



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 664

**MAPEAMENTO GEOQUÍMICO DE BAIXA DENSIDADE POR
SEDIMENTOS DE CORRENTE EM RORAIMA: DEFINIÇÃO
DE VALORES DE REFERÊNCIA (BACKGROUND/BASELINE
GEOQUÍMICO) E ABORDAGENS POR ÍNDICES
AMBIENTAIS E ANÁLISE MULTIVARIADA**

Dissertação apresentada por:

ANDRÉS FERNANDO GALINDO BARÓN

Orientador: Prof. Dr. VINICIUS TAVARES KUTTER (UFPA)

Coorientador: Prof. Dr. EDUARDO DUARTE MARQUES (SGB)

BELÉM – PARÁ

2025

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará Gerada automaticamente pelo
módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

G156m Galindo Barón, Andrés Fernando

Mapeamento geoquímico de baixa densidade por sedimentos de corrente em Roraima: definição de valores de referência (background/baseline geoquímico) e abordagens por índices ambientais e análise multivariada / Andrés Fernando Galindo Barón. — 2025.

xxi, 149 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Vinicius Tavares Kütter

Coorientador(a): Prof. Dr. Eduardo Duarte Marques

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Belém, 2025.

1. Baseline/background geoquímico. 2. Bacia Amazônica. 3. Associações geoquímicas. 4. Uso e cobertura do solo. 5. Índices ambientais.. I. Título.

CDD 551.909811



Universidade Federal do Pará
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**MAPEAMENTO GEOQUÍMICO DE BAIXA DENSIDADE
POR SEDIMENTOS DE CORRENTE EM RORAIMA:
DEFINIÇÃO DE VALORES DE REFERÊNCIA
(BACKGROUND/BASELINE GEOQUÍMICO) E
ABORDAGENS POR ÍNDICES AMBIENTAIS E ANÁLISE
MULTIVARIADA**

Dissertação apresentada por

ANDRÉS FERNANDO GALINDO BARÓN

Como requisito parcial à obtenção de Grau de Mestre em Ciências na Área de
GEOLOGIA e Linha de Pesquisa Geologia Marinha e Costeira

Data de Aprovação: 17 / 01 / 2025

Banca Examinadora:

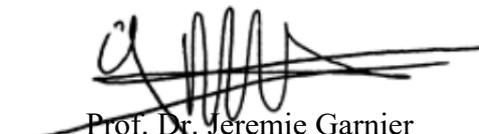

Prof. Dr. Vinicius Tavares Kütter
(Orientador-UFPA)

Documento assinado digitalmente

gov.br

GABRIEL SOARES DE ALMEIDA
Data: 17/01/2025 16:16:39-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Gabriel Soares de Almeida
(Membro - ITV)


Prof. Dr. Jeremie Garnier
(Membro - UnB)

*Este trabalho é dedicado aos meus
pais e irmãos, meus primeiros
e eternos amigos.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por estar próximo de mim em cada pessoa que me ajudou nesta vida. Tenho uma dívida eterna com meus pais, Blanca e Epimênio, por me darem a possibilidade de ser uma pessoa melhor a cada dia. Não foram poucos os desafios que enfrentei, mas, graças à minha família, cada um deles foi mais fácil de superar. Espero poder contribuir com o mundo e com suas vidas, assim como vocês fizeram por mim.

Também quero expressar minha gratidão a todas as pessoas do Instituto de Geociências e, em especial, ao Programa de Pós-graduação (PPGG), pelos excelentes seres humanos que encontrei e que sempre me ofereceram sua ajuda. A Cleida, Joice, Débora e Glenda, que desde o início estiveram prontas para me apoiar.

À professora Aline, pelos conselhos que me ajudaram não apenas na parte técnica, mas também durante todo este processo. Aos professores Vinicius Kutter e Eduardo Marques, por me derem a oportunidade de aprender e crescer em um ambiente tão acolhedor, cheio de paciência e companheirismo. Mais do que meus orientadores, sempre os senti como amigos. Trabalhar com vocês foi uma experiência que levarei com muito carinho no coração. Na minha vida, haverá um antes e depois de vocês. Também muito obrigado Gabriel Soares de Almeida pelas dicas e recomendações que aportou neste trabalho.

Este estudo não poderia ter sido realizado sem a contribuição do Serviço Geológico do Brasil (SGB) e a importante colaboração de pesquisadores como Aurélio Freitas e José Marmos.

Agradeço a cada um dos pesquisadores que, direta ou indiretamente, constroem ciência para entender melhor nosso mundo. Teria sido impossível chegar a esses resultados sem suas contribuições. Sinto-me muito feliz por ter conhecido tantas pessoas que são referência neste campo e espero, no futuro, continuar encontrando seres humanos tão incríveis, que dedicam seu tempo a construir um mundo melhor para todos. Espero ter a sabedoria que cada um de vocês demonstrou ao enfrentar os desafios que a vida lhes propôs. Vocês sempre serão minha inspiração para me tornar a melhor versão de mim.

Sempre me senti em casa graças às pessoas maravilhosas que conheci no Brasil. Sempre lembrarei com carinho de como foi encontrar rostos amigos nos corredores da universidade. Obrigado pelo apoio, Sebastián, Sergio, Julio, Laura e Carolina, pela acolhida, Wendy e Kike, pela fraternidade, Laura, Julián, Brenda, Andrea, Catalina e Alejandra.

Agradeço também às pessoas dentro e fora da universidade que me permitiram viver o sonho de conhecer outras realidades, me oferecendo uma nova perspectiva positiva do mundo e quebrando meus paradigmas. De verdade, obrigado por estarem comigo nos meus dias de glória e nas minhas batalhas: Ana, Vitoria, Lorena, Emanuel, Marcial, Jackson, Robi, Rebeca, Alan, Maria e todos os amigos que esta experiência me permitiu conhecer.

Este trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES). Código de financiamento 001.

*“O tempo é como um rio
que arrasta rapidamente
tudo o que nasce”
Marco Aurelio
Sapere Aude*

RESUMO

Os sedimentos de corrente fornecem informações importantes sobre a distribuição de elementos químicos nas bacias hidrográficas, seja como resultado do intemperismo químico das rochas ou pela influência de atividades humanas. No Estado de Roraima, a crescente preocupação com os impactos da mineração e da agricultura impulsionam a necessidade de definir um baseline geoquímico. O baseline permite diferenciar as concentrações de elementos de origem natural daquelas influenciadas por atividades antropogênicas. Esta análise é essencial para avaliar com precisão os impactos ambientais e monitorar futuras alterações na geoquímica regional, em conformidade com os elementos estipulados na resolução Conama 454/2012 (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb e Zn). Com esse objetivo, foi utilizada a base de dados do projeto "Levantamento Geoquímico de Baixa Densidade no Estado de Roraima", com amostras coletadas entre 2009 e 2013. As coletas foram realizadas de maneira sincrônica durante o mesmo período de precipitação, evitando assim erros decorrentes da sazonalidade. A área de estudo abrange 106.369,051 km², distribuída em 429 microbacias. Os sedimentos ativos de corrente foram coletados pelo SGB de acordo com o manual técnico da Área de Geoquímica v.5.0. Nos locais de coleta, foram registradas as coordenadas, e o material foi peneirado para obter a fração silte e argila. A amostragem foi realizada de forma composta em uma faixa de aproximadamente 100 m ao longo da drenagem a montante do acesso. O protocolo dos métodos analíticos incluiu a secagem das amostras a 60°C, peneiramento com malha <80 mesh e enviadas ao laboratório da SGS GEOSOL LTDA para análises químicas. Em laboratório, foram submetidas a digestão com água régia (HNO₃ + 3HCl) e em seguida analisados 53 elementos químicos (Ag, Al, As, Au, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, F, Fe, Ga, Ge, Hf, Hg, In, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Pb, Pd, Pt, Rb, Re, S, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Ta, Te, Th, Ti, U, V, W, Y, Zn e Zr) via ICP-OES e ICP-MS. A análise exploratória dos dados utilizou estatística descritiva, gráficos e tabelas de contingência para permitir a escolha de técnicas não paramétricas de estatística uni, bi e multivariada. Além disso, foram empregados métodos modernos para a determinação de valores de Baseline geoquímico, como mMAD, TIF e percentis (98, 95, 90, 75). As anomalias encontradas nos mapas unielementares, baseados nos limites do Baseline, são explicadas pelas associações multielementares determinadas pela análise fatorial confirmatória. Esta revelou seis associações principais que explicam a distribuição dos elementos químicos e sua relação com diversos processos geológicos. O Fator 1 (20,60% Variância do sistema) agrupa elementos como Ba, Cs, Rb, Sr e Zn, relacionados com rochas ígneas diferenciadas,

graníticas, pegmatíticas e processos hidrotermais vinculados ao domínio Surumu. O Fator 2 (15,76%) destaca elementos de terras raras e actínídeos (Ce, La, Th, U, Y), concentrados em minerais acessórios como monazita e apatita, associados ao magmatismo do Cinturão Ígneo Orocaima. O Fator 3 (13,90%) identifica uma associação entre Mn, Nb, Ti e Fe com magmatismo toleítico na Suíte Avanavero e depósitos aluviais. O Fator 4 (11,68%) engloba elementos típicos de rochas máficas e ultramáficas, como Co, Cr, Cu, Ni e V, presentes em basaltos e gabros Mesoproterozóico. O Fator 5 (7,51%) relaciona elementos como Al, Ga, Pb e Zn com processos de intemperismo e formação de minerais secundários em ambientes saprolíticos e aluviais. O Fator 6 (6,01%) associa Sc, Sn e Nb com intrusões graníticas e depósitos de placer vinculados ao magmatismo e tectônica das SLIP Uatumã e o cinturão ígneo Orocaima. A avaliação da qualidade ambiental utilizando índices geoquímicos e ambientais mostrou que o Estado apresenta enriquecimento significativo, maioritariamente ligado à geologia. A interpretação dos resultados destaca a interação entre a geologia regional e os processos tectono-magmáticos na distribuição dos elementos analisados. Da mesma forma, foram detectadas zonas anômalas com potencial para investigações direcionadas, especialmente em áreas impactadas por atividades humanas e modificações no uso do solo.

Palavras-chave: *baseline/background* geoquímico; bacia Amazônica; associações geoquímicas; uso e cobertura do solo; índices ambientais.

ABSTRACT

Stream sediments provide essential information on the distribution of chemical elements in river basins, whether because of rock weathering or the influence of human activities. In the State of Roraima, growing concerns about the impacts of mining and agriculture drive the need to define a geochemical baseline. This baseline allows distinguishing natural element concentrations from those influenced by anthropogenic activities. Such an analysis is crucial for accurately assessing environmental impacts and monitoring future changes in regional geochemistry, in accordance with the elements stipulated in CONAMA Resolution 454/2012 (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, and Zn). For this purpose, data from the "Low-Density Geochemical Survey in the State of Roraima" project were used, with samples collected between 2009 and 2013. Sampling was carried out synchronously during the same precipitation period to avoid errors due to seasonality. The study area covers 106,369.051 km², distributed across 429 micro-basins. Active stream sediments were collected by the SGB following the technical manual of the Geochemistry Area v.5.0. At each sampling site, coordinates were recorded, and the material was sieved to obtain the silt and clay fraction. The samples were collected in a composite manner over an approximately 100-meter stretch along the drainage upstream of the access point. The analytical methods protocol included drying the samples at 60°C, sieving them through a <80-mesh screen, and sending them to the SGS GEOSOL LTDA laboratory for chemical analysis. In the laboratory, the samples underwent digestion with aqua regia (HNO₃ + 3HCl) and were subsequently analyzed for 53 chemical elements (Ag, Al, As, Au, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, F, Fe, Ga, Ge, Hf, Hg, In, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Pb, Pd, Pt, Rb, Re, S, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Ta, Te, Th, Ti, U, V, W, Y, Zn, and Zr) using ICP-OES and ICP-MS. Exploratory data analysis employed descriptive statistics, graphs, and contingency tables to support the selection of non-parametric univariate, bivariate, and multivariate statistical techniques. Additionally, modern methods were applied to determine geochemical baseline values, including mMAD, TIF, and percentiles (98, 95, 90, 75). Anomalies identified in the single-element maps, based on the geochemical baseline thresholds, are explained by multielement associations determined through confirmatory factor analysis. This analysis revealed six main associations that explain the distribution of chemical elements and their relationship with various geological processes. Factor 1 (20.60% of variance): Includes elements such as Ba, Cs, Rb, Sr, and Zn, associated with differentiated igneous rocks, granites, pegmatites, and hydrothermal processes linked to the Surumu domain. Factor 2 (15.76%) Highlights rare earth

elements and actinides (Ce, La, Th, U, Y), concentrated in accessory minerals such as monazite and apatite, associated with the magmatism of the Orocaima Igneous Belt. Factor 3 (13.90%) Identifies an association of Mn, Nb, Ti, and Fe with tholeiitic magmatism in the Avanavero Suite and alluvial deposits. Factor 4 (11.68%) Comprises elements typical of mafic and ultramafic rocks, such as Co, Cr, Cu, Ni, and V, present in Mesoproterozoic basalts and gabbros. Factor 5 (7.51%) Relates elements like Al, Ga, Pb, and Zn to weathering processes and the formation of secondary minerals in saprolitic and alluvial environments. Factor 6 (6.01%) Associates Sc, Sn, and Nb with granite intrusions and placer deposits related to the magmatism and tectonics of the Uatumã SLIP and the Orocaima Igneous Belt. The environmental quality assessment using geochemical and environmental indices indicated that the region exhibits significant enrichment, mainly related to geology. The interpretation of results highlights the interaction between regional geology and tectono-magmatic processes in the distribution of analyzed elements. Additionally, anomalous zones with potential for targeted investigations were identified, particularly in areas impacted by human activities and land-use changes.

Keywords: geochemical baseline; Amazon basin; geochemical associations; land use and land cover; environmental indices.