- BRANNEY M.J. & KOKELAAR B.P. 1992. A reappraisal of ignimbrite emplacement: progressive aggradation and changes from particulate to non-particulate flow during emplacement of high-grade ignimbrite. *Bull. Volcanol.*, **54**:504-520.
- CAPACCIONI B., NAPPI G., VALENTINI L. 2001. Directional fabric measurements: an investigative approach to transport and depositional mechanisms in pyroclastic flows. *J. Volcanism and Geoth. Research.* **107**:275-292.
- CARAPEZZA M. L. 2000. *The Vesuvius: 2000 years of observations*. Osservatorio Vesuviano, 35p.
- CAS R.A.F. & WRIGHT J.V. 1987. *Volcanic Successions Modern and Ancient*. Unwin Hyman Inc., 487p.
- FISCHER R.V. 1961. Proposed Classification of Volcaniclastic Sediments and Rocks. *Geol. Soc. America Bull.*, **72**:1409-1414.
- FISCHER R.V. 1986. Systems of transport and deposition within pyroclastic surges: evidences from Mount Saint Helens, Washington. *EOS Trans. Am. Geophys. Union* **67**:1246.
- FISCHER R.V. 1990. Transport and deposition of a pyroclastic surge across an area of high relief: the 18 May 1980 eruption of Mount Saint Helens Washington. *Geol. Soc. Am. Bull.*, **102**:1038-1054.
- FREUNDT A. & ROSI M. (eds) 2001. *From magma to tephra*. Development In Volcanology 4. Elsevier, 318p
- GILBERT J.S. & SPARKS R.S.J. (eds). 1998. *The physics of explosive volcanic eruptions*. Geol. Soc. London, S.P. 145, 186p.
- MOORE J.M. & SISSON T.W. 1981. Depósitos and effects of the May 18 pyroclastic surge, In: LIPMAN P.W. & MULLINEAUX D.R. (eds), *The 1980 eruptions of Mount Saint Helens*, Washington. United States Geologic Survey, Profess. Paper 1250, p. 421-438.
- RITTMANN A. & RITTMANN L. 1976. *Volcanoes*. Orbis Publ. Ltd, London, 127p.
- SGARBI G.N.C., SGARBI, P.B. de, CAMPOS J.E.G., DARDENNE M.A., PENHA U.C. 2001. Bacia Sanfranciscana: O Registro Fanerozóico da Bacia do Sao Francisco, pp. 93-138 (Cap. VI). In: PINTO C.P. & MARTINS-NETO M.A. (eds.) *A Bacia do Sao Francisco: Geologia e Recursos Naturais*, SBG/MG, Belo Horizonte, MG, Brazil, 349p.
- SGARBI P.B. de A. & SGARBI G.N.C. 2003. Kamafugite volcanism in Brazil. *Per. Miner.* **72**(Special Issue: Eurocarb):41-50p.
- SITE 1: http://en.wikipedia.org/wiki/Volcanic_Explosivity_Index
- SITE2: http://volcano.und.nodak.edu/vwdocs/eruption_scale.html