






PRIMEIRAS OBSERVAÇÕES DA FORMAÇÃO PITANGA (GRUPO SERRA GERAL) NO ESTADO DE SÃO PAULO

Roberta Pereira Guimarães¹ ; Maria Eduarda de Araújo Motta² ; Fabio Braz Machado¹ ; Rodrigo Prudente de Melo² ; Ana Carolina Alves da Costa² 

1 - Universidade Federal do Paraná. Av. Cel. Francisco H. dos Santos, s/n - Jardim das Américas, Curitiba - PR, 81270-460. E-mail: robertaguimaraes@ufpr.br; fabio.machado@ufpr.br.

2 - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Av. 24 A - Bela Vista, Rio Claro - SP, 13506-900. E-mail: maria.motta@unesp.br; rp.melo@unesp.br; carolina.costa@unesp.br

Abstract: *The basalts of the Serra Geral Group in the central-eastern region of São Paulo, including Brotas, Jaú, Araraquara, Ribeirão Preto, and Serro Azul, cover ~14,210 km² of basaltic flows and sills. This study aimed to characterize the Pitanga Formation through volcanic facies, petrography, and geochemistry, contributing to understanding the magmatic evolution of the northern Paraná Basin. Field campaigns, drill-core logging, petrography, and X-ray fluorescence analyses were conducted on 94 samples. Geochemical results indicate high-titanium (ATi) basalts of the Pitanga-type magma, with TiO₂ from 2.82% to 4.5%, SiO₂ 48.04–54.42%, MgO 2.57–5.6%, and P₂O₅ 0.28–0.79%. Binary diagrams reveal well-defined trends, with greater variation in intrusive bodies. Trace elements include Sr (376–613 ppm), Ni (3–124 ppm), Cr (55–142 ppm), Rb (9–48 ppm), and Zr/Y ratios from 4.68 to 7.27. Field observations show tabular flows with “p”-type pāhoehoe lobes at the base, overlain by entablature lavas with inflation structures. Lobe rupture by water generated upper breccias, sometimes associated with peperites. Columnar basalt is holocrystalline (plagioclase ~50%, clinopyroxene ~30%), whereas entablature is aphyric with glassy mesostasis (~50–70%), amygdaloidal and diktytaxitic. These data indicate a dynamic environment in the semi-arid northeast portion of the Serra Geral Group, where water or vapour influenced cooling and facies development. Integrating geochemistry with facies architecture allows for detailed characterization of the Pitanga Formation and insights into the evolution of the Serra Geral Group.*

Keywords: Pitanga Formation; Serra Geral Group; Entablature; Colunate

1. INTRODUÇÃO

O Grupo Serra Geral, assim designado na estratigrafia da Bacia do Paraná, tem sido objeto de estudos voltados à caracterização faciológica dos fluxos de lava, em constante associação com a geoquímica de seus diferentes magmas-tipo (Peate *et al.*, 1992).

Essas investigações, ainda em andamento, concentram-se predominantemente na porção sul da província (e.g. Waichel *et al.*, 2006; Rossetti *et al.*, 2018).

Cumprе ressaltar que essa tendência de pesquisa manifesta-se, no Brasil, com certo

descompasso temporal quando comparada a outras grandes províncias vulcânicas, como Columbia River e Deccan (e.g., Self *et al.* 1996, Bondre *et al.*, 2004a, b).

Nesse contexto, o presente estudo tem como objeto os basaltos do Grupo Serra Geral na região centro-oriental e nordeste do Estado de São Paulo (Figura 01), abrangendo uma área de aproximadamente 14.000 km², composta por fluxos de lava basáltica toleítica e intrusões associadas.

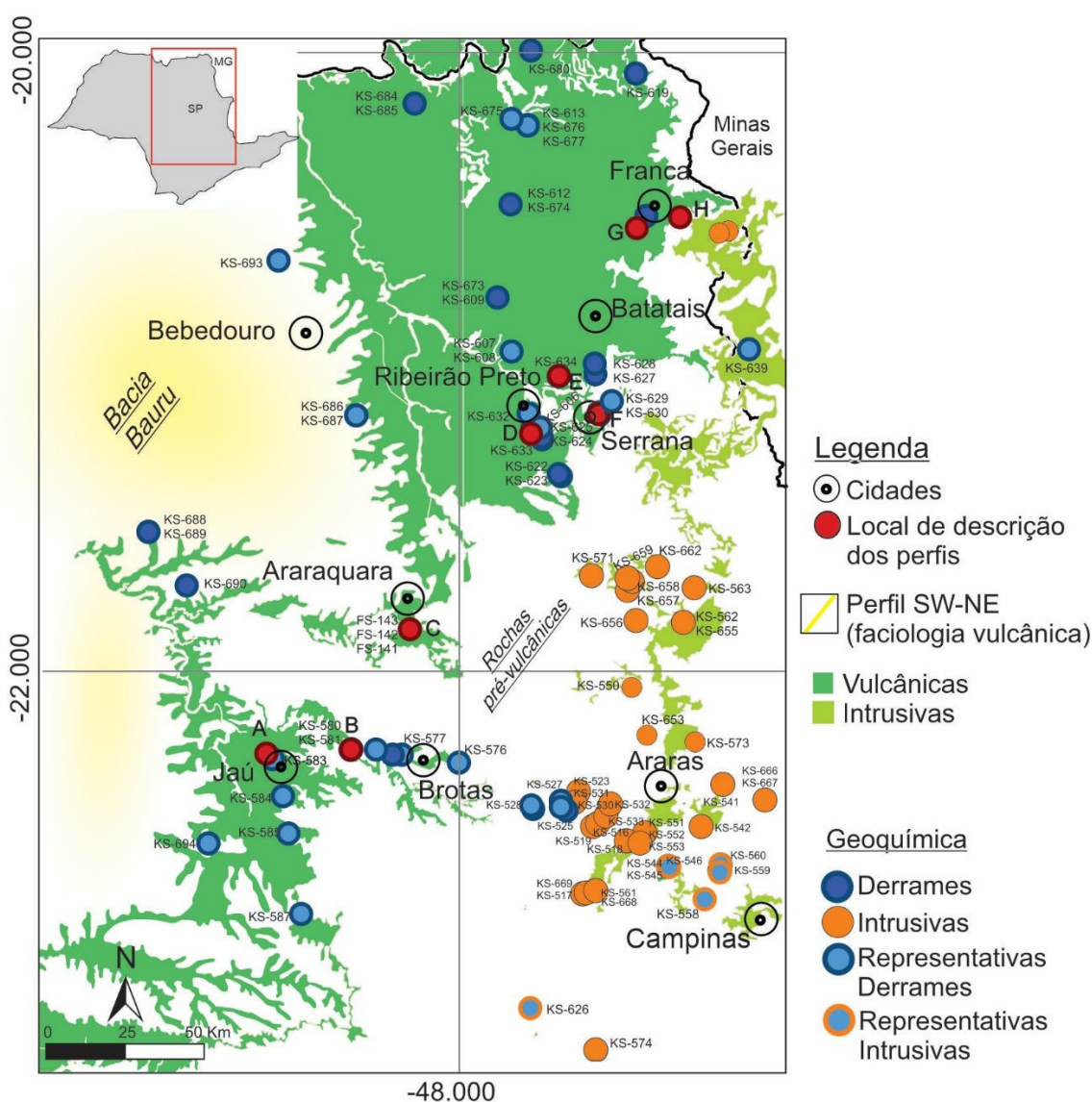


Figura 01 – Mapa geológico simplificado da área de estudo com os locais e numeração das amostras coletadas. Base geológica de Perrota *et al.* (2005)

O objetivo deste trabalho é preencher uma lacuna no conhecimento atual, relacionando a área de ocorrência do magma-tipo Pitanga no Estado de São Paulo, com a petrografia e a faciologia vulcânica, de modo a estabelecer vínculos com questões paleoambientais no início do Cretáceo na Bacia do Paraná.

Nos estudos geoquímicos, foram incluídos não apenas os fluxos, mas também as rochas intrusivas, de modo a possibilitar, por meio da inserção dos *sills*, uma melhor caracterização do fracionamento desse magma.

Por essa razão, neste trabalho dá-se ênfase à geoquímica, sem, contudo, desconsiderar as características da faciologia dos fluxos de lava. Dessa maneira, espera-se contribuir para um entendimento mais aprofundado da evolução do processo vulcânico que originou o Grupo Serra Geral nessa região.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo baseia-se em campanhas de campo realizadas nas regiões centro-oriental e nordeste do Estado de São Paulo, com foco nos fluxos de lava da Formação Pitanga. Os percursos foram traçados sob a forma de perfis, considerando estradas, o mapa geológico e os trabalhos relevantes de Gusão *et al.* (2024), Fernandes *et al.* (2018) e Machado

et al. (2018), que realizaram quimioestratigrafia detalhada na região.

Com o intuito de priorizar a morfologia e a estrutura dos fluxos de lava, foi elaborado um perfil de direção SW-NE, no qual importantes seções foram estudadas, conforme demonstrado na Figura 01. As amostras coletadas estão dispostas na mesma figura e cobriram satisfatoriamente a área de estudo.

Essas amostras foram obtidas em pedreiras (inclusive nas seções), cortes de estrada e testemunhos de sondagem em um poço na cidade de Ribeirão Preto (SP), e foram destinadas a análises de petrografia (94 lâminas delgadas), fluorescência de raios X (FRX – 94 amostras), elementos terras raras (REEs) por ICP-MS (18 amostras) e química mineral por microscopia eletrônica de varredura (MEV-EDS – 4 amostras).

Destas 94 amostras, visando exatidão nos resultados 5 duplicadas também foram realizadas em amostras consideradas representativas.

As análises de FRX para elementos maiores, menores e alguns traços foram realizadas no Departamento de Geologia da Universidade Estadual Paulista (UNESP), em Rio Claro (SP), seguindo o método descrito por Nardy *et al.* (1997). Os erros analíticos estão apresentados na Tabela 01.

SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Cr	Ni
0,14	1,14	0,38	0,32	0,55	0,63	0,21	1,01	0,76	0,79	4	5
Ba	Rb	Sr	La	Ce	Zr	Y	Nb	Cu	Zn	Co	
2	3	1	14	2	1	1	4	3	2	2	

Tabela 01 – Erros analíticos em % para os elementos maiores e menores e em ppm para os elementos traços obtidos por FRX na UNESP – Rio Claro.

Ainda, neste estudo, todas as amostras, expressas em porcentagem, foram normalizadas a 100% em base anídrica para a construção dos diagramas.

Os resultados de elementos terras raras (ETRs) foram obtidos para 18 amostras representativas (1 duplicata) no Laboratório de Geoquímica da Universidade Estadual de Campinas, por ICP-MS. Os erros analíticos são

inferiores a 15%, e o método utilizado está descrito em Cota *et al.* (2007).

Por fim, os dados de MEV-EDS foram obtidos no Laboratório de Estudos de Bacias da UNESP (LEBAC) para quatro lâminas polidas e metalizadas representativas, sendo duas de fluxos de derrame da região de Ribeirão Preto (SP) e duas da região de Brotas (SP). Nestas, as fases cristalinas analisadas foram: - Plagioclásio

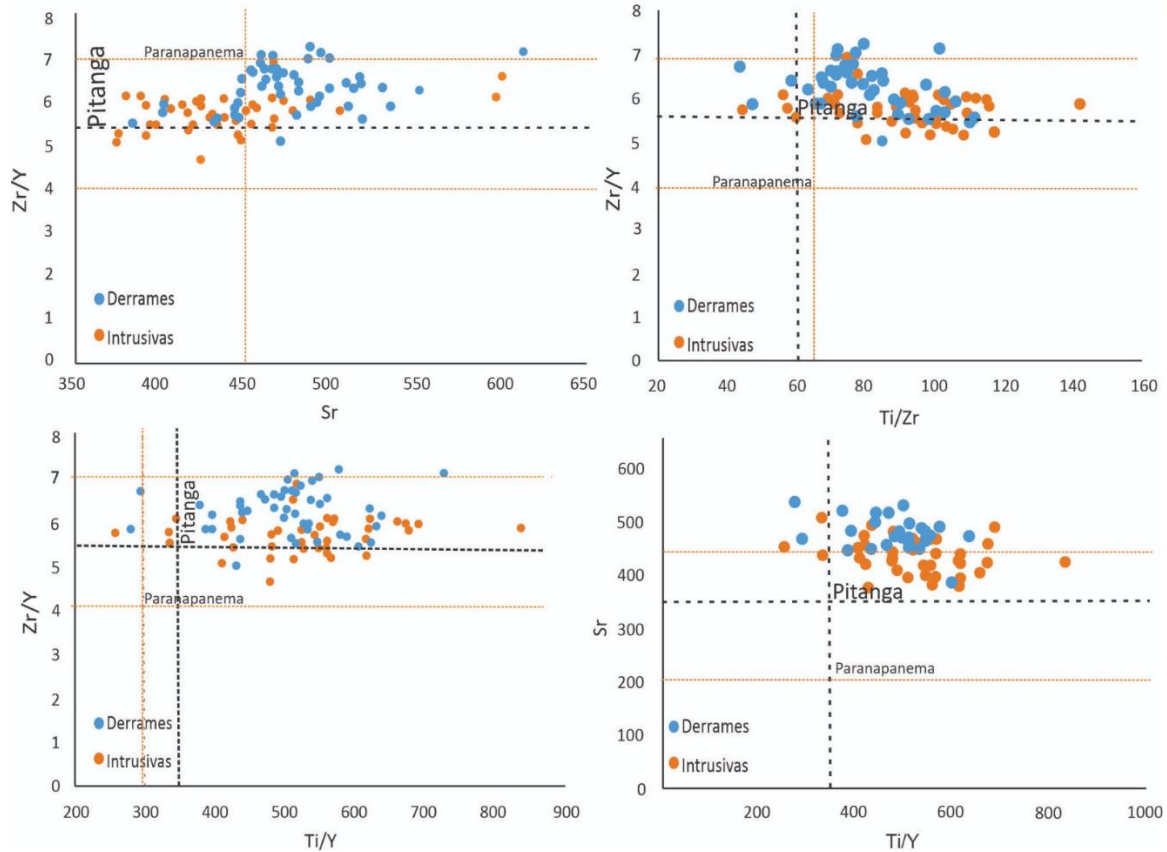


Figura 03 – Comportamento das amostras coletadas na área investigada em diagramas discriminatórios, conforme definido por Peate *et al.* (1992).

Com base nos dados obtidos para elementos maiores, menores e traços, na distribuição geográfica das amostras e na natureza intrusiva ou extrusiva das rochas investigadas, foram selecionadas 18 amostras representativas para análise de elementos terras raras (ETRs), com LOI < 1%.

As amostras selecionadas foram lançadas em diagramas multielementares (Figura 04). Neste diagramas foram plotadas apenas as amostras mais enriquecidas e mais empobrecidas em ETRs, tanto dos fluxos de lava quanto das rochas intrusivas.

Observou-se que todas apresentaram praticamente a mesma assinatura de distribuição, com anomalias praticamente inexistentes em qualquer elemento, porém com maior enriquecimento em ETRs leves em relação aos pesados, e menor fracionamento nos fluxos de lava do que nas rochas intrusivas: $7,1 < (La/Lu)_n < 8,2$ para as intrusivas e $5,7 < (La/Lu)_n < 8,9$ para os fluxos de lava.

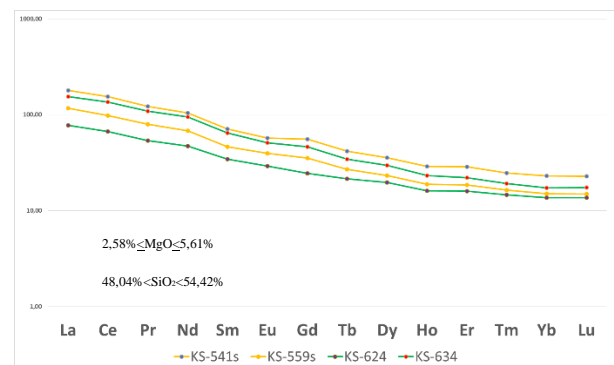


Figura 04 – Diagrama de terras raras (ETRs) normalizado para o condrito C1, segundo McDonough & Sun (1995), com intervalo das razões máxima e mínima para as amostras estudadas. As amostras representadas em linhas amarelas correspondem às rochas intrusivas, e as em verde, aos fluxos de lava. A localização das amostras pode ser verificada na Figura 01.

3.2 Estruturas e texturas associadas

Com a região de ocorrência do magma-tipo Pitanga conhecida por meio dos estudos geoquímicos, foi dada atenção à regularidade da morfologia das lavas e das estruturas associadas.

De fato, todas as lavas apresentam morfologia tabular clássica na base, com formação de

colunas de 8 a 25 metros e lóbulos pahoehoe, predominantemente do tipo “p”, às vezes preservados próximo ao contato basal (Figura 05B). Nesta região, também é comum a ocorrência de peperitos mistos, com espessuras variando de 1 a 3 metros (Figuras 05D, F, G e H).

Os sedimentos intercalados são arenosos, eólicos e bem selecionados na região de Brotas (Figura 01), sendo atribuídos à Formação Botucatu. No entanto, na região de Ribeirão Preto (Figura 01), as interlações de sedimentos são mal selecionadas, silito-arenosas e de origem flúvio-lacustre ainda sem formalização na estratigrafia regional.

No topo da zona colunada, observa-se um contato gradual e irregular com as zonas entabladas, sendo essa estrutura a principal guia da unidade (Figuras 05B, C, D). A espessura

varia de 5 a 30 metros. Imediatamente acima da zona entablada podem ocorrer estruturas de inflação, com fraturamento dos lóbulos devido à pressão da água, resultando na formação de brechas no topo (rubbly), como demonstrado nas Figuras 05B, C.

A espessura dos fluxos com topo e base preservados chega a 30 metros, sendo a maioria constituída por um terço de basalto colunar e dois terços por entablamento. No entanto, na porção nordeste da área, observam-se proporções de 1:1 (Figura 05D).

A sequência de litofácies termina no perfil de Franca (SP) – Figura 05H e Figura 01, onde se observam fluxos compostos sobre peperitos. Nesta região, os dados preliminares ainda indicam uma assinatura geoquímica distinta da parte sul, onde o Sr está acima de 550 ppm e o TiO_2 é maior que 4%.

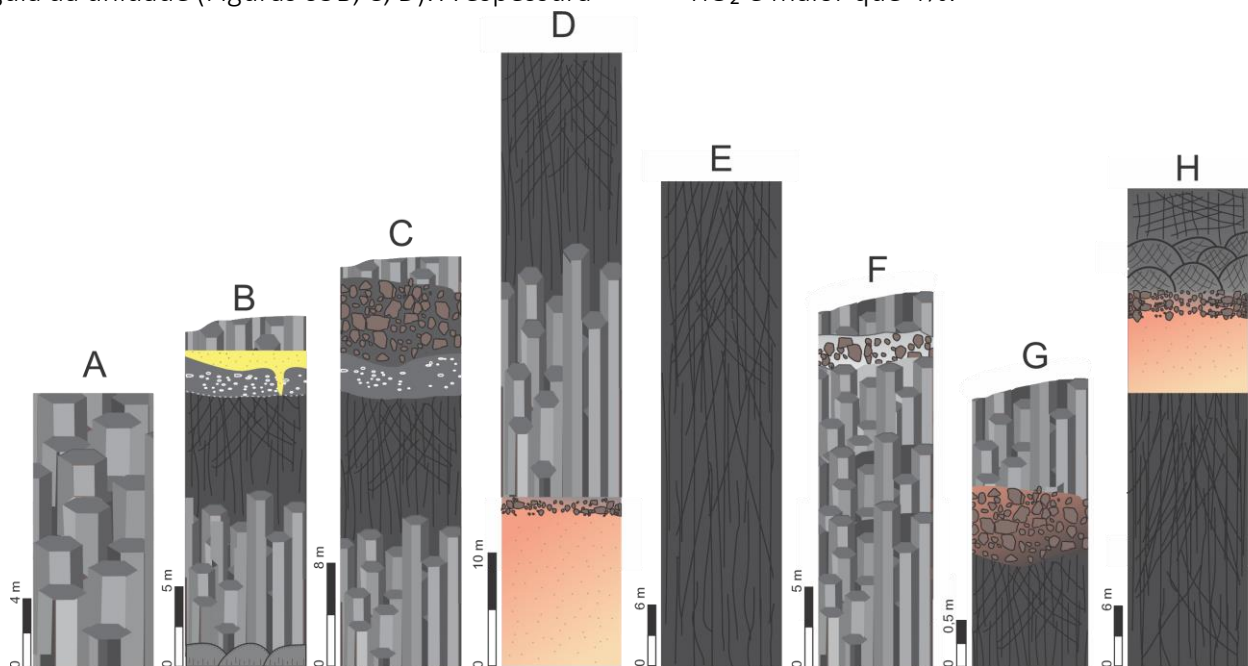


Figura 05 – Seções esquemáticas baseadas na arquitetura e na morfologia das lavas. Os perfis A–H representam os pontos analisados em pedreiras e cortes de estrada, destacados em vermelho na Figura 01.

4. CONCLUSÕES DISCUSSÕES

Os dados gequímicos mostram que pela concentração de TiO_2 e razão entre traços trata-se do mgama-tipo Pitanga. Esses dados corroboram as referências citadas.

Nesta área, embora ainda com dados preliminares, os estudos da morfologia das lavas e da arquitetura dos fluxos mostraram que

existe uma regularidade com duas estruturas bem definidas: colunada na base e entablada na porção superior. A relação entre essas estruturas varia de 1:2 a 1:1, respectivamente. Na base, é comum a ocorrência de peperitos mistos, sendo que, na porção nordeste, os sedimentos são flúvio-lacustres e mal selecionados, evidenciando um ambiente

úmido e uma possível nova unidade geológica. Esse ambiente úmido, além da presença de peperitos mistos, é corroborado pela zona entablada, irregular em proporção com a zona colunada. De fato, a presença de basalto entalado (Figura 06) foi atribuída ao resfriamento provocado por água represada ou, mais provavelmente, a chuvas torrenciais, conforme descrito em Lyle (2000), Bondre *et al.* (2004a, b) e Hoshide *et al.* (2024).



Figura 06. Derrame completo da sessão C da Figura 05.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao projeto PARANAMAGMA (FAPESP, processo 2019/22084-8), à FUNDUNESP (processo 3446/2023) e à PETRONAS (processo 23687-7) pelo apoio financeiro. A primeira autora agradece ao CNPq pela bolsa de mestrado concedida.

5. REFERÊNCIAS

BONDRÉ, N. R.; DURAIWAMI, R. A.; DOLE, G. Morphology and emplacement of flows from the Deccan Volcanic Province, India. *Bulletin of Volcanology*, v. 66, p. 29–45, 2004. DOI: [10.1007/s00445-003-0294-x](https://doi.org/10.1007/s00445-003-0294-x).

BONDRÉ, N. R.; DURAIWAMI, R.; DOLE, G. A brief comparison of lava flows from the Deccan Volcanic

Por fim, os fluxos tabulares clássicos, de espessura moderada a levemente elevada, aliados à estabilidade nas concentrações de elementos maiores, menores e traços, revelam um ambiente dinâmico na porção nordeste do Grupo Serra Geral, em uma região árida já suscetível a mudanças climáticas no Eocretáceo, caracterizando o cenário da Formação Pitanga.

3.3 Química mineral

Por fim, as composições minerais obtidas por MEV-EDS mostraram que o plagioclásio varia de $An_{67}Ab_{33}$ a $An_{50}Ab_{50}$ nos fluxos de lava, enquanto uma faixa mais ampla é observada nas rochas intrusivas associadas, de $An_{75}Ab_{23}$ a $An_{48}Ab_{52}$.

As composições de augita variam de $Wo_{15}En_{38}Fs_{46}$ a $Wo_{27}En_{36}Fs_{38}$ nos fluxos de lava e de $Wo_{11}En_{51}Fs_{38}$ a $Wo_{35}En_{41}Fs_{23}$ nos corpos intrusivos.

Province and the Columbia–Oregon Plateau Flood Basalts: Implications for models of flood basalt emplacement. *Journal of Earth System Science*, v. 113, n. 4, p. 809–817, dez. 2004. DOI: [10.1007/BF02704039](https://doi.org/10.1007/BF02704039).

FERNANDES, A. J.; NEGRI, F. A.; AZEVEDO SOBRINHO, J. M.; JANASI, V. A. Local geological sections and regional stratigraphy based on physical geology and chemical stratigraphy of the Serra Geral Group from Araraquara to Avaré, SP. *Brazilian Journal of Geology*, São Paulo, v. 48, n. 2, p. 243–261, 2018. DOI: [10.1590/2317-4889201720180093](https://doi.org/10.1590/2317-4889201720180093).

GUSÃO, J. P.; JANASI, V. A.; NEGRI, F. A.; FERNANDES, A. J.; GUERRA, J. T. M. Volcanic stratigraphy of the high-Ti basalt succession in the northern Paraná Magmatic Province based on geochemistry of detailed field sections in the Jaú-Barra Bonita region. *Brazilian Journal of Geology*, São Paulo, v. 54, n. 2, p. e20230036, 2024. DOI: [10.1590/2317-4889202420230036](https://doi.org/10.1590/2317-4889202420230036).

HOSHIDE, T.; ISHIBASHI, N.; IWAHASHI, K. Brecciation and fracturing by water ingress into the Genbudo basaltic andesitic lava flow, Iwate volcano, northeastern Japan. *Bulletin of Volcanology*, v. 86, n. 15, 2024. DOI: [10.1007/s00445-024-01707-x](https://doi.org/10.1007/s00445-024-01707-x).

LE BAS, M. J.; LE MAITRE, R. W.; STRECKEISEN, A.; ZANNETIN, B. A chemical classification of volcanic rocks based on total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology*, v. 27, p. 745–750, 1986.

LYLE, P. The eruption environment of multi-tiered columnar basalt lava flows. *Journal of the Geological Society, London*, v. 157, p. 715–722, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1144/jgs.157.4.715>

MACHADO, F. B.; ROCHA-JÚNIOR, E. R. V.; MARQUES, L. S.; NARDY, A. J. R.; ZEZZO, L. V.; MARTELETO, N. S. Geochemistry of the Northern Paraná Continental Flood Basalt (PCFB) Province: implications for regional chemostratigraphy. *Brazilian Journal of Geology*, São Paulo, v. 48, n. 2, p. 177–199, 2018. DOI: [10.1590/2317-4889201820180098](https://doi.org/10.1590/2317-4889201820180098).

MIYASHIRO, A. Nature of alkalic volcanic rock series. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 66, n. 1, p. 91–104, 1978.

PEATE, D. W.; HAWKESWORTH, C. J.; MANTOVANI, M. S. M. Chemical stratigraphy of the Paraná lavas (South America): classification of magma types and their spatial distribution. *Bulletin of Volcanology*, v. 55, p. 119-139, 1992.

PERROTTA, M. M.; SALVADOR, E. D.; LOPES, R. C.; D'AGOSTINO, L. Z.; CHIEREGATI, L. A.; PERUFFO, N.; GOMES, S. D.; SACHS, L. L. B.; MEIRA, V. T.; GARCIA, M. G. M.; LACERDA FILHO, J. V. Geologia e recursos minerais do estado de São Paulo: Sistema de Informações Geográficas – SIG. Rio de Janeiro: CPRM, 2006. Relatório técnico. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/2966>.

ROSSETTI, L.; LIMA, E.; WAICHEL, B.; HOLE, M. J.; SIMÕES, M.; SCHERER, C. M. S. Lithostratigraphy and volcanology of the Serra Geral Group, Paraná-Etendeka Igneous Province in Southern Brazil: Towards a formal stratigraphical framework. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 355, p. 98–114, 15 abr. 2018. DOI: [10.1016/j.jvolgeores.2017.05.008](https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2017.05.008)

SELF, S.; THORDARSON, T.; KESZTHELYI, L.; WALKER, G. P. L.; HON, K.; MURPHY, M. T.; LONG, P.; FINNEMORE, S. A new model for the emplacement of Columbia River basalts as large, inflated pahoehoe lava flow fields. *Geophysical Research Letters*, v. 23, n. 19, p. 2689–2692, 1996. DOI: [10.1029/96GL02450](https://doi.org/10.1029/96GL02450).

WAICHEL, B. L.; LIMA, E. F.; LUBACHESKY, R.; SOMMER, C. A. Pahoehoe flows from the central Paraná Continental Flood Basalts. *Bulletin of Volcanology*, Heidelberg, v. 68, n. 7-8, p. 599-610, 2006. DOI: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00445-005-0034-5>