



### *III Simpósio de Vulcanismo e Ambientes Associados*

*Cabo Frio, RJ – 02 a 07/08/2005.*

## **RELAÇÃO ENTRE AS TEXTURAS DE ROCHAS VULCÂNICAS E ESTRUTURAS DE CORPOS VULCÂNICOS E SUB-VULCÂNICOS: EXEMPLOS DO BRASIL, ARGENTINA E CHILE**

Akihisa Motoki <sup>1</sup>; Susanna Sichel <sup>2</sup>; Lenoardo Gois da Fonseca <sup>1</sup>; Mauricio Santos da Silva <sup>1</sup>; Felipe Saliba de Souza e Almeida <sup>1</sup>; Felipe Corrales Fernández Pereira <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Mineralogia e Petrologia Ígnea, FGEL, UERJ

<sup>2</sup> Departamento de Geologia, LAGEMAR, UFF

**Resumo** - Os termos “vulcão” e “edifício vulcânico” são definidos como sendo uma elevação morfológica formada por meio de erupções vulcânicas e acúmulos de materiais eruptivos. De acordo com o grau de erosão e o nível de denudação regional, apresentam-se várias formas de edifícios vulcânicos e corpos subvulcânicos. A relação entre estrutura geológica e textura de rochas ígneas não é simples. Há muitos casos de que rochas vulcânicas que ocorrem em corpos intrusivos sub-vulcânicos e certas rochas hipabissais aparecem como corpos vulcânicos. A granulometria de rochas ígneas é freqüentemente controlada pelo tamanho do corpo ígneo e não pela profundidade do posicionamento. O modo de ocorrência geológica (emplacement) de um corpo ígneo deve ser definido por meio de trabalho de campo e, não dedução a partir das observações petrográficas. Em termos do nível de denudação, somente as ocorrências sem denudação regional podem ser chamadas de um vulcão.

Palavras-Chave: rocha ígnea; corpo ígneo; vulcão, corpo sub-vulcânico

**Abstract** - The terms “volcano” and “volcanic edifice” are defined as a morphologic elevation formed by means of volcanic eruptions and the accumulation of eruptive materials. According to the erosion grade and regional denudation level, various types of volcanic edifices and sub-volcanic bodies take place. The relation between geological structure and igneous rock texture is not simple. There are many volcanic rocks occurring as sub-volcanic intrusive bodies and certain hypabyssal rocks take place as volcanic bodies. The grain size of igneous rocks is frequently constrained by rock body size and not by emplacement depth. Geological mode of occurrence of an igneous rock body must be defined by means of fieldwork and not by deduction from petrographic observations. In terms of denudation level, only the occurrence without regional denudation can be called as a volcano.

Keywords: igneous rock, igneous body, volcano, sub-volcanic body

## 1. Introdução

Os dicionários geológicos e livros didáticos da vulcanologia de divulgação internacional definem os termos “vulcão” e “edifício vulcânico” como sendo uma elevação morfológica formada por meio de erupções vulcânicas e conseqüentes acúmulos de materiais eruptivos na superfície da Terra. As morfologias negativas formadas por erupções, tal como crateras de explosão, também podem ser chamadas de vulcão (e.g. MacDonald, 1972; Hatayama et al. 1980; Bates & Jacson, 1987). Os edifícios vulcânicos perdem sua forma original por meio da erosão e mostra sua estrutura interna. Nas regiões em que ocorreu a denudação, os materiais que constituíam a superfície regional da época da erupção foram totalmente removidos e a estrutura subterrânea dos antigos vulcões, tais como conduto vulcânico, fissura vulcânica, domo subvulcânico e câmara magmática, são expostos diretamente na superfície atual da Terra.

Os corpos vulcânicos e sub-vulcânicos são composto de diversas rochas ígneas. Rosenbusch (1877) estabeleceu a correlação geral entre a estrutura corpos ígneos e textura de rochas ígneas no livro “*Microscopische Physiographie der massigen Gesteine*”: rochas vulcânicas são de corpos vulcânicos da superfície como lava; rochas hipabissais, corpos subvulcânicos como dique; rochas plutônicas, corpos de grande profundidade como batólito. Entretanto, a relação não é tão simples, havendo incontáveis exceções sobretudo no caso de corpos sub-vulcânicos (Fig. 1). Este é um importante tema nas aulas de graduação (Motoki 2004).

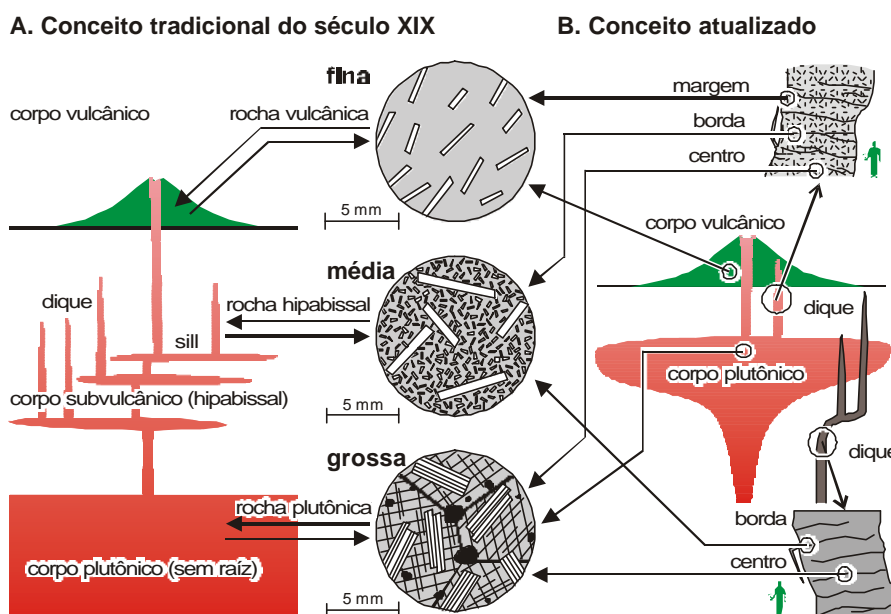


Fig. 1. Relação entre estrutura de corpos ígneos e textura de rochas ígneas conforme: A) conceito estabelecido no século XIX; B) conceito atualizado (Motoki, 2004).

De fato, corpos sub-vulcânicos e rochas constituintes são relativamente pouco conhecidos mesmo nos países avançados em vulcanologia. Tais temas estão na lacuna entre os investigadores de geologia estrutura dos vulcões ativos e os pesquisadores da geoquímica das rochas vulcânicas antigas. O Brasil não tem vulcões ativos nem os pesquisadores altamente especializados neste campo, desta forma, a carência é maior.

Por outro lado, os corpos sub-vulcânicos antigos que se expõem atualmente na superfície da Terra fornecem importantes informações sobre os fenômenos que ocorrem abaixo dos vulcões ativos. Tais pesquisas são encontradas tanto no Brasil (e.g. Motoki 1994; Motoki & Oliveira, 1987; Motoki et al. 1988a; 1988b) quanto no exterior (e.g. Phillips, 1974; Haimson, 1975; Motoki, 1979; Feraud & Campredon 1983; Laughlin et al. 1983).

O presente trabalho mostra os exemplos de edifícios vulcânicos e estruturas geológicas subvulcânicas do Brasil, Argentina e Chile, apresentando os critérios geológicos de classificação e a importância de estudos de corpos sub-vulcânicos,

## 2. Edifícios vulcânicos

Os vulcões jovens apresentam edifício com uma forma próxima à original. Alguns vulcões do Chile, tais como Villarica (Fig. 2A), Osorno, Llaima e Ronquimay, são os exemplos típicos de estratovulcão de composição basáltica. Com a passagem do tempo e conseqüente avanço da erosão, o vulcão perde sua forma original e mostra a estrutura interna do edifício. Os vulcões Punteagudo, Chile, Payún (Fig. 2B) e Auca Mahuida, Argentina, são os exemplos. A erosão atuante nos vulcões Payún e Auca Mahuida chegou a expor corpos intrusivos dacíticos de estágio tardia. Quando a erosão é mais avançada, o edifício vulcânico é quase totalmente eliminado e o vulcão mostra a estrutura geológica da base do edifício vulcânico. O Vulcão Chachahuén, Argentina (Fig 2C) é um típico exemplo.



Fig. 2. Exemplos de edifício de vulcão estratificado de vários graus de erosão: (A, esquerdo) Vulcão Villarica, Chile, quase sem erosão; (B, centro) Vulcão Payún, Mendoza, Argentina, ligeiramente erodido; (C, direito) Vulcão Chachahuén, Mendoza, Argentina, altamente erodido.

Nestes vulcões, o nível da superfície atual é praticamente ao mesmo da época das erupções e os edifícios vulcânicos foram erodidos devido a ser mais alto do que o nível regional. Desta forma, a elevação morfológica atual é diretamente relacionada às atividades vulcânicas e as rochas constituintes são depositadas basicamente na superfície regional. Neste caso, geralmente tanto a estrutura geológica quanto a textura das rochas são vulcânicas. Entretanto, os corpos intrusivos presentes no edifício vulcânico, tal como dique, pode ser constituído parcialmente de rochas hipabissais. Os contatos entre os corpos vulcânicos são normalmente sub-horizontais.

### 3. Estágio inicial de denudação

A erosão é o fenômeno supergênico que corresponde à remoção dos materiais constituintes das partes altas em relação à superfície regional. No caso de um vulcão, o edifício vulcânico é sujeito a ser eliminado pela erosão entretanto a superfície regional não é o caso. Por outro lado, a denudação remove os materiais tanto do edifício vulcânico quanto da superfície regional. Este fenômeno ocorre através de abaixamento do nível base da erosão, que é causado geralmente pelo soerguimento regional.



Fig. 3. Exemplos de área vulcânica que está no estágio inicial de denudação: (A, esquerdo) Meseta de Somuncura, Río Negro-Chubut, Argentina; (B, centro) Pata Mora, Mendoza, Argentina; (C, direito) planalto da Serra Geral, Vale do Rio do Rastro, Santa Catarina, Brasil.

As áreas vulcânicas que estão no estágio inicial de denudação preservam a superfície regional da época das erupções vulcânicas no topo do planalto. Os exemplos são encontrados freqüentemente na Patagônia Argentina (Fig. 3A, 3B). Como por exemplo, a Meseta de Somuncura (Fig. 3A) é composta principalmente de rochas sedimentares eocênicas cujo topo é coberto por lavas basálticas oligocênicas e miocênicas de espessura aproximada de 50 m (Orihashi et al. 2005). Os edifícios vulcânicos remanescentes se destacam no topo do planalto e a estrutura sub-vulcânica é exposta na parede lateral (Fig. 3B). O Vale do Rio do Rastro, Santa Catarina, Brasil, apresenta um exemplo similar (Fig. 3C; Motoki et al. 2003a). Via a regra, o planalto da Serra Geral composto de lavas basálticas se encaixa na definição de edifício vulcânico. Entretanto, devido à idade antiga, em torno de 135 Ma, vulcanólogos não tratam este como um edifício vulcânico.

Em geral, o edifício vulcânico é constituído de rochas vulcânicas e corpos sub-vulcânicos, de rochas vulcânicas, hipabissais e plutônicas. Os exemplos acima citados são altamente didáticos para estudos geológicos da relação entre edifício vulcânico e corpos sub-vulcânicos. Os contatos de corpos vulcânicos são sub-horizontais e os de corpos sub-vulcânicos, verticais ou de alto ângulo.

### 4. Áreas denudadas

Nas áreas onde a denudação é mais avançada, o edifício vulcânico é quase completamente eliminado e a estrutura sub-vulcânica é exposta na superfície. Tal exemplo não é freqüente porém se encontra no vale ao longo do Río Chico, Santa Cruz, Argentina. O topo do Cerro Redondo (Fig. 4A; Shilling et al. 2005) é constituído por spatter e escoria soldada, que compõem a base de um cone piroclástico (cinder cone). A parte média e inferior são compostas de basalto maciço, sem estrutura de lava, que correspondem a sill. Isto é, o corpo intrusivo sub-vulcânico, ou seja a câmara rasa, está presente logo abaixo do edifício vulcânico (Fig. 4B). Ao longo do mesmo vale, encontra-se Cerro Ventana,

que é outro exemplo deste estágio de denudação (Motoki et al. 2003b). A granulometria das rochas ígneas é relacionada ao tamanho do corpo magmático.

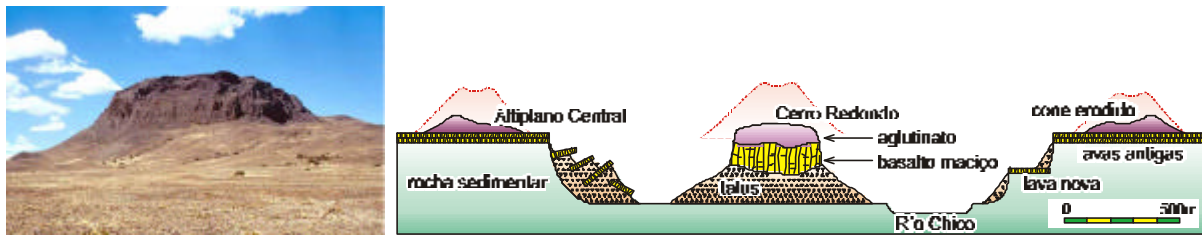


Fig. 4. Cerro Redondo (A, esquerdo), Santa Cruz, Argentina, e ilustração esquemática do modo de ocorrência geológica (B, direito).

Quando a denudação é ainda mais avançada, o edifício vulcânico é completamente eliminado e somente os corpos sub-vulcânicos, tais como dique, sill e neck, são expostos (Fig. 5). Neste caso, a profundidade da intrusão, ou seja o nível de denudação, não é fácil a ser estimada. Os estudos geomorfológicos regionais e datação de traço de fissão para apatita podem informar a profundidade aproximada. Os contatos são sub-vertical ou de alto ângulo, e a granulometria da rocha constituinte é em função do tamanho do corpo intrusivo.

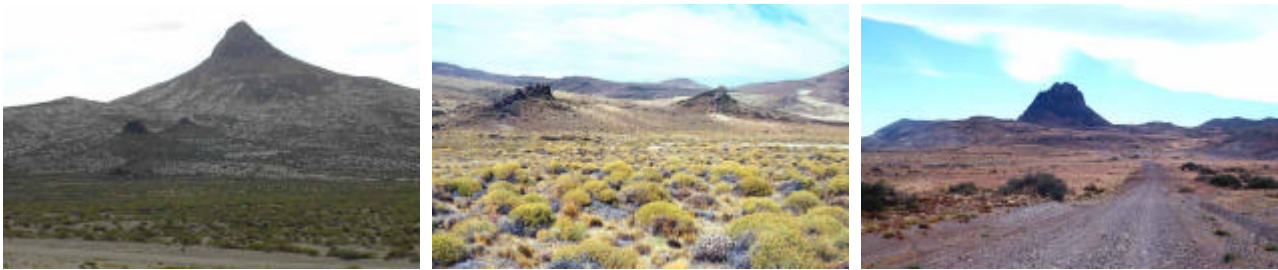


Fig. 5. Neck de Buta Ranquil, Neuquén (A, esquerdo); dique de San Bernardo, Chubut (B, centro); neck de Lago Cardiel, Santa Cruz (C, direito), sendo todos da Patagônia Argentina.

## 5. Nível de câmara magmática

Quando a denudação é muito avançada chegando até o nível da câmara magmática, aparecem corpos plutônicos compostos de rochas de granulometria grossa na superfície da Terra (Fig. 6A). Na região litoral dos estados de São Paulo e Rio de Janeiro, ocorrem dezenas de corpos sieníticos espalhados, que constituíam câmaras magmáticas no Cretáceo. O complexo intrusivo alcalino de Mendanha, Rio de Janeiro, é um exemplo (Fig. 6B).



Fig. 6. Nefelina sienito de complexo de Mendanha, Rio de Janeiro (A, esquerdo); área que foi considerada como cratera do Vulcão de Nova Iguaçu (B, centro); a verdadeira cratera do Vulcão Aso, Kyushu, Japão (C, direito).

Nos últimos anos, ressurgiu a idéia que na parte leste do corpo intrusivo Mendanha existe um edifício vulcânico, denominado Vulcão de Nova Iguaçu (e.g. Geraldés & Netto, 2004a; b; Mansur et al. 2004). Os argumentos principais destes autores são: 1) presença de rochas vulcânicas, tais como brecha e aglomerado; 2) existência de cratera vulcânica (Fig. 6B, área marcada por “?”).

De fato, a presença de rochas vulcânicas não comprova existência de edifício vulcânico devido à presença freqüente de rochas vulcânicas em corpos intrusivos. Além disso, o mapeamento recente esclareceu que a estrutura geológica e as rochas constituintes desta área são incompatíveis com o modelo de cratera vulcânica (Valente et al. 2004, apresentação do presente simpósio). Com base na hipótese da cratera vulcânica, o morro deveria ser um edifício vulcânico e, portanto deveria ter a estrutura geológica correspondente como no caso do Vulcão Aso, Kyushu, Japão (Fig. 6C). Entretanto, as rochas expostas na pedreira da Fig. 6B são álcali sienito e traquito de caráter intrusivo, que não

corresponde ao edifício vulcânico, mas sim, a câmara magmática. Os problemas similares estão presentes no Complexo Intrusivo Alcalino de Poços de Caldas, Minas Gerais (Motoki & Oliveira, 1987; Motoki et al. 1988b).

A profundidade da câmara magmática é variável. No caso mais raso, a câmara magmática está em contato com a base do edifício vulcânico (Fig. 4B, Motoki et al. 2003b). No caso do Vulcão Katmai, Alaska, foram detectadas duas câmaras magmáticas de forma discóide, uma está em alguns quilômetros de profundidade e outra, mais de 20 km (Matsumoto 1971). A granulometria das rochas é altamente relacionada ao tamanho do corpo intrusivo. Desta forma, o plutão sienítico é composto de rocha de granulometria grossa e os diques pequenos, granulometria fina. Os contatos dos corpos pequenos são de alto ângulo, porém os da câmara magmática é frequentemente de baixo ângulo.

## 6. Corpos piroclásticos

Corpos ígneos constituídos por rochas piroclásticas são casos mais difíceis, sobretudo no caso de tufo soldado de lato sensu, que inclui lapilli, brecha e aglomerado. Tais rochas são encontradas em magmatismo sienítico do Cretáceo na região Sudeste do Brasil, tais como Mendanha, Poços de Caldas e Itatiaia. Apesar da idade cretácica, a matriz é totalmente consolidada, o que não se justifica com o diagênese.

Em muitos casos, estas rochas piroclásticas densamente soldadas foram interpretadas como de fluxos piroclásticos (e.g. Ulbrich 1984), entretanto, tais rochas ocorrem também como condutos e fissuras vulcânicos. Além disso, os corpos sub-vulcânicos desenvolvem soldamento e fluxo secundário para o grau mais alto do que fluxos piroclásticos (Motoki 1979; Motoki et al. 1988b). A partir das observações litológicas e petrográficas, não é possível distinguir se a rocha é de um corpo vulcânico ou de um corpo sub-vulcânico.

Os critérios deverão ser obtidos por meio de trabalhos de campo. O primeiro critério é ângulo do contato do corpo piroclástico. O plano de contato de fluxos piroclásticos é sub-horizontal, porém o de condutos vulcânicos, sub-vertical. O segundo critério é extensão horizontal do corpo ígneo. A distribuição horizontal de fluxos piroclásticos é extremamente grande, chegando até 100 km de extensão, porém a de conduto vulcânico, no máximo centenas metros. Existem corpos intrusivos tabulares de tufo soldado com espessura inferior a 1 m.

Como por exemplo, se a ocorrência de Nova Iguaçu fosse um vulcão e as brechas são de fluxos piroclásticos, a Baixada Fluminense, tais como Nova Iguaçu, Mesquita e Nilópolis, deveria ser totalmente soterrada por ignimbrito. Entretanto, não se encontra nenhum ignimbrito remanescente na Baixada Fluminense.

## 8. Conclusão

Os argumentos acima citados sugerem um modelo de estrutura de corpos ígneos e suas rochas constituintes como a Fig. 8 (Motoki 2004). O nível de denudação pode ser estimado a partir da distribuição petrográfica.

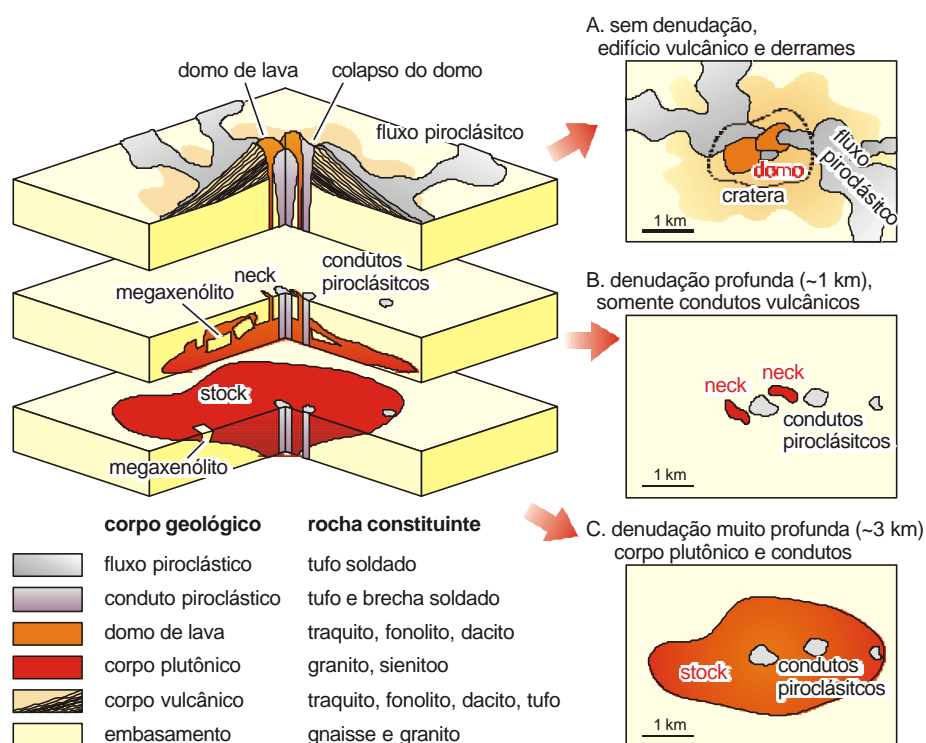


Fig. 8. Ilustração esquemática de correlação dos níveis de denudação (coluna esquerda) e respectivos mapas geológicos (coluna direita) para o nível de: A) edifício vulcânico, Villarica, Payún e Chachahuén; B) estrutura sub-vulcânica, Buta Ranquil, San Bernardo e Lago Cardiel; C) câmara magmática, Nova Iguaçu, Poços de Caldas.

Existem muitos casos de que rochas vulcânicas e plutônicas ocorrem como corpos intrusivos sub-vulcânicos e, além disso, certas rochas hipabissais ocorrem como corpos vulcânicos. Devido à grande número de exceções do modelo de Rosenbusch (1877), o modo de ocorrência geológica (emplacement) de corpos geológicos deve ser definido por meio de trabalho de campo. Conforme a Fig. 8, a ocorrência do nível sem denudação pode ser chamada de vulcão. Com base na postura científica, a dedução exagerada de “vulcão” a partir das observações petrográficas das rochas vulcânicas deve ser evitada.

## 9. Referências

- Bates, R.; Jacson, J.A., 1987. *Glossary of Geology*, 3rd edition. McGraw-Hill Book Company, 788p.
- Feraud, G.; Campredon, R. 1983. Geochronology and structural study of Tertiary and Quaternary dikes in southern France and Sardinia: An example of utilization of dike swarms as paleostress indicators. *Tectonophysics*, **98**, 297-325.
- Geraldes, M.C.; Netto, A.N., 2004a. Elaboração de placas do Geoparque do Vulcão de Nova Iguaçu-RJ: a utilização de linguagem popular para explicar a construção de um edifício vulcânico. *Anais 42º Congresso Brasileiro de Geologia*, CD.
- Geraldes, M.C.; Netto, A.N., 2004b. O construtivismo no ensino de geologia para a população na área de preservação ambiental no Geoparque do Vulcão de Nova Iguaçu-RJ. *Anais 42º Congresso Brasileiro de Geologia*, CD.
- Haimson, B.C., 1975. Deep in-situ stress measurements by hydrofracturing. *Tectonophysics*, **29**, 41-47.
- Hatayama, Y. e 344 coautores, 1980. *Chigaku Jiten (Geological Dictionary)*. The Association for Geological Collaboration. Heibonsha K.K., Tokyo, 1612p. (em Japonês)
- Laughlin, A.W.; Aldrich, M.J.; Vaniman, D.T., 1983. Tectonic implications of mid-Tertiary dikes in west-central New Mexico. *Geology*, **11**, 45-48.
- MacDonald, G.A. 1972. *Volcanoes*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 510p.
- Mansur, K.; Ghizi, A.; Guedes, E.; Medeiros, F.; Nogueira, G.; Barbosa, M., 2004. A transformação da linguagem científica em popular na elaboração de placas descritivas de pontos de interesse geológico: o caso do Geoparque do Vulcão de Nova Iguaçu. *Anais 42º Congresso Brasileiro de Geologia*, CD.
- Matsumoto, T., 1971. Seismic body waves observed in the vicinity of Mount Katmai, Alaska, and evidence for the existence of molten chambers. *Geol. Soc. Amer. Bull.* **82**, 2905-2920.
- Motoki A.; Ávila, C.A.; Roig, H., 1988a. Estudos litológicos e geológicos dos corpos tabulares no município de Arraial do Cabo, RJ. *An. XXXV Congr. Bras. Geol.*, **6**, 2727-2739.
- Motoki A.; Vargas T.; Chianello E.; Corrêa, F.J.G.; Oliveira, J.L.S.; Klotz M. 1988b. Nível de denudação atual do Complexo Alcalino de Poços de Caldas, MG-SP. *An. XXXV Congr. Bras. Geol.*, **6**, 2633-2648.
- Motoki, A. 2004a. Descrição petrográfica de rochas ígneas. Departamento de Mineralogia e Petrologia Ígnea da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (DMPI/FGEL/CTC/UERJ), apostila didática para graduação.
- Motoki, A., 1979. Cretaceous volcanic vents in southeast part of Mt. Rokko, western Honshu, Japan. *Bull. Volc. Soc. Japan, Second Series*, **24-2**, 55-72. (em japonês)
- Motoki, A., 1994. A possible fossil earthquake swarm? - Relationship between Mesozoic basaltic dykes and their linkage faults. *Jour. Geography*, **103-3**, 548-557.
- Motoki, A.; Adriano, L.; Melo, D.P. Freitas, A. 2004b. Edifícios vulcânicos e corpos subvulcânicos, de acordo com os níveis de denudação: exemplos do Brasil e da Argentina. *Anais 42º Congresso Brasileiro de Geologia*, CD.
- Motoki, A.; Oliveira, J.L.S., 1987. Reconsiderações vulcanológicas sobre a hipótese de caldeira vulcânica no Complexo Alcalino de Poços de Caldas, MG. Parte I: Rochas sedimentares como corpos capturados, fragmentados e afundados no magma fonolítico. *An. IV Simp. Geol. Minas Gerais*, 240-243.
- Motoki, A.; Orihashi, Y.; Hirata, D.; Haller, M.J.; Hosono, T.; Cario, F.D.; Shilling, M.; Anma, R. 2003b. Monogenic volcanoes of back-arc province, southern Argentina. *Journal of the Geological Society of Japan*, **109-7**, XIII-XIV.
- Motoki, A.; Vargas, T.; Hirata, D.; Yuji, O.; Haller, M.; Adriano, L.; Motta, C.E., 2003. Estrutura subvulcânica do platô basáltico do Paraná comparado com a mesma dos vulcões monogênicos da Patagônia Argentina. *Bol. Res. 8º Simpósio de Geologia do Sudeste*, 67.
- Motoki, A.; Vargas, T.; Hirata, D.; Yuji, O.; Haller, M.; Adriano, L.; Motta, C.E., 2003. Estrutura subvulcânica do platô basáltico do Paraná comparado com a mesma dos vulcões monogênicos da Patagônia Argentina. *Bol. Res. 8º Simpósio de Geologia do Sudeste*, 67.
- Orihashi, Y., Motoki, A., Haller, M. 2005. Petrogenesis of relatively large-volume basalts on extra-back arc province: Somuncura Plateau, northern Patagonia. *Earth Monthly*, in press (em japonês).
- Phillips, W.J. 1974. The dynamic emplacement of cone sheets. *Tectonophysics*, **24**, 69-84.
- Schilling, M.; Conceição, R.V.; Mallmann, G.; Koester, E.; Kawashita, K.; Hervé, F.; Morata, D.; Motoki, A. 2005. Spinel-facies mantle xenoliths from Cerro Redondo, Argentine Patagonia: Petrographic, geochemical, and isotopic evidence of interaction between xenoliths and host basalt. *Lithos*, **82, 3-4**, 485-502.
- Ulbrich, H.H.G.J. 1984. A petrografia, a estrutura e o quimismo de nefelina sienitos do Maciço Alcalino de Poços de Caldas, MG-SP. Tese de Livre Docência. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (inédito).