







EXPANDINDO A ESTRATIGRAFIA DO GRUPO SERRA GERAL NO SETOR NORTE DA BACIA DO PARANÁ

Gabriel Carreiro Zanelatto ¹; Isabela de Oliveira Carmo ²; Naiade Caroline Barbieri ¹; Ana Beatriz Torres e Souza ¹; Rauhany Alves Prudêncio ¹; Lucas de Magalhães May Rossetti ¹

1 - Faculdade de Geociências, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá-MT, Brasil. E-mail: gabrielczanelatto@gmail.com; naiadebarbieri@outlook.com; anatorresesouza@gmail.com; rauhanyalves2003@gmail.com; lucas.rossetti@ufmt.br

2 - Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello—CENPES/PETROBRAS, Rio de Janeiro-RJ, Brasil. E-mail: icarmo@petrobras.com.br

Abstract: *The Paraná-Etendeka Magmatic Province (PEMP, 135–131 Ma) is characterized by southern low-Ti and northern high-Ti volcanic sequences. The latter includes the Pitanga and Paranapanema formations, representing the PEMP's youngest magmatism (131.5–133.6 Ma). These units outcrop mainly in the Serra Geral Group's (SGG) central-northern portion across several Brazilian states; however, limited surface exposure necessitates subsurface data from exploratory wells. This study investigates the lava flow stratigraphy of the Pitanga and Paranapanema formations in wells 2-TL-1-MS and 2-PE-1-SP, at the São Paulo/Mato Grosso do Sul state border, by integrating petrophysical data (E-Facies) with geochemical and petrologic characterization of cuttings and core samples. Chemostratigraphic analysis of these wells indicates Pitanga Formation basalts (611 m of medium thickness), overlain by Paranapanema Formation basalts (501.5 m of medium thickness). The Pitanga Formation comprises of low-mid TiO₂ basalts, trachybasalts, and basaltic andesites (TiO₂: 2.86-4.05%; Zr/Y > 5.5), forming simple (brecciated, vesicular) and compound flows. In contrast, the Paranapanema Formation is mainly composed by low TiO₂ basalts (TiO₂: 1.81-2.66%; Zr/Y < 5.5), forming predominantly simple lavas, and also differ in MgO, Fe₂O₃, P₂O₅, and Sr content, and Ti/Zr and Ti/Y ratios. This integrated approach, using chemical stratigraphy (magma-type), petrography, and petrophysics, delineates the vertical distribution of volcanic facies, extending the existing stratigraphic correlation up to 165 km northward beyond the reference 2-CB-1-SP well. The study provides novel geological information for this poorly exposed region, significantly expanding the stratigraphic understanding of the northern PEMP.*

Keywords: *Paraná-Etendeka Magmatic Province, Serra Geral Group, Geochemistry, Petrophysics, Stratigraphy*

1. INTRODUÇÃO

A Província Magmática Paraná-Etendeka (PMPE) é uma Grande Província Ígnea (GPI) formada no Cretáceo Inferior (135–131 Ma, Gomes & Vasconcelos, 2021), durante a fragmentação do supercontinente Gondwana. A província recobre uma área de $1,3 \times 10^6 \text{ km}^2$ sobre o continente sul-americano e $0,2 \times 10^6 \text{ km}^2$ sobre a África (Courtilot & Renne, 2003; Frank *et al.* 2009). Este magmatismo é toleítico, composto por basaltos e andesito-basaltos (97,5%) e subordinadamente por rochas ácidas como riolitos e dacitos (2,5%) (Bellieni *et al.* 1984; Peate, 1997). No Brasil, a PMPE é representada estratigraficamente pelo Grupo Serra Geral (GSG), principal evento magmático da Bacia do Paraná, e ocorre nos estados do sul (RS, SC e PR), sudeste (MG e SP) e centro-oeste (MS, MT e GO) (Rossetti *et al.* 2018). O GSG é compartimentado em dois grandes grupos químicos, compartimentados geograficamente: baixo-Ti ao sul e alto-Ti ao norte (Bellieni *et al.* 1984; Peate, 1997).

O foco deste trabalho é a sequência de alto-Ti na região centro-norte da Bacia do Paraná onde as Formações Pitanga e Paranapanema são as principais unidades estratigráficas aflorantes, porém a região é caracterizada por exposição estratigráfica restrita. Neste contexto, as informações geológicas podem ser recuperadas em poços exploratórios, a partir dos quais o presente trabalho busca investigar a estratigrafia da região utilizando a caracterização de dados petrofísicos e geoquímicos de dois poços exploratórios (2-TL-1-MS e 2-PE-1-SP), localizados no limite entre os estados de Mato Grosso do Sul e São Paulo.

O método de trabalho utiliza a integração de ferramentas como litogeoquímica e caracterização petrográfica de amostras de testemunhos e calhas dos poços, obtidas em parceria com a PETROBRAS, e análise faciológica a partir de dados petrofísicos disponíveis no banco de dados público da ANP (Agência Nacional do Petróleo). A análise faciológica é baseada no método descrito por Millett *et al.* (2021), onde intervalos com características

geofísicas similares são agrupados em eletrofácies (E-Fácies). As E-Fácies são definidas com base em valores de raios gama (RG), densidade e velocidades acústicas (V_p), e representadas graficamente com o uso do *software* WellCad™. Após a interpretação individual de cada poço ambos foram correlacionados e inseridos na estratigrafia já interpretada a partir do poço 2-CB-1-SP (Fig. 1).

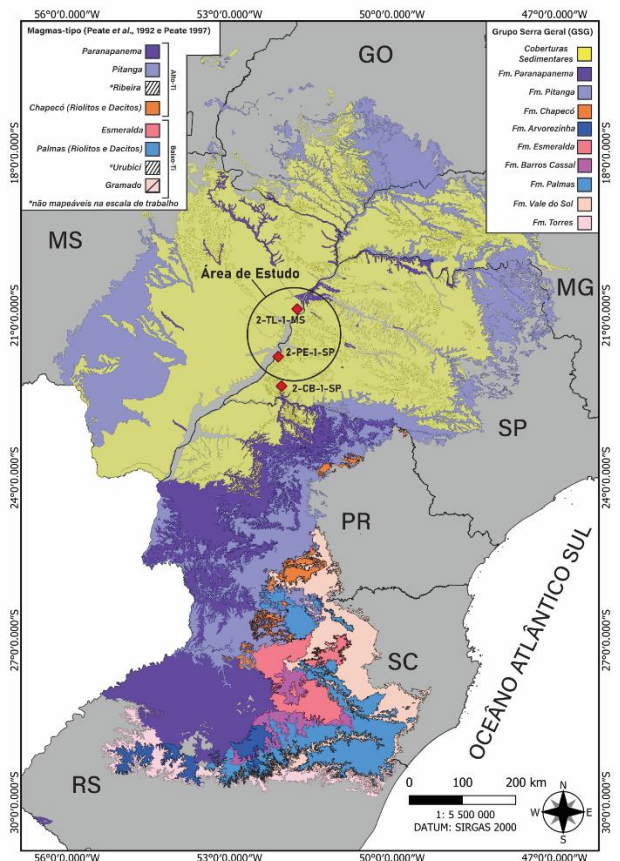


Figura 1. Distribuição das formações vulcânicas do GSG no Brasil e seus magmas-tipo correspondentes, com localização dos poços exploratórios da área de estudo. Fonte: Autor, dados geológicos obtidos do banco de dados do mapeamento realizado pelo SGB (Horn *et al.* 2022).

A interpretação de fácies vulcânicas foi construída a partir da avaliação dos dados petrofísicos dos poços, utilizando método proposto por Rossetti *et al.* (2025) derivado de Millett *et al.* (2021a e b) para o estudo do Grupo Serra Geral em subsuperfície. A composição dos derrames foi estimada a partir das curvas de raios gama (RG), enquanto a estrutura interna dos

derrames foi definida a partir das variações ao longo das curvas de velocidades acústicas (Vp). Valores de RG tem uma correlação direta com a composição da rocha (e.g., básica, intermediária ou ácida), e foram separados em quatro categorias: (B) Básica, onde RG < 35 API; (BA) Andesitos basálticos, onde RG varia entre 35-65 API; (I) Intermediária, onde RG varia entre 65-100; e (A) Ácida, onde RG > 100. Os valores de Vp, que refletem a densidade do material, foram utilizados para interpretar a estrutura interna dos derrames. Por exemplo, valores > 5,35 foram correlacionados a facies maçicas enquanto valores entre 4,35 e 5 relacionados a fácies vesiculares ou brechadas. A combinação dos padrões de eletrofácies permite identificar a arquitetura das fácies vulcânicas presentes (topo vesicular, núcleo maciço ou base), a partir dessas interpretações foram definidos os tipos de derrames presentes em cada poço (Fig. 2).

apresentando valores de SiO₂ entre 49,47 e 52,27% e álcalis (Na + K) entre 2,93 e 5,32% (Fig. 3A). Os valores de Ti/Y variam de 503,89 a 757,88 ppm, enquanto Zr/Y de 5,81 a 8,69 ppm; Ti/Zr de 76,85 a 107,38 ppm e TiO₂ de 2,86 a 4,05%, nas porções inferiores das sequências vulcânicas de ambos os poços; e valores de Ti/Y entre de 376,17 a 468,45 ppm, Zr/Y de 4,42 a 5,36 ppm; Ti/Zr de 77,68 a 88,48 ppm e TiO₂ de 1,81 a 2,66%, ocorrem nas porções superiores. Foi possível distinguir duas sequências vulcânicas, em ambos os poços, a partir dos valores de TiO₂, Ti/Y, Zr/Y, Ti/Zr; com teores de TiO₂ e valores das razões mais baixos nas porções inferiores, que correspondem ao magma-tipo Pitanga (Ti/Zr > 60, Ti/Y > 350 e TiO₂ > 2,9; Peate *et al.* 1992 e Peate, 1997), enquanto que os valores descritos na porção superior refletem as composições pertencentes ao magma-tipo Paranapanema (Ti/Zr > 65, Ti/Y > 330 e TiO₂ 1,7–3,2) (Fig. 3C e D). As composições geoquímicas variam sistematicamente ao longo dos poços, demonstrando uma quebra abrupta na composição geoquímica das rochas marcando o contato entre as formações Pitanga e Paranapanema na profundidade de 440 m para o poço 2-TL-1-MS (Fig. 3B e Fig. 4).

	GR (API)	Vp (km/s ⁻¹)	E-Fácies	Litofácies Interpretadas	
Basálticas	<35	>5.35	B1	Núcleo Maciço	
	<35	4.35-5.35	B2	Topo vesicular	Base
	<35	<4.35	B3	Topo Brechado (rubbly)	Derrame Composto
Andesito Basálticas	35-65	>5.35	BA1	Núcleo Maciço	
	35-65	4.35-5.35	BA2	Topo vesicular	Base
	35-65	<4.35	BA3	Topo Brechado (rubbly)	Derrame Composto
Intermediárias	65-100	>5.35	I1	Núcleo Maciço	
	65-100	4.35-5.35	I2	Topo vesicular	Base
	65-100	<4.35	I3	Derrame Composto	Rochas Vulcanosedimentares/Peperitos
Ácidas	>100	>4.5	A1	Núcleo Maciço	
	>100	2.8-4.5	A12	Topo vesicular	Base
	>100	c. 2.5-4.0	A13	Derrame Composto	
	-	<3.5	Ss	Sedimentos/Intertrap	

Figura 2. Correlação entre litofácies, E-Fácies e tipos de derrames interpretadas nos poços 2-TL-1-MS e 2-PE-1-SP (Modificado de Millett *et al.* 2021 e Rossetti *et al.* 2025).

2. RESULTADOS

2.1 Geoquímica dos poços 2-TL-1-MS e 2-PE-1-SP

Amostras de testemunhos dos poços foram classificadas geoquimicamente como basaltos, andesitos basálticos e traquiandesitos basálticos,

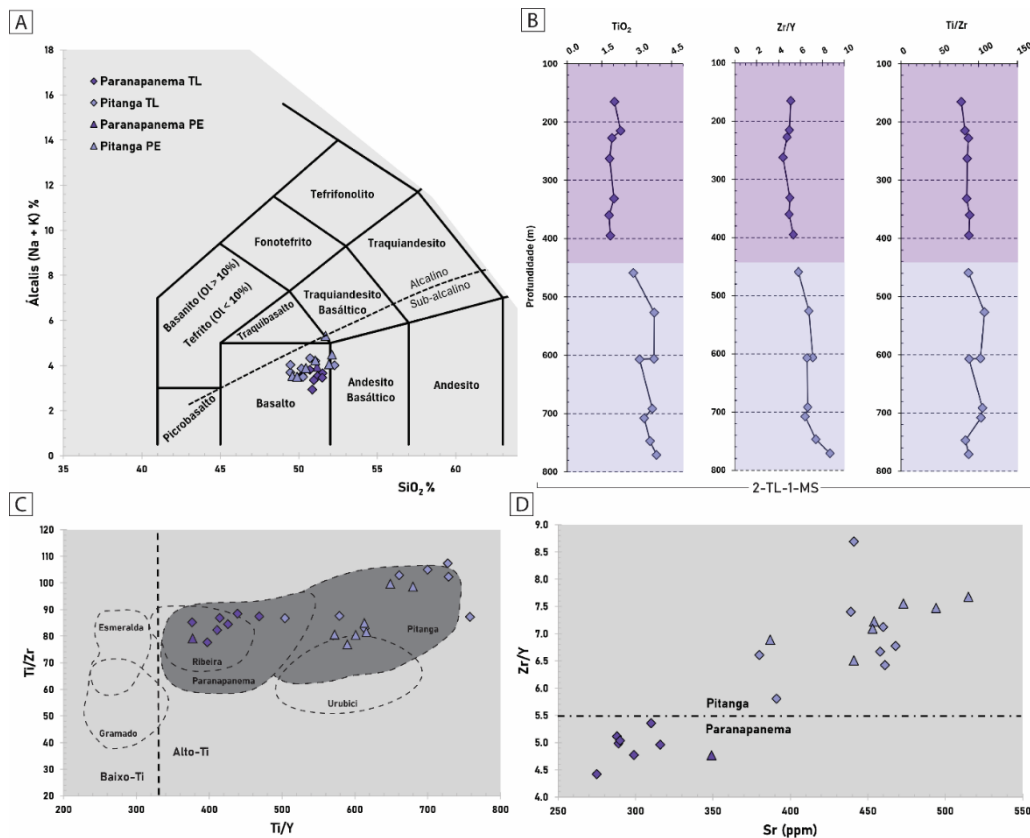


Figura 3. A) Diagrama de classificação TAS para as amostras dos poços 2-TL-1-MS e 2-PE-1-SP; B) Valores de profundidade vs TiO₂, Zr/Y e Ti/Zr marca o contato entre as formações Pitanga e Paranapanema no poço 2-TL-1-MS; C) Diagrama de separação dos grupos de alto e baixo-Ti destacando os magmas-tipo de Peate (1997); D) Diagrama de separação dos magmas-tipo Pitanga e Paranapanema.

2.2 Sequências vulcânicas do poço 2-TL-1-MS

O poço 2-TL-1-MS perfurou um total de 705 m de rochas vulcânicas. É formado por aproximadamente 385 m de basaltos da Formação Pitanga entre as profundidades de 440 e 825 m, depositados diretamente sobre os arenitos eólicos da Formação Botucatu.

Sobre a Formação Pitanga, depositou-se 320 m de basaltos da Formação Paranapanema, entre as profundidades de 120 e 440 m, sobreposta por cerca de 50 m de arenitos do Grupo Bauru e 55 m de sedimentos recentes.

O contato entre as Formações Pitanga e Paranapanema ocorre na profundidade de 440 m, marcado por uma quebra abrupta nos valores de RG e pela mudança das características geoquímicas das rochas.

No intervalo total das rochas vulcânicas, os valores de RG variam entre 46 e 100 API com média de 73 API e os de Vp entre 2,9 e 6,3 km/s⁻¹ com média de 4,6 km/s⁻¹. A partir destas análises, esta sequência vulcânica foi interpretada como uma sucessão de derrames simples com topos brechados e vesiculares, e derrames compostos, com ocorrências de rochas vulcanossedimentares entre os derrames.

Para a Formação Pitanga, os valores de RG variam entre 56 e 73 API com média de 64 API e os de Vp entre 3,5 e 5,6 km/s⁻¹ com média de 5,0 km/s⁻¹. A unidade é dominada por derrames simples, tabulares com topo vesicular com espessura média de 21,7 m. Intervalos de baixa velocidade/densidade, entre os derrames, são interpretados como rochas vulcanossedimentares, com espessura média de 6,7 m. Apenas uma sequência de derrames

compostos, com espessura média de 24,4 m, foi observada. Na Formação Paranapanema, os valores de RG variam entre 51 e 80 API, com média de 61 API, e os de Vp entre 3,1 e 5,1 km/s⁻¹, com média de 4,0 km/s⁻¹. Predominam derrames compostos, com espessura média de

19,6 m, seguidos por derrames simples/tabulares com espessura média de 22,7 m. Rochas vulcanossedimentares ocorrem entre alguns derrames e tem espessura média de 6,32m (Fig. 4).

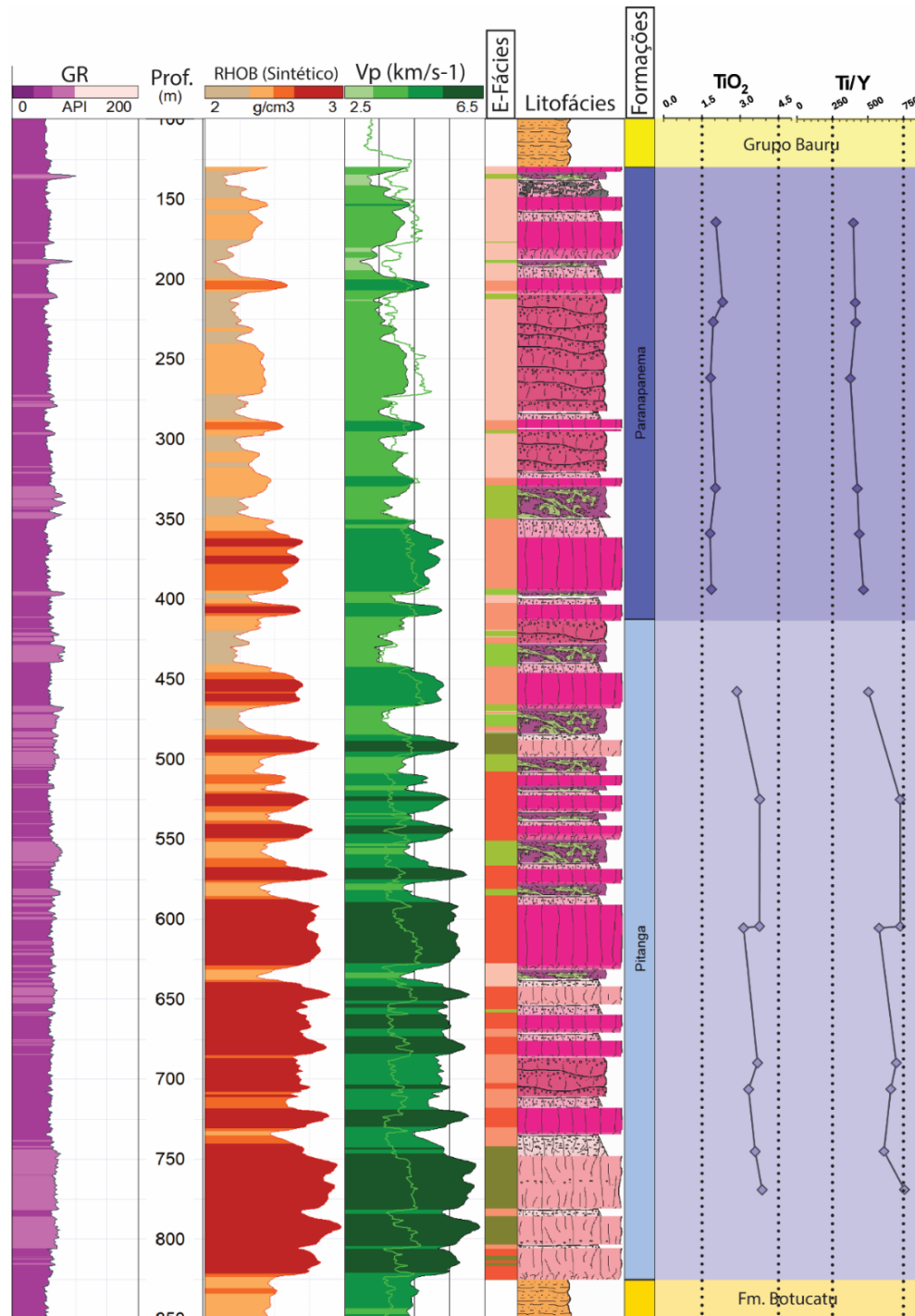


Figura 4. Interpretação da estratigrafia e litofácies vulcânicas do poço 2-TL-1-MS de acordo com o método de E-Fácies integrados com os dados de geoquímica.

2.3 Sequências vulcânicas do poço 2-PE-1-SP

O poço 2-PE-1-SP perfurou um total de 1520 m de rochas vulcânicas. É formado por aproximadamente 837 m de basaltos da Formação Pitanga entre as profundidades de 783 e 1620 m, estão depositados diretamente sobre os arenitos eólicos da Formação Botucatu e cobertos por aproximadamente 683 m de basaltos da Formação Paranapanema, entre 100 e 783 m. A sequência é coberta por aproximadamente 94 m de arenitos e siltitos. O contato entre as formações Pitanga e Paranapanema ocorre em 783 m, marcado por uma grande variação nos valores de RG. Como não foi possível dispor de uma quantidade suficiente de amostras de testemunhos e calhas, a sua interpretação e estratigrafia foram inferidas a partir dos poços adjacentes 2-TL-1-MS e 2-CB-1-SP. Etapas futuras visam uma densa amostragem de amostras de calha que permitirão avaliar de forma mais precisa a distribuição das unidades.

2.4 Petrografia e tipos de lavas

Petrograficamente, as amostras do núcleo dos derrames simples possuem texturas holocristalinas com cristais de plagioclásio e piroxênio na matriz podendo ocorrer texturas ofíticas e subofíticas, alguns fenocristais e pouca ou nenhuma vesiculação. Fácies de topo e base de derrames apresentam uma textura hipocristalina e traquítica com vesículas, por vezes preenchidas por minerais secundários como celadonita e zeólita. As amostras de derrames compostos têm um padrão fortemente vesicular, geralmente hipocristalinas com textura traquítica e vesículas preenchidas por celadonita e/ou zeólita. As rochas vulcanossedimentares descritas possuem uma característica híbrida (interação lava e sedimentos), onde a porção vulcânica apresenta textura hipocristalina e traquítica, com alguns fenocristais de plagioclásio e piroxênio, e a porção sedimentar apresenta grãos de quartzo arredondados e finos estando esparsos em uma matriz vulcânica fina (Fig. 5).

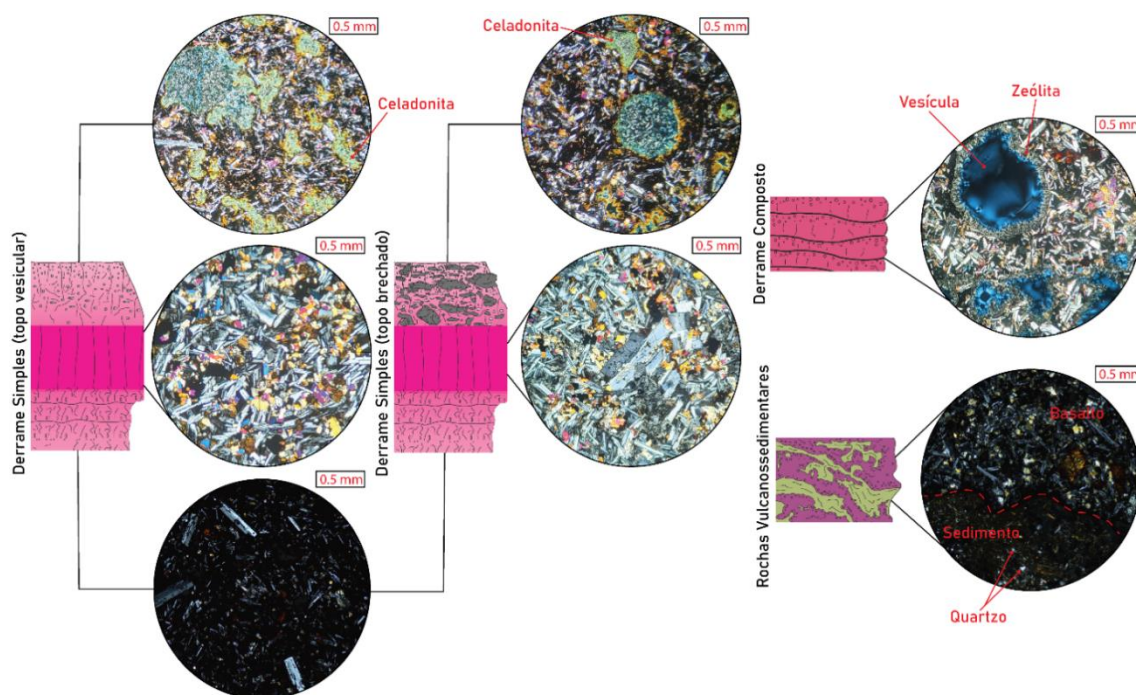


Figura 5. Fotomicrografias (nicóis cruzados) de cada litofácies dos tipos de lavas reconhecidos nas sequências presentes nos poços 2-PE-1-SP e 2-TL-1-

MS. Fonte: Autor, litofácies adaptadas de Millett *et al.* (2021) e Rossetti *et al.* (2025).

3. DISCUSSÕES

Nos três poços abordados neste estudo (2-TL-1-MS, 2-PE-1-SP e 2-CB-1-SP), a Formação Pitanga ocorre na base depositada diretamente sobre arenitos eólicos da Formação Botucatu, com evidência de interação lava-sedimento inconsolidado, seguida pelos derrames da Formação Paranapanema, sobrepostos por rochas sedimentares do Grupo Bauru. A correlação entre as formações Pitanga e Paranapanema e seus contatos foram marcados principalmente com o auxílio de dados geoquímicos (ex., TiO_2 e razões Ti/Y e Ti/Zr), que permitiram o reconhecimento dos magmas-tipo Pitanga e Paranapanema de Peate. (1997). Essas variações geoquímicas são acompanhadas por mudanças abruptas nos valores de RG. Os contatos são mais rasos para o norte (2-PE-1-SP, 1010 m; 2-PE-1-SP, 783 m e 2-TL-1-MS, 440 m).

A sequência vulcânica nos três poços é marcada pela ocorrência de derrames simples/tabulares com topos brechados, derrames simples/tabulares com topos vesiculares, derrames compostos e rochas vulcanossedimentares nos intervalos entre as sequências de derrames (*intertraps*).

A espessura média dos derrames diminui para norte, em direção ao poço 2-TL-1-MS, o que pode indicar uma deposição marginal das lavas em relação à fonte eruptiva e a relação do poço 2-TL-1-MS que está na borda com os poços que estão no depocentro da bacia (2-PE-1-SP e 2-CB-1-SP, Fig. 6). As variações petrográficas demonstram o comportamento textural e mineralógico de cada litofácies e auxiliam na descrição e caracterização mais detalhada e precisa de tipo de lava, corroborando as interpretações baseadas nos dados petrofísicos.

Os resultados apresentados corroboram a distribuição estratigráfica proposta por Peate *et al.* (1992) sobre os magmas-tipo, com os estudos de Nardy *et al.* (2008) e Machado *et al.* (2018) sobre a extensão das formações Pitanga e Paranapanema na região norte da Bacia do Paraná.

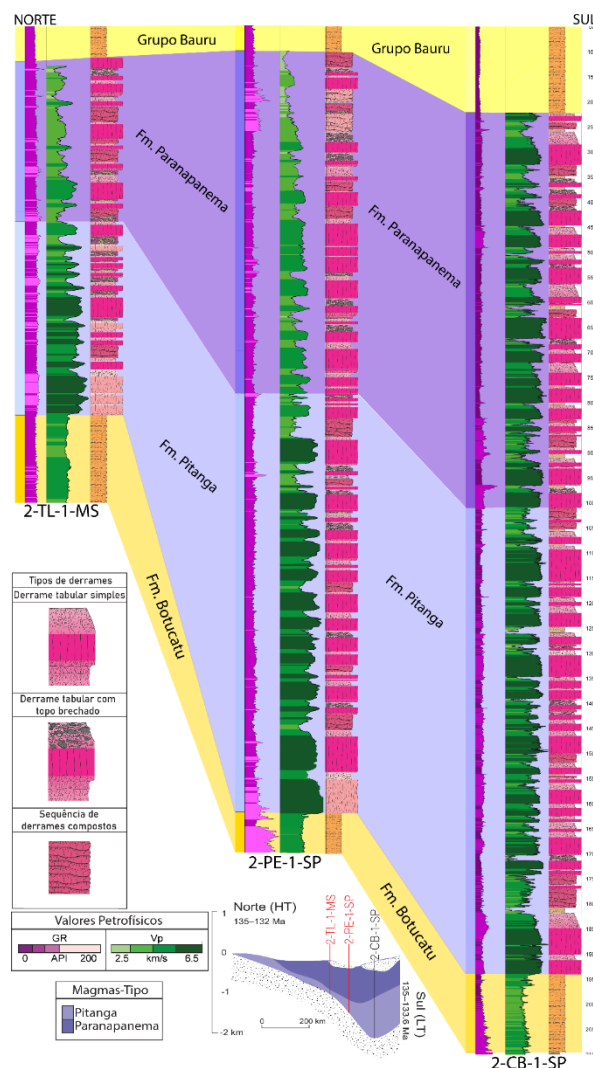


Figura 6. Correlação estratigráfica entre os poços 2-CB-1-SP, 2-PE-1-SP e 2-TL-1-MS integrados com os perfis de RG, Vp e a interpretação das litofácies.

4. CONCLUSÕES

As formações Pitanga e Paranapanema representam os estágios principais do magmatismo de alto-Ti da PMPE cobrindo uma extensa área na Bacia do Paraná (Gomes & Vasconcelos, 2021). Neste contexto, o estudo destas formações é importante para entender a evolução da PMPE e do GSG. O presente trabalho demonstra que a caracterização de seções vulcânicas das formações do GSG em poços exploratórios é uma ferramenta vital na investigação de áreas onde informações geológicas de superfície são restritas ou os níveis erosionais não expõem a estratigrafia. O presente estudo aplica um método já utilizado com sucesso em outras províncias ígneas (e.g., Província do Deccan, Millett *et al.* 2021b;

Província do Atlântico Norte, Millett *et al.* 2021a; e no próprio Grupo Serra Geral, Rossetti *et al.* 2025), expandindo a correlação da estratigrafia para o norte da bacia (165 km) para áreas onde informações geológicas eram restritas.

5. REFERÊNCIAS

ALT – Advanced Logic Technology. *WellCad™, versão 5.5, build 427 (x64)*. 2021.

ANP – Agência Nacional do Petróleo. Dados Públicos Terrestres – Bacia do Paraná. 2021. Disponível em: <https://reate.cprm.gov.br/anp/TERRESTRE>. Acesso em 05 jun. 2025.

BELLIENI G., COMIN-CHIARAMONTI P., MARQUES L.S., MELFI A.J., PICCIRILO E.M., NARDY A.J.R., ROISENBERG A. High-and low-Ti flood basalts from the Paraná plateau (Brazil): petrology and geochemical aspects bearing on their mantle origin. *Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen*, 150:272-306, 1984.

COURTILLOT, V. E., & RENNE, P. R. 2003. On the ages of flood basalt events. *Comptes Rendus Geoscience*, 335(1), 113–140. [https://doi.org/10.1016/S1631-0713\(03\)00006-3](https://doi.org/10.1016/S1631-0713(03)00006-3)

FRANK, H.T, GOMES, M.E.B, FORMOSO, M.L.L. Review of the areal extent and the volume of the Serra Geral Formation, Paraná Basin, *South America. Pesq Geo* 36(1):49–57, 2009.

GOMES, A.S. & P.M. VASCONCELOS. Geochronology of the Paraná-Etendeka Large Igneous Province. *Earth-Science Reviews*. 220:103716, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103716>.

HORN, B.L.D. *et al. Mapa geológico da Bacia do Paraná*. 2022. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/23037>. Acesso em 05 jun. 2025.

MACHADO, F.B. *et al.* Geochemistry of the northern paraná

Continental Flood Basalt (PCFB) province: Implications for regional chemostratigraphy. *Brazilian Journal of Geology*, v. 48, n. 2, p. 177–199, 2018 <https://doi.org/10.1590/2317-4889201820180098>.

MILLETT, J.M. *et al.* The Rosebank Field, NE Atlantic: Volcanic Characterisation of an Inter-Lava Hydrocarbon Discovery. *Basin Research* 33: 2883–2913, 2021a. <https://doi.org/10.1111/bre.12585>

MILLETT, J.M. *et al.* Volcanic facies architecture of early bimodal volcanism of the NW Deccan Traps: Volcanic reservoirs of the Raageshwari Deep Gas Field, Barmer Basin, India. *Basin Research*, v. 33, n. 6, p. 3348–3377, 2021b. <https://doi.org/10.1111/bre.12605>

NARDY A.J.R., MACHADO F.B., OLIVEIRA M.A.F. As rochas vulcânicas mesozóicas ácidas da Bacia do Paraná: litoestratigrafia e considerações geoquímico-estratigráficas. *Revista Brasileira de Geociências*, 38(1):178-195, 2008. <https://doi.org/10.25249/0375-7536.2008381178195>

PEATE, D. W. *The Parana-Etendeka Province*. 1997. Department of Earth Sciences, The Open University, Milton Keynes, United Kingdom. 217 p.

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

ROSSETTI, L.M.M. *et al.* 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2017.05.008>.

ROSSETTI, L.M.M. *et al.* Subsurface Geology of the Paraná-Etendeka Large Igneous Province: Implications to Province Stratigraphy and CO₂ Storage. *Basin Research*, v. 37, n. 3, 22 maio 2025. <https://doi.org/10.1111/bre.70038>