

# PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DAS ROCHAS ULTRAMÁFICAS NA REGIÃO DE VILA RICA-MT, CRÁTON AMAZÔNICO

Palavras-Chave: ROCHAS ULTRAMÁFICAS, LITOGEOQUÍMICA, PETROGRAFIA

**Autores:**

**Isabella Gobbo Rangel Fernandes, IG – UNICAMP**

**Maria Eduarda Teodoro Mistro, IG – UNICAMP**

**Prof. Dr. Wagner da Silva Amaral (orientador), IG – UNICAMP**

---

## INTRODUÇÃO:

Com a produção de superligas metálicas, indústria química e fabricação de baterias, o cobalto (Co) e o níquel (Ni) são considerados minerais estratégicos e classificados como metais de transição siderófilos, assim como manganês (Mn) e ferro (Fe) (Williams-Jones, 2022; McLennan e Taylor 2001). Por se apresentar em quantidades pequenas na crosta terrestre, para concentrar esses metais em quantidades anômalas e de interesse econômico, é necessário a atuação de processos como diferenciação magmática, atividades hidrotermais e intemperismo químico. É observado, que na escala mineral esses metais podem estar associados a sulfetos (e.g., pirita –  $\text{FeS}_2$ ) e sulfoarsenatos (e.g., cobaltita –  $\text{CoAsS}$ ) (Hazen *et al.*, 2017).

No extremo nordeste do Estado do Mato Grosso, nos arredores do município de Vila Rica (Figura 1), foram descritas rochas ultramáficas e máficas do Complexo Santa do Araguaia, o qual se insere no Domínio Rio Maria (Alves *et al.*, 2010; Vasquez e Rosa Costa, 2008; Santos, 2003). Essas rochas ocorrem como intrusões no embasamento constituído por ortogneisses, e concentram teores anômalos de cromo, cobalto, níquel e ferro. Sendo assim, esta pesquisa teve como objetivo a caracterização petrográfica e litogeoquímica, buscando identificar a paragênese mineral e a composição dos minerais de minérios, além de classificar os litotipos investigados.

## METODOLOGIA:

Para atingir os objetivos e realizar o estudo proposto, foram realizadas as seguintes etapas:

### 2.1 Trabalhos em laboratório

Na etapa do laboratório foram realizados: i) análise petrográfica por meio da microscopia óptica convencional a fim de caracterizar a paragênese mineral; ii) análise da química mineral (semiquantitativa) a partir da microscopia de varredura eletrônica (MEV) com o intuito de caracterizar as fases sulfetadas e óxidas associadas com Co, Mn e Ni; iii) fluorescência de raios-X e ICP-MS para avaliação do teor dos minérios e classificação das rochas com relação ao seu ambiente de formação.

## 2.2 Trabalhos de Gabinete

Com os resultados das etapas citadas anteriormente, foram usados os *softwares* *GSDkit* e *IoGas* para a plotagem e construção de diagramas com os dados obtidos das análises de FRX. Em seguida, realizou-se a interpretação dos dados, visando definir a paragênese mineral e classificar os distintos litotipos. Ainda, buscou-se por caracterizar as ocorrências metálicas da área de estudo e as concentrações de minerais sulfetados, juntamente com a compreensão de sua gênese.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO:

### 3.3 Microscopia

Para a microscopia óptica convencional foram descritas sete amostras de rochas máficas e ultramáficas (Figura 2). Como características petrográficas gerais dominantes nas rochas, foram observadas: textura inequigranular (Figura 2A), contatos irregulares entre os grãos e percolação de fluidos hidrotermais entre as fraturas (Figura 2B), além de fenocristais de hornblenda e clinopiroxênio em algumas das amostras (Figuras 2C e 2D). Em relação a paragênese, algumas das amostras apresentaram paragênese composta majoritariamente por clinopiroxênio, plagioclásio e hornblenda. Enquanto nas ultramáficas foi observado uma paragênese constituída por olivina, ortopiroxênio e clinopiroxênio. As descrições petrográficas possibilitaram a caracterização da paragênese e classificação prévia das amostras (Tabela 1).

**Tabela 1.** Lâminas descritas com suas respectivas paragêneses minerais e classificação da rocha.

Lâminas	Paragênese Mineral	Classificação da Rocha
VR-18A	Hbl + Ap + Pl	Piroxênio hornblendito
VR-19	Hbl + Act + Pl	Hornblenda gabro
VR-11	Opx + Cpx + Ol	Websterito
VR-14	Hbl + Opx + Cpx	Hornblenda piroxênio
VR-15B	Ol + Opx + Cpx	Olivina gabronorito
VR-3B	Pl + Hbl + Cpx + Opx	Gabronorito
VR-2A	Hbl + Opx + Cpx + Pl	Piroxênio hornblenda gabro

Por meio da microscopia eletrônica de varredura (MEV), duas amostras foram analisadas: VR-02A e VR-18. Em ambas, foram identificadas pirita com inclusões de calcopirita e pentlandita (Figura 3). Na primeira (Amostra VR-2A), notou-se a presença de importantes fases sulfetadas como pentlandita, calcopirita e pirita (Figuras 3A e 3B), enquanto na segunda (Amostra VR-18), apenas a presença de calcopirita e pirita foram observadas (Figura 3C e 3D). A cobaltita foi encontrada em apenas uma amostra VR-2A, contudo apenas uma pequena.

### 3.4 Fluorescência de Raios-X

A análise da fluorescência de raios-X se concentrou em quatro elementos maiores principais: SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO e MgO. Assim, foi observado uma variação de 51,99 a 48,44 g/100g para SiO<sub>2</sub> e de 12,84 a 8,62 g/100g para Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Para o MnO e MgO, os resultados variaram de 0,213 a 0,172 g/100g e 22,05 a 11,39 g/100g. Foi observado que as amostras estudadas são majoritariamente uma variação de rochas ultramáficas e gabróicas.

A FRX possibilitou a construção de diagramas para melhor classificar as rochas estudadas (Figura 4). No primeiro diagrama é distinguido rochas cumuláticas de rochas não cumuláticas a partir do número de magnésio (Mg#) vs. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Rochas ultramáficas cumuláticas contém alta concentração de Mg, Cr, e Ni e baixa concentração de Al e Ti, o que condiz com as amostras VR-02, VR-14 e VR-15 (Figura 4A). O segundo diagrama é uma alternativa para o primeiro diagrama, onde usa-se a razão das massas molares Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> vs. Mg#. Assim, além do observado no diagrama anterior, nota-se que as amostras VR-19A e VR-3A, podem ser consideradas não cumulática e máfica cumulática, respectivamente (Figura 4B).

## CONCLUSÕES:

A fim de caracterizar essas ocorrências, as amostras VR-2A, VR-19, VR-3B, VR-14 e VR-15B foram classificadas como variações de rochas gabróicas, sendo elas: hornblenda gabro, gabro\_norito, hornblenda piroxênito e piroxênio hornblenda gabro. A amostra VR-11 foi denominada como websterito e, devido à composição predominante de hornblenda na amostra VR-19, obteve-se um hornblendito.

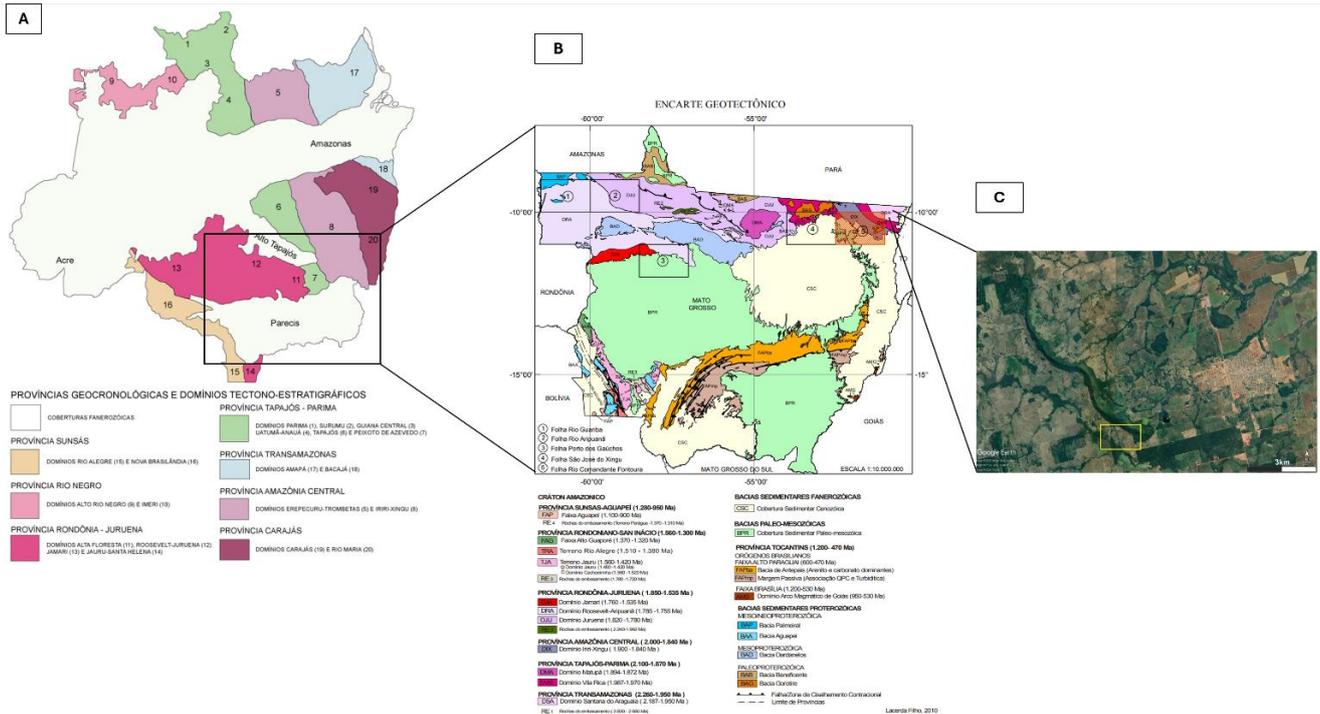
Ainda, com a construção de diagramas geoquímico concluiu-se que as amostras VR-02, VR-14 e VR-15 correspondem a rochas ultramáficas cumuláticas enquanto, as amostras VR-19A e VR-3A, indicam rochas não cumuláticas e máfica cumuláticas, respectivamente. Vale ressaltar que, estudos de geoquímica de elementos traços estão sendo conduzidos para avaliação dos teores de outras fases metálicas para um melhor entendimento do significado geológico dessas amostras.

---

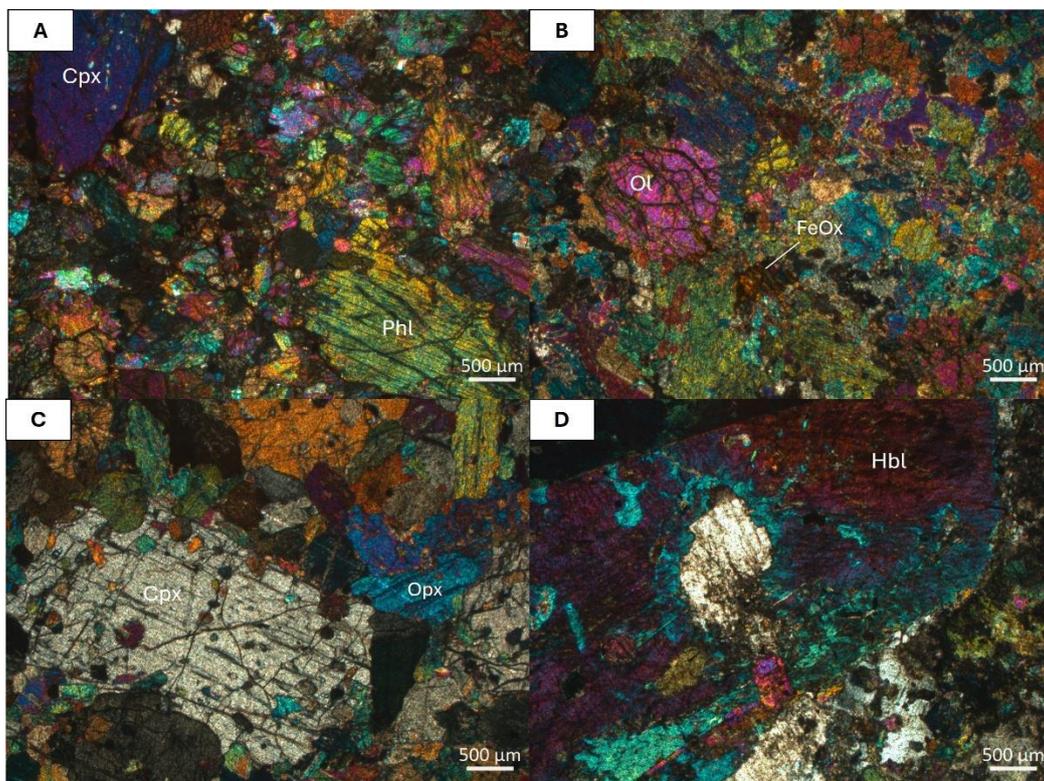
## BIBLIOGRAFIA

- ALVES, C. L., SABÓIA, A. M., MARTINS, E. G., & STROPPER, J. L. 2010. **Geologia e Recursos Minerais das Folhas São José do Xingu–SC. 22-YA e Rio Comandante Fontoura–SC. 22-YB**. Escala 1: 250.000. Goiânia: CPRM. Programa Geologia do Brasil (PGB). Levantamentos Geológicos Básicos. 120p.
- BARNES, S. J. (2023). **Lithogeochemistry in exploration for intrusion-hosted magmatic Ni–Cu–Co deposits**. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 23(1), geochem2022-025.
- CUNHA, B. C. C. *et al.* Geologia. in: BRASiL. Departamento nacional da Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. **Folha SC.22 Tocantins: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro, 1981. p.21-196. (Levantamento de Recursos naturais, 22).
- HAZEN, R.M., Hystad, G., Golden, J.J., Hummer, D.R., Liu, C., Downs, R.T., Morrison, S. M., Ralph, J., Grew, E.S., 2017. **Cobalt mineral ecology**. *American Mineralogist*, 102:108–116.
- LE MAITRE, R. W., STRECKEISEN, A., ZANETTIN, B., LE BASS, M. J., BONIN, B., BATEMAN, P., BELLINI, G., DUDEK, A., EFREMOVA, S., KELLER J., LAMEYRE, J., SABINE, P. A., SCHMID, R., SORENSEN, H., WOOLLEY, A. R. (eds) 2002. **Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms**. Cambridge University Press, 254 p.
- MCLENNAN, S.M., Taylor, S.R., Hemming, S.R., 2001. **Composition, differentiation, and evolution of continental crust: constraints from sedimentary rocks and heat flow**. In: Brown, M., Rushmer, T. (Eds.), *Evolution and Differentiation of the Continental Crust*. Cambridge Univ. Press, New York in press.
- SANTOS, J. O. S. **Geotectônica dos escudos da Guiana e Brasil Central**. 2003. in: BIZZI, L. A., SCHOBENHAUS C, VIDOTTI R.M., GONÇALVES J.H. (eds.) *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil*. texto, mapas e SIG. Brasília: CPRM, 2003. il. p.169-226
- VASQUEZ, M. L.; ROSA-COSTA, L. 2008. **Geologia e recursos minerais do Estado do Pará: texto explicativo do mapa geológico e de recursos minerais do estado do Pará**. Belém: CPRM, 2008. 328p. il. color. escala 1:1.000.000. Programa Geologia do Brasil (PGB).
- VASYUKOVA, O. V., Williams-Jones, A.E., 2022. **Constraints on the Genesis of Cobalt Deposits: Part II. Applications to Natural Systems**. *Economic Geology*, 117:529–544.

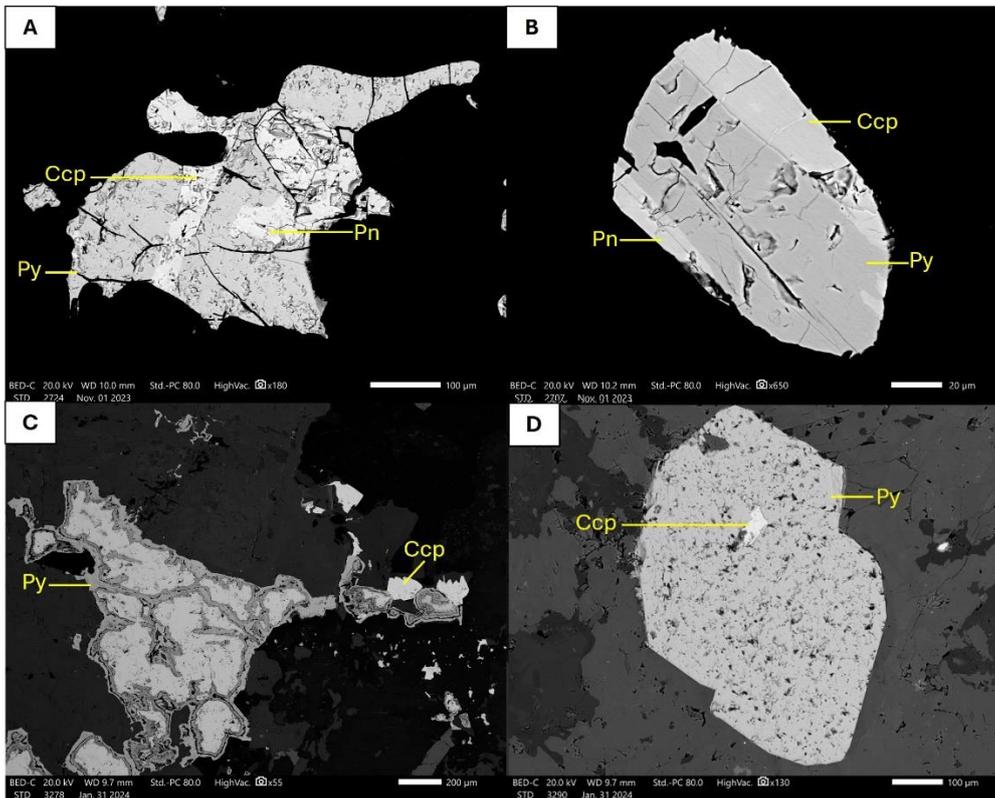
# ANEXOS



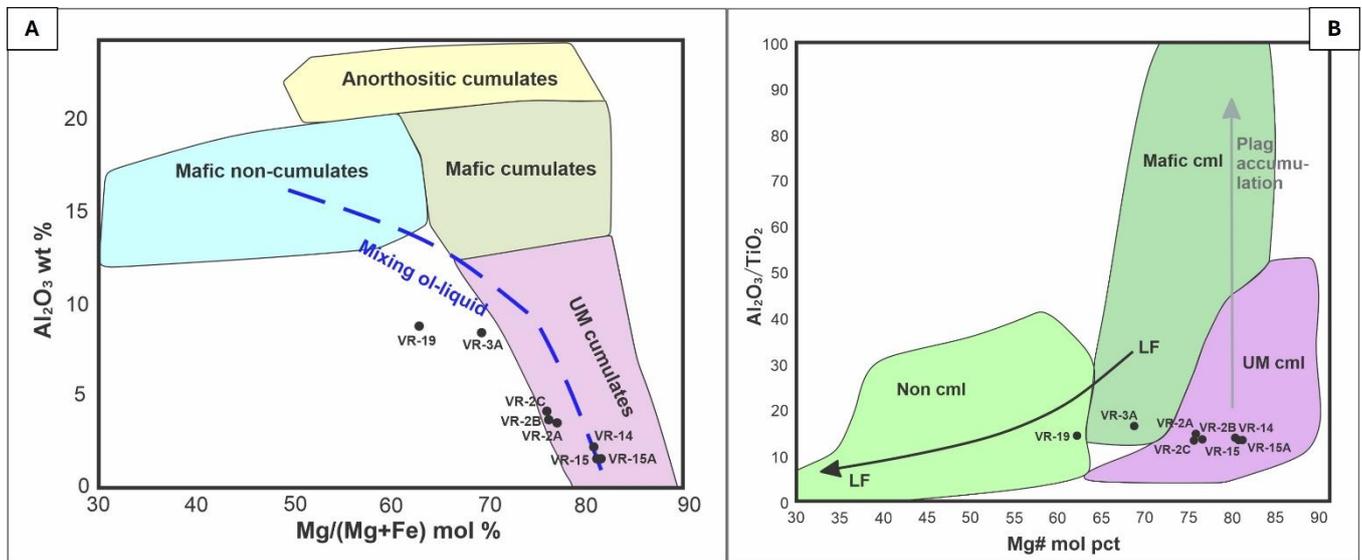
**Figura 1: A)** Províncias geológicas compartimentadas em domínios tectono-estratigráficos do Cráton Amazônico (Reis *et al.*, 2006). **B)** Contexto geotectônico do Cráton Amazônico (Lacerda Filho *et al.*, 2010). **C)** Em Detalhe, quadrado amarelo representa a localização das ocorrências das rochas portadoras de cobalto, níquel e manganês (Adaptado de Google Earth, 2022).



**Figura 2: Fotomicrografias das rochas analisadas. A)** Textura inequigranular e contato irregular entre os grãos. Presença de clinopiroxênio e flogopita (amostra VR-14). **B)** Grãos de olivina fraturados pela percolação de fluido hidrotermal de óxido ferro (amostra VR-15B). **C)** Fenocristal de clinopiroxênio com textura poiquilítica (amostra VR-14). **D)** Fenocristais de hornblenda em uma matriz constituída por hornblenda, apatita e plagioclásio (amostra VR-18A).



**Figura 3:** Fotomicrografias das rochas analisadas com microscopia eletrônica de varredura (MEV). **A e B)** Grãos de pirita (Py) com inclusões de calcopirita (Ccp) e pentlandita (Pn) (amostra VR-2A). **C e D)** Grãos de pirita (Py) com inclusões de calcopirita (Ccp) (amostra VR-18A).



**Figura 4: A)** Gráfico geoquímico com plots para distinguir rochas ultramáficas (UM), rochas máficas cumuláticas e não cumuláticas. Tem-se  $Al_2O_3$  vs. #Mg ( $MgO/[MgO + FeO]$ ). **B)** Gráfico geoquímico com plots para distinguir rochas UM e máficas cumuláticas de máficas não cumuláticas. Usou-se  $Al_2O_3/TiO_2$  vs. #Mg. Ambos os gráficos foram modificados de Barnes, 2023.