



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

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 559

**PETROLOGIA MAGNÉTICA DOS GRANITOIDES
NEOARQUEANOS DA SUÍTE VILA JUSSARA – PROVÍNCIA
CARAJÁS, CRÁTON AMAZÔNICO**

Dissertação apresentada por:

LUAN ALEXANDRE MARTINS DE SOUSA

Orientador: Prof. Dr. Roberto Dall’Agnol (UFPA)

**BELÉM
2019**

**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)

S725p Sousa, Luan Alexandre Martins de
Petrologia magnética dos Granitoides Neoarqueanos da
Suíte Vila Jussara - Província Carajás, Cráton Amazônico /
Luan Alexandre Martins de Sousa. — 2019.
xix,128 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Roberto Dall'Agnol

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação
em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

1. Granitoides neoarqueanos. 2. Petrologia
magnética. 3. Grau de oxidação. 4. Província Carajás.
5. Granitoides ferrosos e magnesianos. I. Título.

CDD 552



Universidade Federal do Pará

Instituto de Geociências

Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica


**PETROLOGIA MAGNÉTICA DOS GRANITOIDES
NEOARQUEANOS DA SUÍTE VILA JUSSARA – PROVÍNCIA
CARAJÁS, CRÁTON AMAZÔNICO**

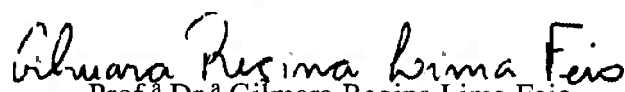
**DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR
LUAN ALEXANDRE MARTINS DE SOUSA**

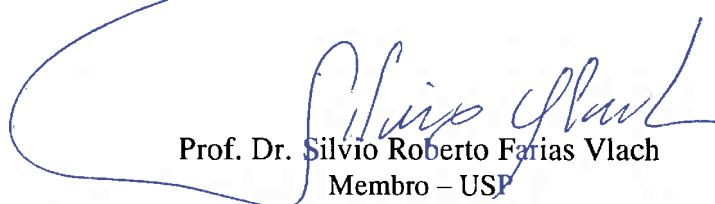
**Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de
GEOQUÍMICA E PETROLOGIA, linha de pesquisa PETROLOGIA E EVOLUÇÃO
CRUSTAL**

Data de Aprovação: 30 / 07 / 2019

Banca Examinadora:


Prof. Dr. Roberto Dall'Agliol
Orientador – UFPA


Prof.^a Dr.^a Gilmara Regina Lima Feio
Membro – UNIFESSPA


Prof. Dr. Silvio Roberto Farias Vlach
Membro – USP

*Dedico esse trabalho aos meus pais, irmãos,
sobrinhos e a minha companheira Luana Santiago*

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Pará, ao Instituto de Geociências, ao Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, por toda sua infraestrutura e apoio de todos os seus integrantes: professores, técnicos e setor administrativo.

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

Ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Geociências da Amazônia/GEOCIAM (Processo N°573733/2008-2) pelo apoio financeiro.

À minha querida mãe (Dianice), por todo amor e por me mostrar que a Educação sempre será o melhor caminho para vencer na vida. Ao meu pai (Francisco) por ensinar grandes lições sobre a vida. Aos meus irmãos (Sean e Yanka), por fazerem da minha infância um lugar cheio de boas recordações. E especialmente, minha amável companheira de vida, Luana Santiago por todo amor, carinho e compreensão ao longo desses últimos anos. E aos meus amigos Bruno Eduardo e Aline Kelly por todo suporte nessa vida, sendo minha família em muitas situações em Belém.

Ao meu orientador, professor Roberto Dall’Agnol por ter concedido a oportunidade de realizar um estágio no GEOCIAM que foi minha porta de entrada para o mundo da pesquisa, serei eternamente grato. Obrigado pela amizade, pela sua humanidade, pela sua preocupação e prontidão em orientar-me nessa longa jornada. Foram dois anos de bastante crescimento profissional e grandes reflexões sobre a Educação, Ciência e sobre a vida. Você me ajudou a ver o mundo da pesquisa com outro olhar, um olhar mais humano e preocupado na formação do indivíduo e não somente em produto final. Tenho orgulho de ter tido você como meu orientador.

Aos professores que compõem a banca examinadora. Ao Dr. Silvio Vlach que prontamente aceitou o convite de participar e contribuir com seu conhecimento. E à Dra. Gilmar Lima por disponibilizar o seu tempo e experiência em granitoides neoarqueanos de Carajás e, cabe destacar que a professora foi responsável por abrir meus olhos para pesquisa no que diz respeito aos granitoides de Carajás.

Ao Professor Davis Carvalho e aos Doutorandos Fernando Fernandes e Ingrid Cunha pelo auxílio na etapa de Campo e por todo aprendizado, bem como às discussões realizadas ao longo deste trabalho.

Aos meus queridos amigos e colegas de grupo (GPPG), Mayara Fraeda, Ingrid Cunha e o Caio Mesquita. A participação de vocês foi fundamental para a concretização deste trabalho.

Ao professor Dr. Cláudio Nery Lamarão e o apoio técnico de Paula Corrêa e da Msc. Gisele T. Marques do Laboratório de Microanálises do IG-UFGPA.

E a todos meus caros companheiros pós-graduandos do PPGG: Amanda, Eduardo, Arthur, Hiago, Williamy, Danilo, Alexandre, Gabriel, Aline, Daniella, Gabriela, Luana, Luciano, Diw, Bhrenno, Jean, Denise, Beatriz, Vanisse, Renata e Aílton. O contato que tive com vocês foi muito construtivo para mim.

A minha eterna gratidão a todos!

Mas a ampliação de nossos horizontes pode ser um tiro no pé, por nos fazer ficar mais confusos e inativos do que antes. Com tantos cenários e possibilidades, a quais deveríamos prestar atenção? O mundo está mudando com uma inigualável rapidez e estamos inundados por quantidades impossíveis de dados, de ideias, de promessas e de ameaças. Humanos renunciam à autoridade em favor do livre mercado, da sabedoria das multidões e de algoritmos externos em parte porque não conseguem lidar com o dilúvio de dados. No passado, a censura funcionava bloqueando o fluxo de informação. No século XXI ela o faz inundando as pessoas de informação irrelevante. Não sabemos mais a que prestar atenção e frequentemente passamos o tempo investigando e debatendo questões secundárias. Em tempos antigos ter poder significava ter acesso a dados. Atualmente ter poder significa saber o que ignorar. Assim, de tudo que acontece em nosso mundo caótico, no que devemos nos concentrar?

*Trecho extraído do Livro intitulado “Homo Deus:
Uma breve história do amanhã” do historiador Yuval Noah
Harari*

RESUMO

A Suíte Vila Jussara (SVJ) compreende diversos stocks graníticos de idade neoarqueana (~ 2,75-2,73 Ga), intrusivos em unidades mesoarqueanas e distribuídos nas porções central e norte do Domínio Sapucaia na Província Carajás. Os granitoides da SVJ são constituídos por granitos ferrosos reduzidos e oxidados, bem como por granitos magnesianos. Petrograficamente, foram distinguidas quatro variedades de rochas na SVJ: (1) Biotita-hornblenda monzogranito (BHMzG); (2) Biotita-hornblenda tonalito (BHTnl); (3) Biotita monzogranito (BMzG); (4) Hornblenda-biotita granodiorito (HBGd). O estudo de suscetibilidade magnética (SM) nas rochas da SVJ mostrou valores bastante variáveis (SM; $0,14 \times 10^{-3}$ a $30,13 \times 10^{-3}$), distribuídos em três populações (A, B e C). Com base no comportamento magnético e nos óxidos de Fe e Ti revelaram que os BHMzG se divide em dois subgrupos: o primeiro com SM muito baixa a baixa (SM $0,14 \times 10^{-3}$ e $0,81 \times 10^{-3}$; populações A e B₁) marcado pela dominância de ilmenita com coroas de titanita, bem como a presença subordinada de magnetita e de cristais de pirita, estes últimos evidenciados somente na subpopulação B₁; o segundo exibe valores moderados a altos de SM ($1,91 \times 10^{-3}$ a $6,02 \times 10^{-3}$; subpopulações B₃ e C₁), sendo caracterizado pela dominância de magnetita sobre ilmenita. Os BHTnl apresentam valores moderados de SM ($0,85 \times 10^{-3}$ a $1,36 \times 10^{-3}$; subpopulação B₂, com exceção de uma única amostra com alto valor de SM pertencente a subpopulação C₂) e apresentam dominância de pirita, secundada por magnetita que é mais abundante que ilmenita. Os BMzG e HBGd se caracterizam por valores de SM relativamente mais elevados (respectivamente, SM $2,14 \times 10^{-3}$ a $6,01 \times 10^{-3}$ e SM $6,02 \times 10^{-3}$ a $25,0 \times 10^{-3}$; subpopulações B₃, C₁ e C₂) e ambos são caracterizados pela dominância de magnetita sobre pirita, com raras ocorrências de ilmenita. Em termos geoquímicos, o primeiro subgrupo dos BHMzG exibe sílica > 70 % e afinidade com os granitos ferrosos reduzidos; o segundo apresenta sílica variável entre 63 e 70% e é similar aos granitos ferrosos oxidados. Todos os demais grupos apresentam características de granitos magnesianos com a sílica crescendo dos BHTnl para os HBGd e BMzG. As composições de biotita variam na passagem dos BHMzG do subgrupo 1 para o subgrupo 2 e destes para os granitos magnesianos e são compatíveis com aquelas da série Ilmenita para transicionais entre séries Ilmenita e Magnetita e, finalmente, série Magnetita. Neste mesmo sentido, as composições de anfibólio indicam baixa, moderada e transição entre moderada e alta fugacidade de oxigênio. As quatro variedades da SVJ se formaram em diferentes graus de oxidação, sendo o primeiro subgrupo dos BHMzG formado em condições reduzidas (<FMQ) ou moderadamente reduzidas

(coincidente ou ligeiramente acima de FMQ); o segundo grupo dos BHMzG se formou em condições moderadamente oxidantes (entre NNO e NNO-0,5); finalmente os granitos magnesianos se formaram em condições oxidantes com fO_2 comparativamente mais elevada (entre NNO e NNO+1). A magnetita se mostra em geral parcialmente martitizada e a pirita está intensamente alterada para goethita, podendo formar pseudomorfos. Além das quatro variedades descritas, ocorrem localmente biotita-hornblenda sienogranitos a monzogranitos equigranulares médios que exibem paradoxalmente alto valor de SM e conteúdo modal elevado de magnetita, ao lado de razões $FeOt/(FeOt+MgO)$ em rocha total, biotita e anfibólio extremamente elevadas, indicativas de formação em condições redutoras. Admite-se que estes granitos se formaram em tais condições, porém não se conseguiu explicar os altos conteúdos modais de magnetita e a elevada SM. A comparação da SVJ com granitoides neoarqueanos afins da Província Carajás, revela que o primeiro subgrupo dos BHMzG exhibe forte semelhança com os granitos da Suíte Planalto, do Complexo Granítico Estrela, e com os granitos de caráter reduzido dos granitoides da região de Vila União, enquanto que as demais variedades se aproximam mais dos granitos ferrosos oxidados e magnesianos de Vila União. Os granitoides da SVJ diferem daqueles do pluton neoarqueano Matok, do Cinturão Limpopo na África do Sul, por serem os últimos mais acentuadamente magnesianos e mais fortemente oxidados.

Palavras-chave: Granitoides neoarqueanos. Petrologia magnética. Grau de oxidação. Província Carajás. Granitoides ferrosos e magnesianos.

ABSTRACT

The Vila Jussara suite (VJs) comprises several granitic stocks of Neoproterozoic age (~ 2.75-2.73 Ga), intrusive in Mesoproterozoic units and distributed in the central and northern portions of the Sapucaia Domain in Carajás Province. The VJs granitoids consist of reduced and oxidized ferrous granites as well as magnesian granites. Petrographically, four types of rocks were distinguished in the VJs: (1) Biotite-hornblende monzogranite (BHMzG); (2) Biotite-hornblende tonalite (BHTnl); (3) biotite monzogranite (BMzG); (4) Hornblende-biotite granodiorite (HBGd). The study of magnetic susceptibility (MS) in VJs rocks showed very variable values (MS, 0.14×10^{-3} to 30.13×10^{-3}), distributed in three populations (A, B and C). Based on the magnetic behavior and the Fe and Ti oxides, BHMzG was divided into two subgroups: the first with very low to low MS (MS 0.14×10^{-3} and 0.81×10^{-3} ; populations A and B₁) marked by the dominance of ilmenite with titanite crowns, as well as the subordinate presence of magnetite and pyrite crystals, the latter evidenced only in subpopulation B₁; the second shows moderate to high values of MS (1.91×10^{-3} to 6.02×10^{-3} , subpopulations B₃ and C₁), being characterized by the dominance of magnetite over ilmenite. The BHTnl presented moderate values of MS (0.85×10^{-3} to 1.36×10^{-3} , subpopulation B₂, with the exception of a single sample with high value of MS belonging to subpopulation C₂) and present dominance of pyrite, seconded by magnetite which is more abundant than ilmenite. BMzG and HBGd are characterized by relatively higher MS values (MS, respectively, 2.14×10^{-3} to 6.01×10^{-3} and MS 6.02×10^{-3} to 25.0×10^{-3} , subpopulations B₃, C₁ and C₂) and both are characterized by the dominance of magnetite over pyrite, with rare occurrences of ilmenite. In geochemical terms, the first subgroup of BHMzG exhibits silica >70% and affinity with the reduced ferrous granites; the second presents silica varying between 63 and 70% and is similar to oxidized ferrous granites. All other groups show magnesian granite characteristics with increasing BHTnl silica for HBGd and BMzG. The biotite compositions vary in the passage of BHMzG from subgroup 1 to subgroup 2 and from these to magnesian granites and are compatible with those from the Ilmenite series for transitional between Ilmenite and Magnetite series and, finally, Magnetite series. In this same sense, amphibole compositions indicate low, moderate and transition between moderate and high oxygen fugacity. The four VJs strains formed in different degrees of oxidation, the first subgroup of BHMzG formed under reduced (<FMQ) or moderately reduced (coincident or slightly above FMQ) conditions; the second group of BHMzG was formed under moderately oxidizing conditions (between NNO and NNO-0.5); finally the magnesian granites formed under oxidizing conditions with comparatively higher

fO_2 (between NNO and NNO + 1). The magnetite is usually partially martitized and the pyrite is intensely altered to goethite, forming pseudomorphs. In addition to the four described varieties, biotite-hornblende sienogranites occur to medium equigranular monzogranites that paradoxically exhibit high MS value and high magnetite modal content, along with FeOt/(FeOt+MgO) ratios in extremely high total rock, biotite and amphibole, indicative of training under reducing conditions. It is assumed that these granites formed under such conditions, but it was not possible to explain the high modal contents of magnetite and the high MS. The comparison of the VJs with related Neoproterozoic granitoids from the Carajás Province reveals that the first subgroup of BHMzG exhibits strong similarity with the granites of the Planalto suite, the Estrela granitic complex and the reduced granites of the granitoids of the Vila União region, while that the other varieties are closer to the oxidized ferroan and magnesian granites of Vila União. The VJs granitoids differ from those of the Matok Neoproterozoic pluton, of the Limpopo Belt in South Africa, because they are the latter more markedly magnesian and more strongly oxidized.

Keywords: Neoproterozoic granitoids. Magnetic petrology. Degree of oxidation. Carajás Province. Ferroan and Magnesian granitoids.