



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

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 483

**PETROGRAFIA, GEOQUÍMICA E ASSINATURA ISOTÓPICA
DE Pb DE FORMAÇÕES FERRÍFERAS ASSOCIADAS À
GÊNESE DAS CAVERNAS DA SERRA SUL, CARAJÁS - PA**

Dissertação apresentada por:

ERICA DA SOLIDADE CABRAL

Orientador: Prof. Dr. Marco Antonio Galarza Toro (UFPA)

Coorientador: Prof. Dr. Joel Buenano Macambira (UFPA)

BELÉM
2016

Dados Internacionais de Catalogação de Publicação (CIP)
Biblioteca do Instituto de Geociências/SIBI/UFPA

Cabral, Erica da Solidade, 1990-

Petrografia, geoquímica e assinatura isotópica de Pb de formações ferríferas associadas à gênese das cavernas da Serra Sul, Carajás - PA / Erica da Solidade Cabral. – 2016.

75 f. : il. ; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientador: Marco Antonio Galarza Toro

Coorientador: Joel Buenano Macambira

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2016.

1. Petrologia – Carajás, Serra dos (PA). 2. Espeleologia - Carajás, Serra dos (PA). 3. Geoquímica - Carajás, Serra dos (PA). 4. Minérios de ferro - Carajás, Serra dos (PA). 5. Chumbo - Isótopos. I. Título.

CDD 22. ed. 552.098115



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

**PETROGRAFIA, GEOQUÍMICA E ASSINATURA ISOTÓPICA
DE Pb DE FORMAÇÕES FERRÍFERAS ASSOCIADAS À
GÊNESE DAS CAVERNAS DA SERRA SUL, CARAJÁS - PA**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR

ERICA DA SOLIDADE CABRAL

**Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de
GEOQUÍMICA E PETROLOGIA.**

Data de Aprovação: 17 /06 / 2016

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Marco Antonio Galarza Toro
Orientador-UFPA

Prof. Dr. Cesar Ulisses Vieira Verissimo
Membro-UFC

Prof. Dr. Jean Michel Lafon
Membro-UFPA

*Aos meus pais: Eurico Moraes Cabral
e Patrícia da Solidade Cabral*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que me deu forças e sabedoria para concluir o mestrado e me sustentou nos momentos difíceis fazendo meu fardo ficar mais leve. A ti Senhor seja dada toda honra e glória.

Aos meus pais que sempre me apoiaram, que são minha base, que confiaram nos meus sonhos, me mantiveram de carinho, amor, paciência e compreensão. A eles sou grata pelo que hoje sou.

À Universidade Federal do Pará (UFPA), ao Instituto de Geociências e ao Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geociências, pelo fornecimento de infraestrutura.

Ao meu amigo, namorado e geólogo Alessandro Braga por me apoiar, suportar, ser paciente, carinhoso, amigo e por sempre estar ao meu lado dividindo as alegrias e tristezas. Além de partilhar conhecimento.

Ao meu orientador Dr Marco Antônio Galarza Toro, pela paciência e conhecimento transmitido.

Ao meu coorientador Dr Joel Buenano Macambira, por toda dedicação e esforço para que fosse possível a conclusão desse mestrado.

Aos meus amigos geólogos com quem morei durante os 2 anos de mestrado, que quero levar para minha vida toda, Soraia da Silva Abreu, Marcela da Silva Santos e Diwhemerson Barbosa de Souza.

Aos meus amigos procavianos Leandro da Conceição Carvalho pelas horas de conversas e discursões sobre cavernas e a Adrian de Miranda Gomes pelo apoio e incentivo.

Ao convênio VALE/UFPA/FADESP que forneceu o suporte financeiro para campos, análises e bolsa de estudo, além de todo o suporte para que esse trabalho fosse concluído.

Ao PROCNAV (Projeto Cavidades). Ao coordenador do projeto Antônio Emídio Santos Junior.

À gestora Daniele Gonçalves, por todo empenho e dedicação.

Aos geólogos Vale, Rafael Guimarães e Carlos Teles pelo auxílio em campo.

Ao Laboratório Pará-Iso e aos técnicos, pelo suporte na aquisição de dados

À todos que não foram citados e que de alguma forma contribuíram para que eu chegasse até aqui, à aqueles que me incentivaram quando pensei que não conseguiria e me fizeram descobrir que eu seria capaz. Muito obrigada!

RESUMO

Os estudos geológicos realizados em cavernas hospedadas em formações ferríferas bandadas (banded iron formation – BIF's), do tipo jaspilito, que é o protominério de ferro do Corpo S11D, Serra Sul, demonstraram que essas rochas encontram-se em diferentes estágios de alteração intempérica, permitindo classificá-las em três grupos: 1) Jaspilito Não Alterado, 2) Jaspilito Alterado e 3) Minério de Ferro. As amostras de Jaspilito Não Alterado foram coletadas em afloramentos correlacionáveis as cavernas, as de Jaspilito Alterado foram coletadas dentro das cavernas e em furos de sonda correlacionáveis estratigraficamente à caverna S11D-0035, assim como as amostras de minério de ferro. Essa correlação estratigráfica foi estabelecida a partir da construção de seção geológica, que permitiu determinar a provável configuração litológica inicial da caverna e seu nível estratigráfico. Foi concluído que a caverna encontra-se na porção inferior da Formação Carajás, próximo ao contato com a Formação Parauapebas. O trabalho tem por objetivo compreender a origem e evolução das cavernas e relacionar temporalmente sua gênese com a formação do minério de ferro e do relevo. Além de identificar os diferentes litotipos presentes e analisar petrograficamente os minerais primários e neoformado. Com a análise geoquímica das rochas foi possível quantificar a remoção da sílica e o enriquecimento do ferro nos diferentes estágios de alteração do perfil intempérico, desde a rocha fresca até o minério de ferro. Já as análises isotópicas permitiram observar o comportamento dos isótopos de Pb. As observações petrográficas demonstraram que o Jaspilito Não Alterado é caracterizado pela alternância de bandas centimétricas de minerais opacos, compostas por hematita-1, magnetita e subordinadamente maghemita e bandas silicosas formadas por *chert* e quartzo granular. Enquanto o Jaspilito Alterado é composto predominantemente por hematita-2 e subordinadamente por hematita-1 e magnetita, o bandamento está ausente, pois a banda de minerais silicosos, que é a mais solúvel, foi quase que em sua totalidade lixiviada, o que acarretou a geração de cavidades de dissolução. Além disso, também foram observadas fases minerais neo-formadas, goethita e hematita-3. As análises químicas das rochas dos diferentes grupos corroboraram as evidências petrográficas. Nas amostras de Jaspilito Não Alterado o teor de SiO₂ varia de 40,0 a 44,5% e o teor de Fe₂O_{3T} de 53,9 a 58,3%, sendo que os demais óxidos presentes, Al₂O₃, MnO, P₂O₅, TiO₂, CaO, MgO, Na₂O, K₂O, possuem teores muito baixos, bem como nos demais tipos. Diferentemente, as rochas classificadas como Jaspilito Alterado possuem maior concentração de ferro (de 87,9 a 97,1%) e menor teor de SiO₂ (de 0,3 a 1,1%). O Minério de Ferro, classificado como representando o estágio mais avançado de alteração, possui teor elevado de Fe₂O_{3T}, variando de 96,2 a 98,3% e baixas quantidades de

SiO₂, de 0,4 a 1,0%. Nos três grupos de rocha foi observado um baixo conteúdo de ETR, sendo que da base para o topo do perfil intempérico é observado um aumento na quantidade desses elementos, de 6 para 18 ppm. A razão La/Eu varia de 1,3 a 2,2 ppm no Jaspilito Não Alterado, de 0,2 a 1,6 ppm no Jaspilito Alterado e de 0,1 a 0,8 ppm no Minério de Ferro. Essa diminuição no minério de ferro pode ocorrer devido ao comportamento menos móvel dos ETRP em relação aos ETRL nos estágios mais avançados de intemperismo. A anomalia positiva de Eu ($\text{Eu}/\text{Eu}^* > 1$), típica das BIF's foi observada em todas as amostras dos diferentes grupos de alteração. As análises isotópicas de Pb no Jaspilito Não Alterado indicam razões $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ variando de 15,247 a 26,111, de 15,292 a 16,300 e de 34,596 a 37,614 respectivamente. Os valores sugerem que essas rochas são pouco radiogênicas e possuem assinatura isotópica semelhante às rochas da crosta superior. No Jaspilito Alterado as razões isotópicas $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ variam de 16,827 a 23,244, a $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ de 15,635 a 16,279, e $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ de 34,715 a 38,811. No Minério de Ferro as razões $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ variam de 15,702 a 22,845, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ de 15,369 a 16,221, e $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ de 35,169 a 38,467. Portanto, não foram observadas mudanças na assinatura isotópica ao longo do perfil de alteração, que indicassem eventos metamórficos, reativações tectônicas ou percolação de fluidos hidrotermais que perturbassem o geocronômetro Pb-Pb e acrescentassem material (Pb) oriundo de outras fontes, entretanto os processos intempéricos podem ter ocasionado remobilização de Pb nas amostras, mostrado pela sua grande dispersão no diagrama toriogênico. Na gênese e evolução das cavernas, além dos processos químicos, o relevo tem papel fundamental, atuando em dois momentos distintos. Primeiramente, facilitando a infiltração e percolação de águas meteóricas, canalizando-as para porções subterrâneas do platô, ocasionando a dissolução da camada silicosa e a formação do minério de ferro, perda de volume da rocha, abatimento das camadas e concomitante formação de cavernas. Em um segundo momento estas cavernas são expostas pelos processos de denudação do relevo que propiciam o recuo das encostas. Portanto, a análise dos processos químicos com o auxílio da petrografia e geoquímica, mostraram que os processos de dissolução e lixiviação são os processos primários na formação das cavernas que atrelados aos processos erosivos propiciam sua evolução. A análise dos processos químicos indica origem comum (intempérica) tanto para as cavernas quanto para o minério de ferro, provavelmente contemporâneos.

Palavras-chave: Estudos geoespeleológicos. Petrografia. Geoquímica. Formação ferrífera bandada. Isótopos de Pb. Carajás.

ABSTRACT

Geospeleological studies in hosted caves in banded iron formation (banded iron formation - BIF's), type jaspilite, which is the iron protore the S11D body, Serra Sul, showed that these rocks are at different stages of weathering, allowing classifies them into three groups: 1) non-altered jaspilite, 2) altered jaspilite and 3) Iron Ore. Samples BIF's were collected both in caves and in correlated drillholes stratigraphically to S11D-0035 cave. This stratigraphic correlation was established from the construction of geological section, which allowed us to determine the likely initial lithological setting of the cave and its stratigraphic level. It was concluded that the cave is in the lower portion of the Carajás formation near the contact with the Parauapebas Formation. Petrographic observations showed that jaspilite is characterized by alternating centimetric bands of opaque mineral composed of hematite-1, magnetite and maghemite and subordinate siliceous bands formed by chert and granular quartz. While the non-altered jaspilite consists predominantly of hematite-2 and subordinately hematite-1 and magnetite, banding is absent because the band of silica minerals, which is more soluble, it was almost in its entirety leached, which led to the generating dissolution cavities. In addition, they also observed neo-formed mineral phases, goethite and hematite-3. The chemical analysis of rocks of different groups corroborate the petrographic evidence. Samples of non-altered jaspilite SiO₂ content ranges from 40.0 to 44.5% and Fe₂O_{3T} content from 53.9 to 58.3%, and the other oxides present, Al₂O₃, MnO, P₂O₅, TiO₂, CaO, MgO, Na₂O, K₂O, have very low levels, as well as in other types. In contrast, the rocks are classified as altered jaspilite higher concentration of iron (from 87.9 to 97.1%) and lower SiO₂ content (0.3 to 1.1%). The iron ore classified as representing the most advanced stage change, has a high content of Fe₂O_{3T}, ranging from 96.2 to 98.3% and low amounts of SiO₂ from 0.4 to 1,0%. In all three groups of rock a low content of ETR was observed and, from bottom to top of the weathering profile is observed an increase in the amount of these elements, from 6 to 18 ppm. The ratio La/Eu ranges from 1.3 to 2.2 ppm non-altered jaspilite, from 0.2 to 1.6 ppm altered Jaspilite and 0,1 to 0,8 ppm Iron Ore. This decrease in iron ore may be due to less mobile behavior of HREE relative to LREE in the advanced stages of weathering. The positive anomaly Eu (Eu/Eu* > 1), typical of the BIF's was observed in all samples from different groups change. The Pb-Pb isotopic analyzes in non-altered jaspilite indicate ²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb ratios ranging from 15.247 to 26.111, the ratio ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb ranges from 15.292 to 16.300, and the ratio ²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb ranges from 34.596 to 37.614. The figures suggest that these rocks are less radiogenic and have isotopic signature similar to the upper crustal rocks. In jaspilite Changed the isotopic ratios ²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb ranging from 16.827 to 23.244, the

$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ from 15.635 to 16.279, and $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ from 34.715 to 38.811. In Iron Ore the $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ratios ranging from 15.702 to 22.845, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ from 15,369 to 16,221, and $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ from 35,169 to 38,467. Therefore, changes were observed in the isotopic signature over change profile suggesting that there were no metamorphic events, tectonic reactivations, percolation of hydrothermal fluids or any other event that upset the Pb-Pb geochronometer and would add materials (Pb) come from other sources. The genesis and evolution of the caves, in addition to chemical processes, relief plays an important role, acting at two different times. First, facilitating the infiltration and percolation of rainwater and channel them to underground portions of the plateau, causing the dissolution of the siliceous layer and the formation of iron ore, loss of rock volume, reduction of layers and concomitant formation of caves. In a second step these caves are exposed by relief denudation processes that favor the retreat of the slopes. Therefore, the analysis of chemical processes with the help of petrography and geochemistry showed that the dissolution and leaching processes are the primary processes in the formation of caves linked to erosive processes provide its evolution. The analysis of chemical processes indicates common origin (weathering) for both the caves and for iron ore, probably contemporary.

Keywords: Geospeleological studies. Petrography. Geochemistry. BIF. Pb isotopes. Carajás.