



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE GEOLOGIA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – TCC

**GEOLOGIA DO GRANITO CHAVAL – DOMÍNIO MÉDIO
COREAÚ: ESTADO DA ARTE SOBRE O CONHECIMENTO.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado por:

NOME: Mozaniel Clemetino dos Santos

**Orientador: Prof. Dr. Francisco de Assis Matos de Abreu
(2018/UFPA)**

BELÉM – PA

2018



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE GEOLOGIA**

**GEOLOGIA DO GRANITO CHAVAL – DOMÍNIO MÉDIO
COREAÚ: ESTADO DA ARTE SOBRE O CONHECIMENTO.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado por:

NOME: Mozaniel Clemetino dos Santos

**Orientador: Prof. Dr. Francisco de Assis Matos de Abreu
(2018/UFPA)**

BELÉM – PA

2018

**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)**

C626g Clementino dos Santos, Mozaniel.
Geologia do Granito Chaval – Domínio Médio Coreau: estado da arte sobre o conhecimento / Mozaniel
Clementino dos Santos. — 2018.
xv, 57 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Francisco de Assis Matos de Abreu
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de Geologia, Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.

1. Granito Chaval. 2. Domínio Médio Coreau. 3. Estado da Arte. 4. Aerogamaespectrometria. 5.
Diferenças composicionais. I. Título.

CDD 553.52097134



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE GEOLOGIA**

**GEOLOGIA DO GRANITO CHAVAL – DOMÍNIO MÉDIO
COREAÚ: ESTADO DA ARTE SOBRE O CONHECIMENTO.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado por:

MOZANIEL CLEMENTINO DOS SANTOS

Como requisito para à obtenção do Grau de Bacharel em Geologia

Data da Aprovação: / /2018

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Francisco de Assis Matos de Abreu
(Orientador – UFPA)

Prof. Dr.^a Rosemery da Silva Nascimento
(Membro - UFPA)

Aos meus pais, Antônio e
Januária.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho. No entanto, alguns nomes merecem serem citados aqui.

Ao professor Dr. Francisco de Assis Matos de Abreu, por ter aceitado me orientar para que este trabalho se concretizasse. Também por sua paciência e disposição de sempre se fazer presente nos momentos em que as dúvidas surgiram. Também a todo corpo acadêmico do curso de geologia da UFPA que de alguma forma contribuíram para meu conhecimento geológico.

Aos meus pais Antônio e Januária, que sempre fizeram o possível para que eu pudesse me dedicar aos estudos, e me apoiaram de diferentes formas. Também, aos meus irmãos e irmãs, sobrinhos e sobrinhas, e minha tina Fatinha.

Ao investimento por parte do CNPq para realização de intercâmbio, o que era, dentro da minha realidade, um sonho, que se tornou realidade. Este foi um período que me fez crescer muito além do campo profissional, me fez crescer como pessoa.

Aos amigos que fiz durante a graduação e que levarei para a vida Alan Silva, Allan Lima, Lívia, Ronny, Tuanny, Jonhatan e Rosany. Obrigado pelos momentos de risadas, mas também pelos momentos de reflexão. Pelas trocas de informações e nos ajudarmos dentro e fora do meio acadêmico. Também a Beatriz por pelo apoio e ajuda com banco de dados sobre o Granito Chaval.

“Algumas pessoas lêem "Guerra e Paz" e acham que é um simples romance. Outras pessoas lêem uma embalagem de chiclete e desvendam os segredos do universo...”
- Lex Luthor

RESUMO

O Granito Chaval tem sido estudado ao longo das últimas décadas como mostram várias publicações, as quais, individualmente, tratam de diferentes tópicos de sua geologia. Dessa constatação surgiu a ideia da compilação de parte dessas obras com o objetivo de estabelecer o estado da arte sobre o conhecimento desse corpo ao que se adicionaram novas informações a partir da análise de produtos de sensoriamento remoto. A pesquisa bibliográfica aos mais variados tipos de publicações, a partir da internet, teve como ferramenta o *software* Adobe Reader para a filtragem dos trabalhos encontrados. Uma contribuição para melhorar os aspectos cartográficos do corpo utilizou a análise de imagem aerogamaespectrométrica, infelizmente restrita, por insuficiência de dados, à porção do granito que ocorre na Folha Chaval. O Granito Chaval é assim, uma rocha que aflora principalmente em forma de *inselbergs*, cuja classificação petrográfica, o situa como granito, com extensão para os campos do monzogranito, sienito e metamonzogranito, com duas texturas principais, ígnea (a oeste) e milonítica (a leste). O Chaval é resultado da cristalização de um magma Neoproterozóico, o qual encerra uma grande população de zircões herdados de litotipos Paleo a Mesoproterozóico, bem como registra a influência de evento termal que levou a abertura do sistema mineral do corpo no Paleozóico. A organização espacial no qual o corpo se estabelece é o da geometria-cinemática do domínio Médio Coreáú, marcada por uma configuração de leques de rochas imbricadas com vergência para o cráton São Luis. As interpretações sobre dados e informações compiladas nesse trabalho reafirmam as observações apresentadas nos estudos já realizados. No entanto elas sugerem a possibilidade de um detalhamento cartográfico, definindo a espacialidade de texturas, estruturas tectogênicas, diferenças composicionais e sítios mais destacados de influência de protólitos quando da formação do magma gerador do corpo, o que pode trazer contribuições mais robustas ao conhecimento sobre o Granito Chaval e a sua importância no contexto da evolução geotectônica do Domínio Médio Coreáú.

Palavras-chave: Granito Chaval. Domínio Médio Coreáú. Estado da Arte. Aerogamaespectrometria. Diferenças composicionais.

ABSTRACT

The Chaval granite has been studied over the last decades as shown by several publications, which individually deal with different topics of their geology. From this finding came the idea of compiling some of these works with the objective of establishing the state of the art about the knowledge of this body to which new information was added from the analysis of remote sensing products. The bibliographical research to the most varied types of publications, from the internet, had as a tool the Adobe Reader software for the filtering of the works found. A contribution to improve the cartographic aspects of the body used the aerogammaspectrometry image analysis, unfortunately restricted, due to insufficient data, to the portion of the granite that occurs in Chaval Sheet. The Chaval granite is thus a rock that emerges mainly in the form of inselbergs, whose petrographic classification, situates it as granite, extending to the fields of monzogranite, syenite and metamonzogranite, with two main textures, igneous (to the west) and milonítica (to the east). The Chaval is the result of the crystallization of a Neoproterozoic magma, which encloses a large population of zircons inherited from Paleo to Mesoproterozoic lithotypes, as well as records the influence of thermal event that led to the opening of the body mineral system in the Paleozoic. The spatial organization in which the body is established is that of the kinematics geometry of the Médio Coreaú dominion, marked by a configuration of rocks fans imbricated with vergence for the São Luis craton. The interpretations of data and information compiled in this paper reaffirm the observations presented in the studies already carried out. However, they suggest the possibility of a cartographic detailing, defining the spatiality of textures, tectonic structures, compositional differences and more prominent sites of influence of protoliths when the body's generating magma is formed, which can bring more robust contributions to the knowledge about the Chaval granite and its importance in the context of geotectonic evolution of the Médio Coreaú Domain.

Key-words: Chaval granite. Médio Coreaú Domain. State of art. Aerogammaspectrometry. Compositional differences.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1.1 – Mapa de localização do Granito Chaval, região NW Ceará e NE do Piauí. Na parte superior da imagem esta a posição dos estados do Ceará e Piauí dentro do território brasileiro. Fonte: Do autor..... 3
- Figura 1.2 – Fluxograma resumindo as seis etapas da metodologia aplicada para a pesquisa de publicações sobre o Granito Chaval, desde as consultas iniciais nos trabalhos relacionados a Província Borborema até os estudos finais que fazem referência direta ao Chaval. Fonte: Do autor.....5
- Figura 1.3 - Fluxograma de processamento de dados de gamaespectrometria. A imagem de contagem total é separada em K, eU e eTh para então ser gerado o mapa de composição ternário RGB, onde o branco indica ocorrência dos três radioelementos e o preto a ausência dos três. Fonte: Baseado no fluxograma de Silva (2014). 6
- Figura 2.1 - Separação da Província Borborema em domínios (Médio Coreaú, Cearense, Rio Grande do Norte, Zona Transversal e Externo) e terrenos tectono-estratigráficos. Fonte: Oliveira (2008). 8
- Figura 2.2 – Mapa do Domínio Médio Coreaú, NW da Província Borborema. Percebe-se a predominância do Complexo Granja e Grupo Martinópole. O Granito Chaval se apresenta no extremo NW deste domínio. Fonte: Adaptado de Hasui (2011). 9
- Figura 3.1 – Folha Buriti dos Lopes (SA.24-Y-C-I) mapeada através Projeto Jaibaras , o Granito Chaval é o corpo de cor marrom em NE do mapa. Fonte: Costa *et al.* (1973)..... 14
- Figura 3.2 – Mapa da Folha Chaval (SA.24-Y-C-II) proposto pelo Projeto Jaibaras, com o Granito Chaval em marrom no região NW do mapa. Fonte: Costa *et al.* (1973).. 15
- Figura 3.3 – Seção geológica esquemática Chaval-Sobral proposta por Goraryeb e Lima (2014) mostrando a relação do Granito Chaval com o Grupo Martinópole, limitado pela zona de cisalhamento Santa Rosa. Fonte: Gorayeb & Lima (2014). 16
- Figura 3.4 – Em A, Folha Fortaleza (SA.24) mapeada através do Programa Geologia do Brasil. Em B, foco no Granito Chaval (em rosa). Fonte: Vasconcelos *et al.* (2004). 17

- Figura 3.5 - Modelo esquemático da seção geológica de Camocim (CE) a Rosário (MA) com base na análise de gravimetria, com Granito Chaval mais a B da seção. Fonte: Jorge (2013). 17
- Figura 3.6 – Mapa geológico da região onde se localiza o Granito Chaval, digitalizado a partir das Folhas Chaval (SA.24-Y-C-II) e Buriti dos Lopes (AS.24-Y-C-I) publicadas no Projeto Jaibaras (1973). A NE têm-se os pontos estudados por Nogueira (2013) e Oliveira (2016), a CO está a região estudada por Lima (1997). 18
- Figura 3.7 – Imagens microscópicas do Granito Chaval. Em A nota-se a matriz granular hipidiomórfica com cristais de microclínio com intercrescimento micropertítico. Em B e C há intercrescimento mimerquítico. Em D ocorrem cristais de quartzo sem recristalização em matriz granular hipidiomórfica. Em E têm-se cristais de biotita subédricos. Por fim, em F percebe-se cristais de titanita formando agregados com a biotita. Fonte: Adaptado de Nogueira (2013). 21
- Figura 3.8 – Imagem das duas feições típicas do Granito Chaval. Em A o Chaval se apresenta com estrutura primária de origem ígnea plutônica, nota-se os megacristais tabulares de álcali feldspato. Já em B este granito se mostra com feições de zoneamento oscilatório, em destaque ocorre álcali feldspato de comportamento frágil-dúctil, levemente deformado. Fonte: Adaptado de Gorayeb & Lima (2014). 22
- Figura 3.9 – Imagens microscópicas do granito Chaval mostrando as fácies biotita metamonzogranito e muscovita metamonzogranito, respectivamente. Em A ocorre quartzo recristalizado, policristalino, de extinção ondulante, agregados microcristalinos. Em B percebe-se a foliação milonítica definida pelos cristais de muscovita orientados. Fonte: Adaptado de Oliveira (2016). 23
- Figura 3.10 – Imagem do Granito Chaval com enclave magmático bordados por biotita e anfibólio, podendo tal fenômeno ser resultado da mistura de magmas basálticos e graníticos. Fonte: Gorayeb & Lima (2014). 25
- Figura 3.11 – Representação gráfica da análise geoquímica do Granito Chaval, onde observa-se a característica cálcio-alcalina desta rocha. Fonte: Aragão (2018). 26
- Figura 3.12 – Granito Chaval com foliação protomilonítica definida por porfiroclastos de K-feldspato no sentido dextral com cisalhamento *strike-slip*. Fonte: Santos *et al.* (2008). 29

- Figura 3.13 – Mapa de domínios estruturais do Granito Chaval proposto por Gorayeb e Lima (2014), com os domínios A e B, e subdomínios B1e B2. Fonte: Gorayeb & Lima (2014)..... 30
- Figura 3.14 – Fotos panorâmicas de afloramentos do Granito Chaval no município de Chaval/PI. Percebe-se o relevo em forma de *inselbergs*. Fonte: Do autor. 31
- Figura 3.15 – Fotos do Granito Chaval dentro dos limites da cidade de Chaval/PI. Em A e B têm-se a ocorrência do sienogranito com fenocristais de plagioclásio. Em C nota-se a coloração acinzentada da rocha, classificada como monzogranito. Em D há ocorrência de veio félsico no sienogranito. Fonte: Do autor. 32
- Figura 3.16 - Carta Cronoestratigráfica mostrando os métodos de datação geocronológicos aplicados no Granito Chaval e as idades encontradas. Fonte: Do autor. 33
- Figura 3.17 – Mapa do Granito Chaval mostrando suas classificações e idades através de dados coletados por diferentes autores através dos anos. Fonte: Do autor..... 34
- Figura 4.1 – Variação nos teores médios de U e Th nas rochas ígneas em relação ao teor de sílica. Fonte: Ribeiro *et al.* (2013). 37
- Figura 4.2 - Mapa de contagem total de radiação gama da Folha Chaval, adaptado do Projeto aerogeofísico Norte do Ceará. A forma do Granito Chaval tem como base o mapeamento das Folhas Buriti dos Lopes e Chaval do Projeto Jaibaras. Fonte: Do autor. 40
- Figura 4.3 - Mapa do teor do radioelemento tório da Folha Chaval, adaptado do Projeto aerogeofísico Norte do Ceará. A forma do Granito Chaval tem como base o mapeamento das Folhas Buriti dos Lopes e Chaval do Projeto Jaibaras. Fonte: Do autor. 41
- Figura 4.4 - Mapa do teor do radioelemento urânio da Folha Chaval, adaptado do Projeto aerogeofísico Norte do Ceará. A forma do Granito Chaval tem como base o mapeamento das Folhas Buriti dos Lopes e Chaval do Projeto Jaibaras. Fonte: Do autor. 42
- Figura 4.5 - Mapa do teor do radioelemento potássio da Folha Chaval, adaptado do Projeto aerogeofísico Norte do Ceará. A forma do Granito Chaval tem como base o mapeamento das Folhas Buriti dos Lopes e Chaval do Projeto Jaibaras. Fonte: Do autor. 43

- Figura 4.6 - Mapa ternário da Folha Chaval, adaptado do Projeto aerogeofísico Norte do Ceará. A Forma do Granito Chaval tem como base o mapeamento das Folhas Buriti dos Lopes e Chaval do Projeto Jaibaras. Fonte: Do autor.....44
- Figura 4.7 - Mapa gamaespectrométrico da razão Th/K da Folha Chaval, adaptado do Projeto aerogeofísico Norte do Ceará. A forma do Granito Chaval tem como base o mapeamento das Folhas Buriti dos Lopes e Chaval do Projeto Jaibaras. Fonte: Do autor.....46
- Figura 4.8 - Mapa gamaespectrométrico da razão U/K da Folha Chaval, adaptado do Projeto aerogeofísico Norte do Ceará. A forma do Granito Chaval tem como base o mapeamento das Folhas Buriti dos Lopes e Chaval do Projeto Jaibaras. Fonte: Do autor.....47
- Figura 4.9 - Mapa gamaespectrométrico da razão U/Th da Folha Chaval, adaptado do Projeto aerogeofísico Norte do Ceará. A forma do Granito Chaval tem como base o mapeamento das Folhas Buriti dos Lopes e Chaval do Projeto Jaibaras. Fonte: Do autor.....48
- Figura 5.1 - Foco nos teores dos radioelementos K e Th, e nas razões U/K e Th/K em parte da região NE do Granito Chaval. Nota-se uma abrupta variação nos teores desses radioelementos, assim como suas razões, podendo tal fenômeno ser um indicador de fonte magmática distinta. Fonte: Do autor.....52

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Tabela de classificação do Granito Chaval segundo os autores citados neste tópico, com suas respectivas mineralogias principais. Fonte: Do autor.	24
Tabela 3.2 – Idades encontradas para o Granito Chaval, com os autores que publicaram os dados e seus respectivos métodos utilizados para tais resultados. Fonte: Do autor.	28
Tabela 4.1 – Variação da concentração média dos radioelementos em rochas e solos na Austrália. Fonte: Ribeiro <i>et al.</i> (2013).....	38

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	iv
AGRADECIMENTOS	v
EPÍGRAFE	vi
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	ix
LISTA DE TABELAS	xiii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 APRESENTAÇÃO	1
1.2 PROBLEMÁTICA DO TRABALHO	1
1.3 OBJETIVOS	2
1.4 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA	2
1.5 METODOLOGIA DO TRABALHO	3
2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	7
2.1 PROVÍNCIA BORBOREMA	7
2.1.1 Domínio Médio Coreaú	7
2.1.1.1 Embasamento	9
2.1.1.2 Grupo Martinópole	9
2.1.1.3 Grupo Ubajara	10
2.1.1.4 Características estruturais e tectônicas do Domínio Médio Coreaú	10
2.1.1.5 Granitogênese no Domínio Médio Coreaú	11
2.1.2 Domínio Ceará Central	12
2.1.3 Domínio Rio Grande do Norte	12
2.1.4 Domínio da Zona Transversal	13
2.1.5 Domínio Externo	13
3 GRANITO CHAVAL: ESTADO DA ARTE	14

3.1	FORMA E OCORRÊNCIA	14
3.2	PETROGRAFIA DO GRANITO CHAVAL	19
3.3	GEOQUÍMICA DO GRANITO CHAVAL	24
3.4	GEOCRONOLOGIA DO GRANITO CHAVAL	26
3.5	GEOLOGIA ESTRUTURAL DO GRANITO CHAVAL	27
3.6	CONSIDERAÇÕES SOBRE O ESTADO DA ARTE DA GEOLOGIA DO GRANITO CHAVAL	30
4	ANÁLISE DO GRANITO CHAVAL POR GAMAESPECTROMETRIA	35
4.1	GAMAESPECTROMETRIA	35
4.2	OCORRÊNCIA DOS RADIOELEMENTOS K, U E TH	35
4.3	GAMAESPECTROMETRIA DO GRANITO CHAVAL	38
4.4	INTERSEÇÃO DO ESTADO DA ARTE DO GRANITO CHAVAL E SUA ANÁLISE GAMAESPECTROMÉTRICA.....	49
5	GRANITO CHAVAL: UMA PROPOSTA INTEGRATIVA - CONCLUSÕES	50
	REFERÊNCIAS	54

INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

O Granito Chaval é um corpo rochoso localizado no contexto geológico do Noroeste da Província Borborema, no Domínio Médio Coreaú, na região limítrofe dos estados do Piauí e Ceará, nas Folhas Buriti dos Lopes e Chaval, o qual vem sendo estudado desde a década de 1970. O grande número de publicações sobre este granito compreende uma variedade de dados e informações, os quais vêm sendo gerados ao longo dos anos.

Neste Trabalho de Conclusão Curso é feito uma apreciação sobre o estado da arte acerca do conhecimento relativo ao Granito Chaval. As informações dizem respeito principalmente à petrografia, geoquímica, geocronologia e geologia estrutural deste corpo. Os dados, sempre que disponibilizado pelos autores, são espacializadas, geograficamente.

Também é empregada neste estudo a análise de imagem de gamaespectrometria, aplicada somente à porção do corpo referente a Folha Chaval, uma vez que não se tem dados da parte oeste do granito. Foi observado o comportamento dos radioelementos K, U e Th, e a partir deles gerado interpretações sobre diferentes aspectos desse corpo.

Assim, nesse trabalho, se faz a integração de informações a partir da análise do estado da arte do conhecimento, bem como da análise de imagens aéreas sobre o Granito Chaval, para assim, chegar a discussão sobre a sua geologia nos campos da ocorrência, petrografia, geoquímica, geocronologia e dados estruturais. Servindo como um compilado do estado da arte sobre o Chaval até a concretização deste trabalho e como base para futuras pesquisas na região em que o granito se encontra.

1.2 PROBLEMÁTICA DO TRABALHO

O mapeamento geológico da área de ocorrência do Granito Chaval foi realizado primeiramente pela CPRM, como parte do Projeto Jaibaras, em 1973. Desde então, muitos estudos foram realizados neste corpo granítico com enfoque em vários aspectos da sua geologia (petrologia, geocronologia, geologia estrutural, entre outros), ensejando uma grande variedade de dados publicados, de cuja pluralidade nasceu a iniciativa de se realizar uma compilação deste conhecimento, assim como o cruzamento destas informações.

Há ainda, uma carência da aplicação de técnicas modernas de mapeamento, como a gamaespectrometria, no estudo do Granito Chaval, para obter novas informações, ou mesmo ratificar os dados geológicos já conhecidos.

1.3 OBJETIVOS

O principal objetivo deste estudo é fazer uma compilação dos dados já publicados sobre o Granito Chaval e associa-los, criando assim, um banco de dados sobre o corpo, ao que se associa uma análise de dados gamaespectrométricos deste granito, na área de cobertura da Folha Chaval.

Os objetivos específicos incluem:

- Pesquisar dados do Granito Chaval na literatura;
- Fazer levantamento sobre a petrografia, geoquímica, geocronologia e geologia estrutural do granito Chaval;
- Cruzar informações publicadas por diferentes autores;
- Fazer levantamento dos mapas do Granito Chaval já publicados;
- Fazer análise gamaespectrométrica do Granito Chaval na Folha homônima.

1.4 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

O Granito Chaval está localizado na porção nordeste do Estado do Ceará – extremo norte do estado do Piauí, dentro das Folhas Chaval e Buriti dos Lopes. Devido a sua grande extensão territorial, este corpo está presente no espaço geográfico de diferentes municípios, sendo estes Chaval, Carneiro, Camurupim, Campos e Bom Princípio do Piauí. A BR-402, um dos principais acessos às áreas de ocorrência do corpo, o recorta transversalmente, na direção E-W.

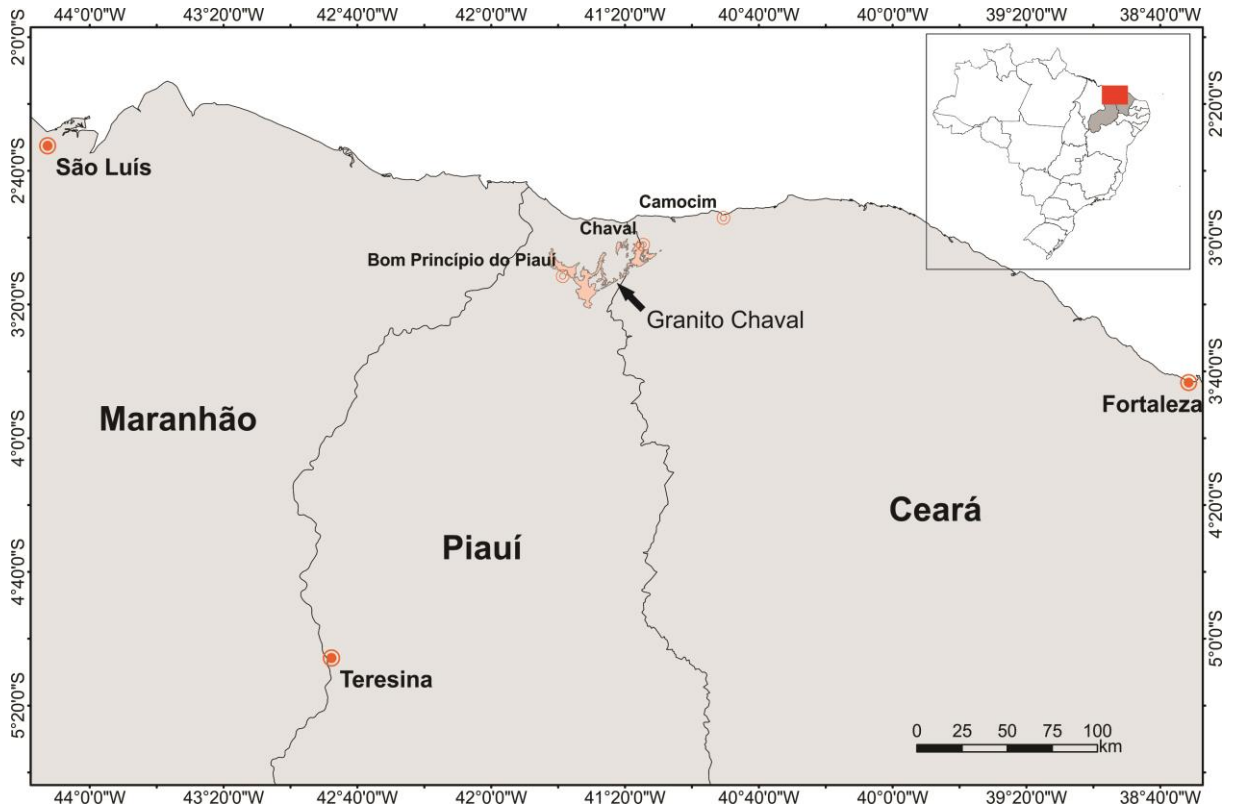


Figura 1.1 – Mapa de localização do Granito Chaval dentro do território brasileiro, com foco no noroeste da região nordeste do Brasil. O granito se encontra na região NW Ceará e NE do Piauí. Fonte: Do autor

1.5 METODOLOGIA DO TRABALHO

Os procedimentos metodológicos utilizados no trabalho foram divididos em duas partes: a pesquisa bibliográfica e sistematização de dados a partir da literatura para levantamento do estado da arte; e uso de dados de sensoriamento remoto para elaboração de mapas.

De acordo com Köche (2011) o objetivo da pesquisa bibliográfica é avançar no conhecimento e analisar as contribuições teóricas existentes sobre um determinado tema. Assim, pode ser utilizada para diferentes fins, entre eles está a função de descrever ou sistematizar o estado da arte, daquele momento, pertinente a um determinado tema ou problema.

Corrêa *et al.* (2013) classifica a revisão bibliográfica em três tipos: narrativa, integrativa e sistemática. Neste trabalho será aplicado o método integrativo. Este método funciona por meio de uma metodologia pré-estabelecida, com critérios de inclusão e exclusão

dos textos analisados, sendo observadas publicações de diversos delineamentos, ocorrendo assim à integração de vários conceitos e resultados.

Dentro desta metodologia, será utilizado aqui o método multicritério proposto por Treinta *et al.* (2014). Neste processo é formada uma base de dados preliminar bruta, sendo esta dos mais variados tipos de publicações (livros, artigos, resumos, entre outros). A partir desta base de dados aplicam-se filtros para chegar a dados convergentes com os objetivos da pesquisa.

Para o levantamento da base de dados bruta foi feito pesquisa tanto em meio digital, como impresso pelo termo “Província Borborema”. A partir destes dados foi aplicado o primeiro filtro, utilizando o *software* Adobe Reader foi feito busca pelo termo “Domínio Médio Coreaú”. Por fim, fez-se pesquisa sobre o Granito Chaval, usando a mesma ferramenta citada anteriormente.

Como resultado deste procedimento foi criado um conjunto de publicações das mais diferentes vertentes (artigos, teses, dissertações, trabalhos de conclusão de curso, entre outros) que sejam focadas diretamente no estudo do Granito Chaval, ou que tenha referências a este de forma secundária.

Finalizada a etapa que foca no estado da arte relativo ao Granito Chaval, foi feito análise de aerogamaespectrometria deste corpo rochoso. As imagens de gamaespectrometria analisadas neste estudo têm como fonte a CPRM, a qual torna público tais imagens por meio do Programa Geologia do Brasil, Projeto Aerogeofísico Norte do Ceará (2009). O levantamento foi feito no Norte do Estado do Ceará. Esta análise se deu através de perfis aeromagnetométrico e aerogamaespectrométricos, sendo as linhas de voo direcionadas segundo N-S e E-W com os respectivos espaços entre as linhas de voo de 0,5 km e 10 km, o qual teve altura de 100 m.

Silva (2014) detalha o processo pós-aquisição dos dados aerogamaespectrométricos. Primeiramente, os valores dos canais dos radioelementos U, Th e K são corrigidos. Então, estes dados são homogeneizados para em seguida serem gerados mapas de cada canal, para então chegar-se ao produto final: o mapa de composição ternário RGB. Neste mapa cada elemento recebe uma cor primária (vermelho, verde e azul), formando um mapa colorido, no qual o número digital de cada pixel varia de acordo com a proporção apresentada dos radioelementos em questão (Fig. 1.3).

O Granito Chaval mapeado no Projeto Jaibaras foi sobreposto aos mapas de imagem gamaespectrométrica. A partir desta junção foram analisadas diferentes questões sobre esta rocha, sendo principalmente a sua composição e forma.

Por fim, foi feito cruzamento do estado da arte do Granito Chaval com as análises de gamaespectrometria, afim de não somente retificar as informações geológicas já conhecidas deste corpo, mas também de levar a novas conclusões e levantar novas discussões.

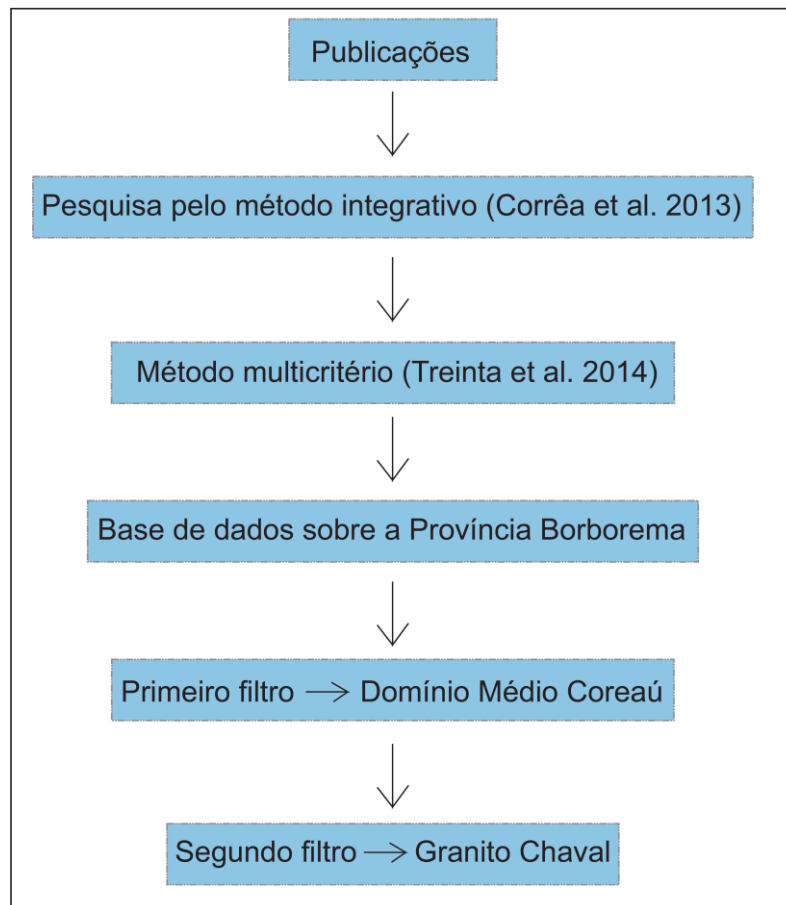


Figura 1.2 – Fluxograma sumarizando as seis etapas da metodologia aplicada para a pesquisa de publicações sobre o Granito Chaval, desde as consultas iniciais nos trabalhos relacionados a Província Borborema até os estudos finais que fazem referência direta ao Chaval. Fonte: Do autor

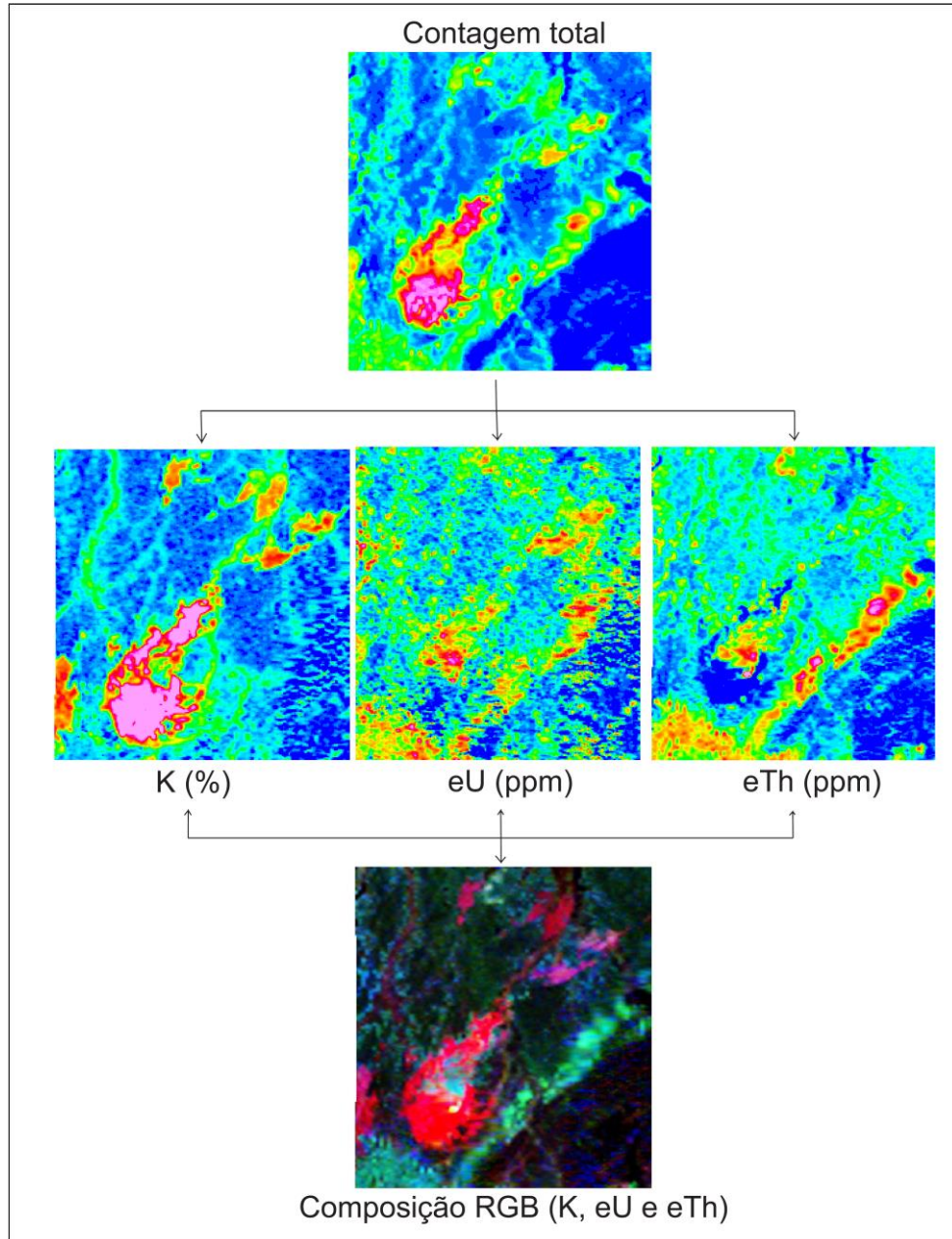


Figura 1.3 - Fluxograma de processamento de dados de gamaespectrometria. A imagem de contagem total é separada em K, eU e eTh para então ser gerado o mapa de composição ternário RGB, onde o branco indica ocorrência dos três radioelementos e o preto a ausência dos três. Fonte: Baseado no fluxograma de Silva (2014).

CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

2.1 PROVÍNCIA BORBOREMA

A Província Borborema (PB) está localizada a nordeste do Brasil. Recobre os territórios dos estados de Alagoas, Ceará, Maranhão, Paraíba, Piauí, Sergipe e parte da Bahia. De acordo com Almeida *et al* (1981) ela coincide com o Cinturão de Dobramento Nordeste, o qual se desenvolveu durante o Ciclo Brasileiro. Para Santos *et al.* (2004) a Província Borborema tem cerca de 450.000 km².

Hasui (2012) afirma que esta província se limita a oeste com a Bacia do Parnaíba, a sul com o Cráton São Francisco, a leste pela Província da Margem Continental Leste e a norte pela Província de Margem Continental Equatorial. Este mesmo autor diz que a Província Borborema é um aglomerado de porções do embasamento, microcontinentes e faixas orogênicas do Arqueano ao Neoproterozóico, separadas por zonas de cisalhamento transcorrente e de empurrão. São as feições transcorrentes mais expressivas, os lineamentos Patos e Pernambuco.

A PB é subdividida em cinco domínios, sendo estes o Domínio Médio Coreaú, Ceará Central, rio Grande do Norte, zonas transversal e externo (Fig. 2.1). De acordo com Peulvast & Betard (2015), essa subdivisão é feita com base nas zonas de cisalhamento, as quais têm um *trend* EW e NE.

2.1.1 Domínio Médio Coreaú

É dentro do contexto do Domínio Médio Coreaú (Fig. 2.2) que se encontra o Granito Chaval. Este Domínio está localizado no extremo NE da PB, a norte limita-se ao Cráton São Luís, a sul estende até o Domínio Ceará Central e a oeste termina junto a Bacia do Parnaíba (Mendizábal 2013). De acordo com Santos *et al.* (2004) o embasamento do Médio Coreaú é formado por gnaisses. Estas formações do embasamento foram, durante a Orogenia Brasileira, intrudidas por granitoides sin e pós-tectônicos. Sobrepostos ao embasamento estão as sequências supracrustais dos grupos Ubajara e Martinópole (ambos Neoproterozóicos).

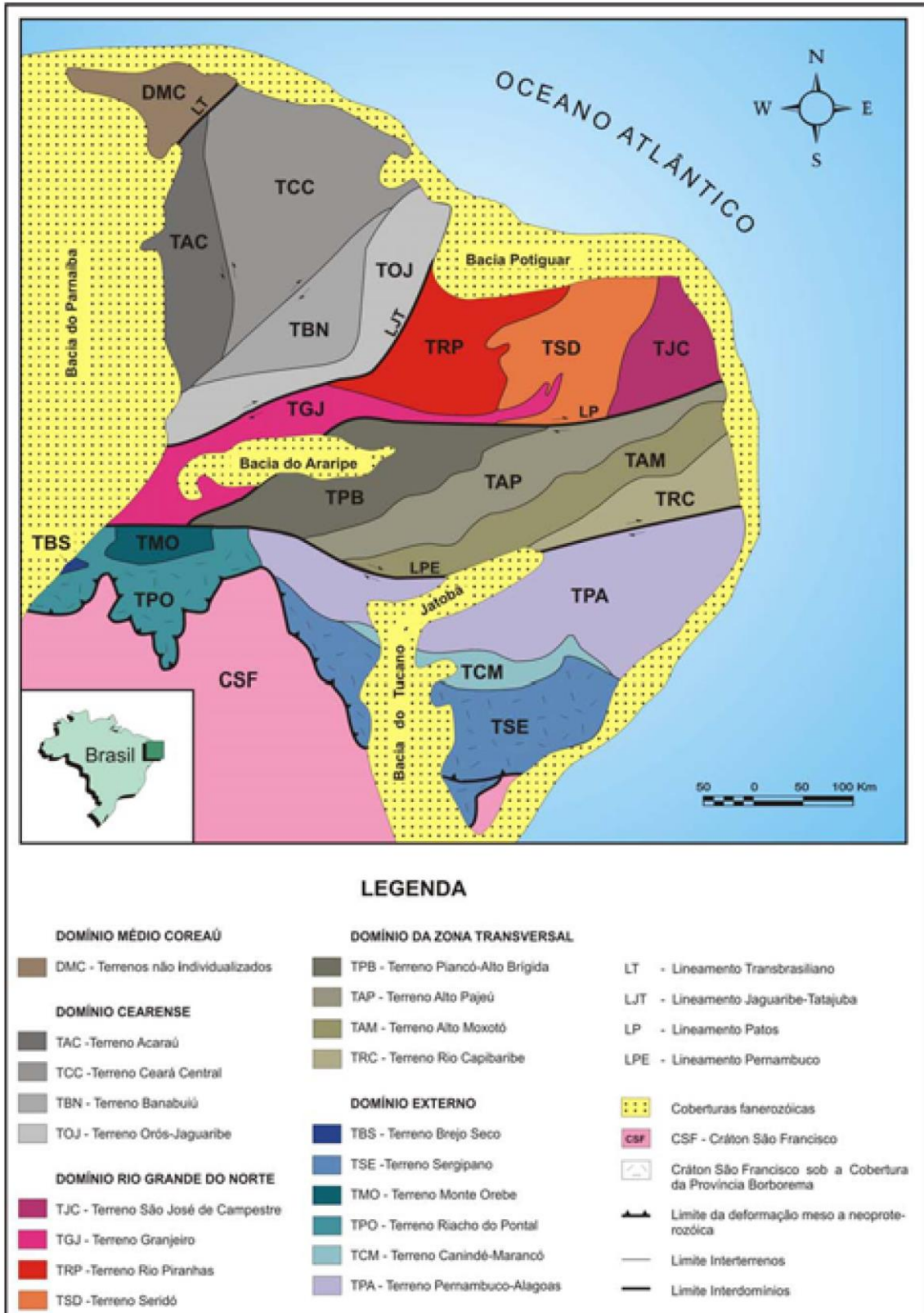


Figura 2.1 - Classificação da Província Borborema em domínios (Médio Coreaú, Cearense, Rio Grande do Norte, Zona Transversal e Externo) e terrenos tectono-estratigráficos. Fonte: Brito Neves (2008).

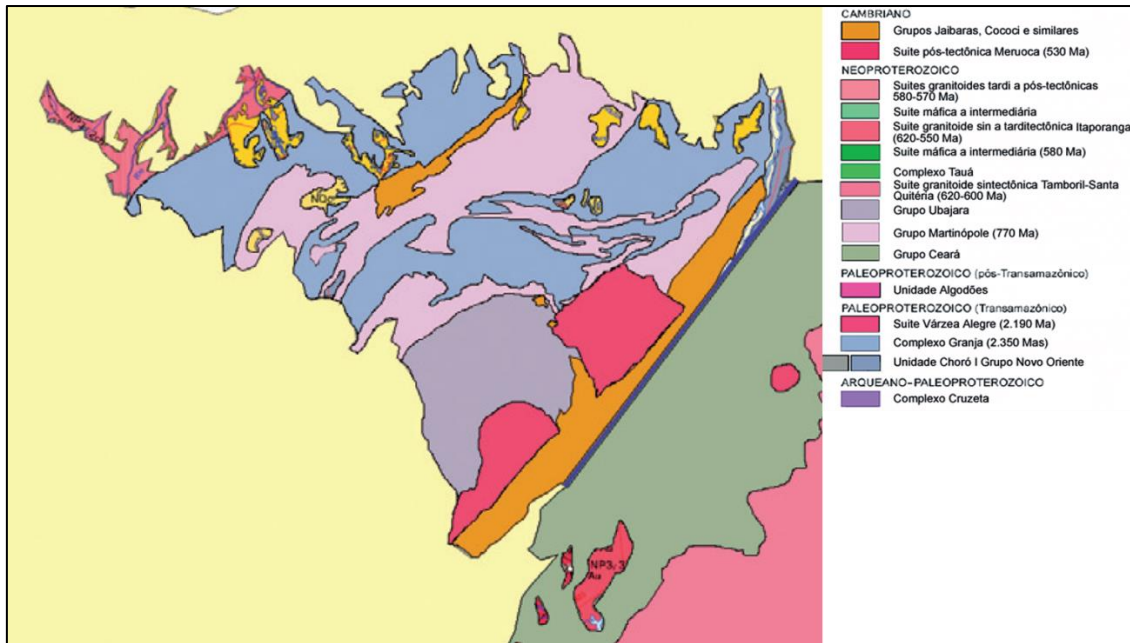


Figura 2.2 – Mapa do Domínio Médio Coreaú, NW da Província Borborema. Percebe-se a predominância do Complexo Granja e Grupo Martinópolis. O Granito Chaval se apresenta no extremo NW deste domínio. Fonte: Adaptado de Hasui (2011).

2.1.1.1 Embasamento

De acordo com Fetter *et al.* (2004) o embasamento do Domínio Médio Coreaú é formado por um complexo de rochas de alto grau, onde predominam ortognaisses com afinidade tonalítica-trondhjemitica-granodiorítica, anfíbolitos, anfíbólio gnaisses, leucogranitos, granulitos e ainda leptinitos, enderbitos, migmatitos e kinzigitos.

Datações usando métodos U-Pb e Sm-Nd feitas por Fetter *et al.* (1995, 2000) indicam idades de 2.36-2.3 Ga, o que os coloca no Paleoproterozoico Inferior. Sendo suas idades modelo entre 2.61-2.38 Ga e com valores de ϵNd positivos, conclui-se que estas rochas representam crosta juvenil, possivelmente gerada em ambiente de *arc-type*.

2.1.1.2 Grupo Martinópolis

O Grupo Martinópolis é, conforme Fetter *et al.* (2004), constituído de quatro formações: Goiabeira, São Joaquim, Covão e Santa Terezinha. Estas formações foram submetidas a vários graus de metamorfismo durante a orogenia Brasileiro.

Em contato tectônico com embasamento está a Formação Goiabeira. Este conjunto de rochas é constituído por biotita xisto, granada-clorita xisto, granada-biotita xisto, muscovita-clorita xisto, estaurolita xisto, cianita xisto e quartzo-feldspato paragneisses. A assembleia mineral dessas rochas indicam fácies metamórfica anfíbolito barrovia (Fetter *et al.*, 2004).

A Formação São Joaquim é composta por rochas calciosilicáticas e metavulcânicas, e intercalações de quartzito com xisto, com predominância do primeiro. O pico metamórfico desta formação é registrado pela presença de silimanita, apontando para a fácies metamórfica anfíbolito intermediário (Fetter *et al.*, 2004).

A Formação Covão se caracteriza por uma sequência de quartzitos e xistos intercalados, com predominância do segundo, sendo este um muscovita-quartzo-sericita-clorita xisto. As características microtectônicas observadas no quartzito somadas a paragênese do xisto indicam fácies metamórfica prenita-pumpeleita a xisto verde (Fetter *et al.*, 2004).

A Formação Santa Terezinha consiste de xistos, metapelitos, carbonatos associados a grauvacas, ritmitos e quartzitos intercalados com metariolitos (Fetter *et al.*, 2004). Datações de U-Pb em zircão realizadas por Fetter *et al.* (1997) nos riolitos, indicam vulcanismo e sedimentação em 775 ± 11 Ma.

2.1.1.3 Grupo Ubajara

O Grupo Ubajara é uma unidade metassedimentar, onde se observam as formações Frecheirinha, Coreau, Traipiá e Caiçaras. Sendo a primeira composta por calcários, margas, siltitos e arenitos. A segunda é formada por arenitos arcossianos, grauvacas e conglomerados. A terceira é constituída por arenitos e arenitos conglomeráticos. E a quarta é caracterizada por ardósias, arenitos e siltitos (Hasui, 2012).

Fetter *et al.* (2004) consideram as formações Traipiá e Frecheirinha uma só, citando a ocorrência da sequência vulcano-sedimentar entre as formações Caiçaras e Traipiá-Frecherinha. Esta sequência é uma ocorrência de rochas vulcânicas félsicas a intermediárias, onde observa-se traqui-andesitos, riolitos, brechas vulcânicas e tufos.

Datações pelo método U-Pb foram feitas em rochas metariolíticas da sequência vulcano-sedimentar, indicando idades de 1785 ± 2 Ma, considerada a idade de cristalização (Fetter *et al.*, 2004).

2.1.1.4 Características estruturais e tectônicas do Domínio Médio Coreaú

Conforme Santos *et al.* (2004), o primeiro evento tectônico a ocorrer no Domínio Médio Coreaú afetou somente as rochas do embasamento, preservando uma foliação de mergulho SE e baixo ângulo. O segundo evento é caracterizado por foliações de mergulho SE de baixo a médio ângulo, com lineações SE. O terceiro evento tectônico desenvolveu a grande zona de cisalhamento e indicadores cinemáticos como *mica-fish* e feldspatos assimétricos. E por fim, o quarto evento é uma fase deformacional relacionada a movimentos transpressionais.

2.1.1.5 Granitogênese no Domínio Médio Coreaú

A formação de granitoides na região do Domínio Médio Coreaú, assim como na PB em geral, está diretamente relacionada ao Evento Orogênico Brasileiro. Brito Neves *et al.* (2003) diz que este ciclo orogênico é caracterizado pela formação de fragmentos litosféricos oriundos da fissão diacrônica do Supercontinente Gondwana, levando ao fechamento de paleoceanos e resultando na formação dos orógenos.

A granitogênese Brasileira na PB ocorreu em quatro momentos de pulso de magmático, divididos por Hasui (2012) nas seguintes suítes: pré- a sintectônicas (Tamboril-Santa Quitéria, Rajada e Garrote-Serra Negra), sin- a tarditectônicas (Conceição, Itaporanga, Chaval, Catingueira e Serrita), tardi- a pós-tectônicas (Teixeira-Solidão, Esperança, Triunfo, Salgueiro Leste-Terra Nova, Xingó, Serra da Aldeia e Cabloco) e pós-tectônicas (Umarizal e Prata).

Hasui (2012) enfatiza ainda que as suítes pré- a sintectônicas foram gnaissificadas e constituem parte de jazimento estratoide. Nas suítes sin- a tarditectônicas há ocorrência de enclaves máficos no Grupo Cachoeirinha e Complexo Salgueiro-Riacho Gravatá, sendo as demais porfiríticas. E as suítes pós-tectônicas são subalcalinas a alcalinas.

2.1.2 Domínio Ceará Central

O Domínio Ceará Central posiciona-se entre as zonas de cisalhamento Sobral-Pedro II (Lineamento Transbrasiliano) e a de Senador Pompeu, onde se limita com o Domínio Rio Grande do Norte. Tem um embasamento constituído por ortognaisses, de composição tonalítica a grandiorítica, granitos migmatíticos, e migmatitos, e restos de anfibolitos e metassedimentos de cinturões *greenbelts* anteriores (porção sul do Ceará), de idade paleoproterozoica, porém, representando produtos retrabalhados de um embasamento, principalmente Arqueano (Peulvast & Bêtard 2015). Dados de Sm-Nd indicam que parte do embasamento Paleoproterozoico é característico de crosta juvenil (Neves 2003).

A orientação geral das estruturas internas observadas nas rochas, assim como seus alongamentos, seguem a direção geral NE, observada nas porções norte e sudeste (Hasui, 2012). Entretanto, na região próxima ao batólito Tamboril-Santa Quitéria, assim como nas regiões oeste e nordeste, há desvios significativos para direções variadas. Ainda de acordo com Hasui (2012), na sua maioria, as foliações e contatos destas rochas apresentam mergulhos de baixo a médio ângulo e próximo as zonas de cisalhamento transcorrente tendem a se distorcer em função do deslocamento, adquirindo posturas verticalizadas.

2.1.3 Domínio Rio Grande do Norte

Dispostos entre a zona de cisalhamento Senador Pompeu e o lineamento Patos, há uma série de blocos que recebem diferentes designações conforme alguns autores, porém o presente trabalho trata as subdivisões de Hasui (2012) como subdomínios, envolvidos pelo domínio maior Rio Grande do Norte.

De acordo com Hasui (2012), o alongamento dos corpos litológicos deste domínio, assim como suas estruturas internas e zonas de cisalhamento apresentam um padrão geométrico que acompanham a geometria geral de arco com convexidade voltada para noroeste, constituídos de lascas lentiformes e sigmoides justapostos.

2.1.4 Domínio da Zona Transversal

Ocorre principalmente nos estados da Paraíba e Pernambuco, delimitado pelos lineamentos Patos e Pernambuco. Conforme Hasui (2012), este domínio é compartimentado em 6 subdomínios, sendo eles: 1) Domínio Cachoeirinha, o qual apresenta um embasamento Paleoproterozoico, formado durante o Ciclo Transamazônico, com rochas supracrustais e granitoides derivadas do Ciclo Brasileiro; 2) e 3) domínios Itaizinho e Icaíças que correspondem a núcleos de rochas paleoproterozoicas e granitoides brasileiros; 4) Domínio Alto Pajeú constituído por supracrustais e granitoides derivados do Evento Cariris Velho; o 5) Domínio Alto Moxotó é formado por rochas transamazônicas e o 6) Domínio Rio Capibaribe apresentando supracrustais brasileiras.

Estruturas regionais de direção E-W a NE-SW tornam-se dominantes nas porções norte e sul deste domínio, assim como a curvatura de estruturas desta zona indica deslocamento transcorrente dextral ao longo das zonas de cisalhamento Patos e Pernambuco (Ebert 1962, 1970 *apud* Van Schmus *et al.* 2011).

2.1.5 Domínio Externo

Ao sul do lineamento Pernambuco até o Cráton São Francisco tem-se o Domínio Sul ou Externo, composta por três principais subdomínios (Van Schmus *et al.*, 2011): Riacho do Pontal, Pernambuco-Alagoas e Sergipano.

O Subdomínio Riacho do Pontal (DRP) consiste em sequências supracrustais metassedimentares e metavulcânicas com granitoides do Brasileiro e alguns gnaisses mais antigos. O Subdomínio Pernambuco-Alagoas localiza-se a leste do DRP e é caracterizado por uma ampla região constituída de gnaisses de alto grau, migmatitos e granitoides do ciclo Brasileiro, que atuou como um grande maciço estrutural durante a deformação tardia do Brasileiro. Ao Sul deste domínio, tem-se o Subdomínio Sergipano, composto por vários blocos/subdomínios e que se estendem em direção à leste, da Plataforma Sul-americana, até o noroeste africano (Trompette 1997, 2000 *apud* Oliveira *et al.* 2010). Esta é constituída por unidades metassedimentares e metavulcanossedimentares, de idade neoproterozoica, da Faixa Sergipana, embora a estratigrafia desta não seja muito bem definida e consensual (Hasui 2012).

GRANITO CHAVAL: ESTADO DA ARTE

3.1 FORMA E OCORRÊNCIA:

Em 1973, no Projeto Jaibaras, Costa *et al.* foram os primeiros a citar as rochas da região de Chaval (CE) com formas de relevo tipo *inselbergs* arredondados, os quais foram apresentados como granitos grosseiros e denominados de granitoides tipo Chaval. Geograficamente, se encontra a sudeste da falha Santa Rosa na Folha Chaval (SA.24-Y-C-II) (Fig. 3.2), adentrando a Folha Buriti dos Lopes (SA.24-Y-C-I) (Fig. 3.1). À norte, seus afloramentos se limitam pelas coberturas cenozoicas.

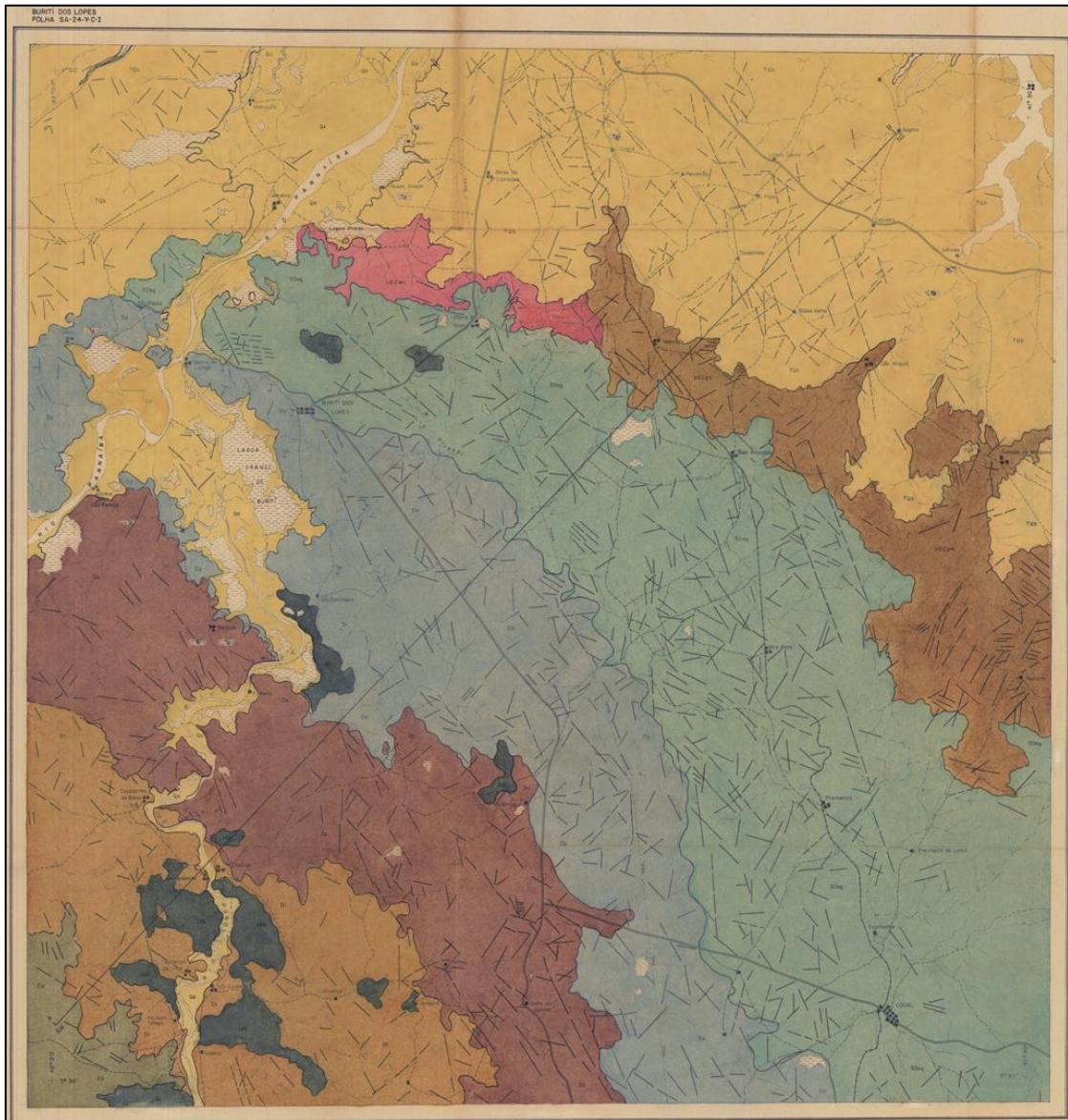


Figura 3.1 – Folha Buriti dos Lopes (SA.24-Y-C-I) mapeada através Projeto Jaibaras , o Granito Chaval é o corpo de cor marrom em NE do mapa. Fonte: Costa *et al.* (1973).

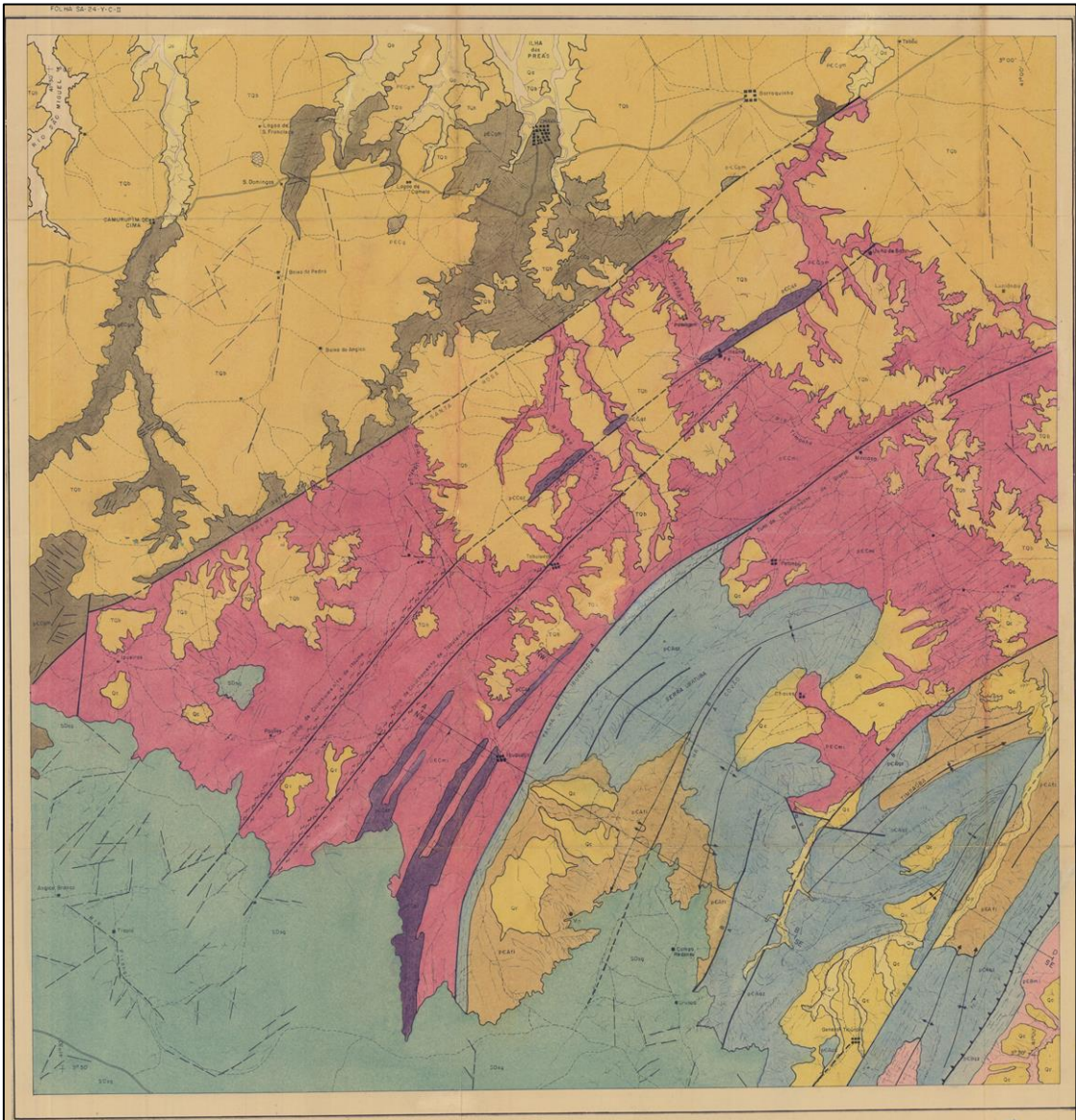


Figura 3.2 – Mapa da Folha Chaval (SA.24-Y-C-II) proposto pelo Projeto Jaibaras, com o Granito Chaval em marrom no região NW do mapa. Fonte: Costa *et al.* (1973).

Abreu (1990) se refere ao Granito Chaval como um corpo granitoide de dimensões batolíticas, limitado a sudeste pela Zona de Cisalhamento Santa Rosa, justaposto às rochas gnáissico-migmatítico-granulíticas de Granja-Senador Sá.

Gorayeb & Lima (2014) relatam que o Granito Chaval é um batólito de cerca de 2.000 km², o qual aflora principalmente em drenagens e morros de baixa expressão topográfica, com altitudes de até 350 m. A norte tem uma considerável porção coberta por depósitos cenozoicos costeiros. Ao se distanciar da costa, o Chaval se mostra em morros e serras de topos abaulados. Tem relação intrusiva com os ortognaisses tonalíticos e

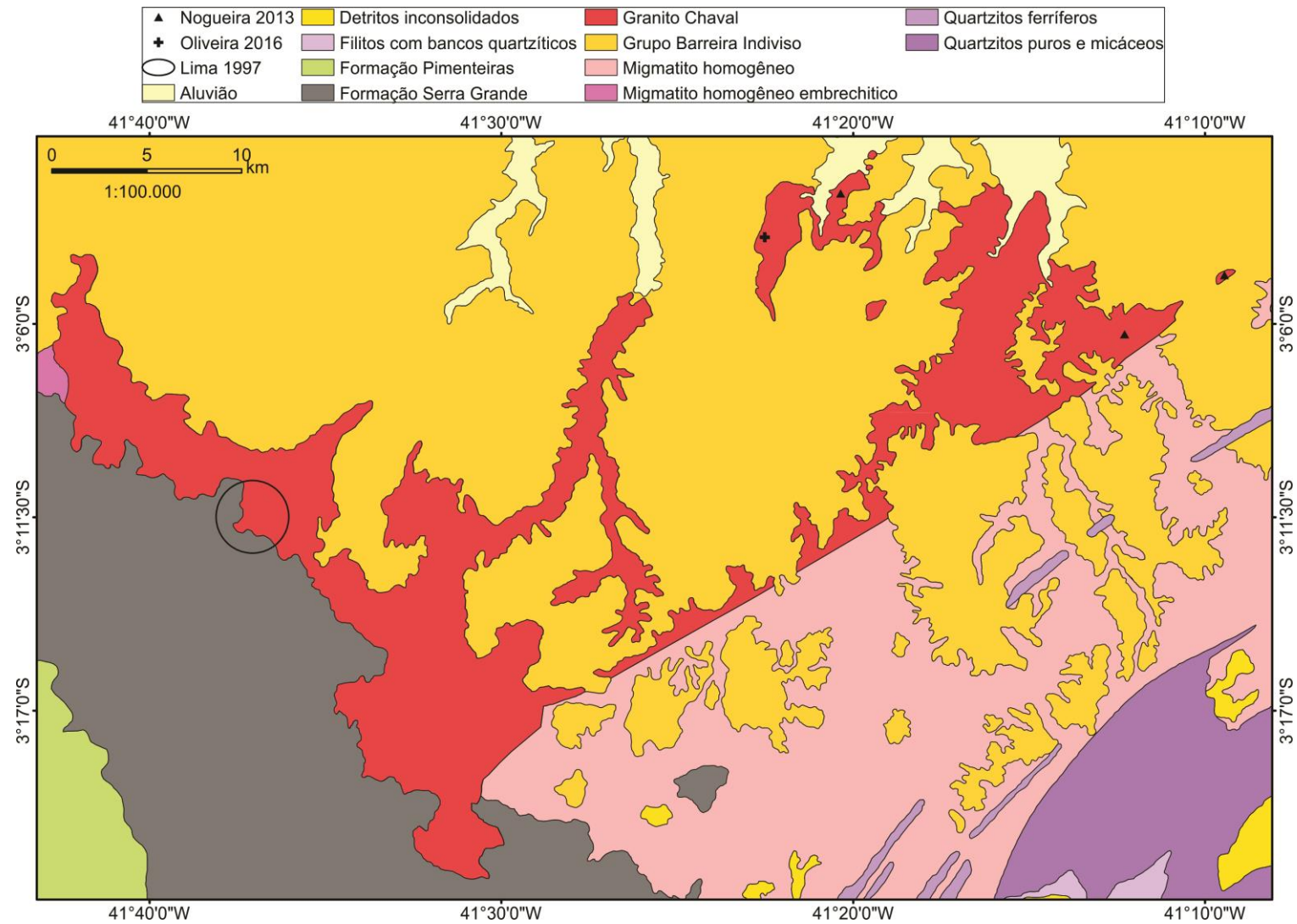


Figura 3.6 – Mapa geológico da região onde se localiza o granito Chaval, digitalizado a partir das Folhas Chaval (SA.24-Y-C-II) e Buriti dos Lopes (AS.24-Y-C-I) publicadas no Projeto Jaibas (1973). A NE têm-se os pontos estudados por Nogueira (2013) e Oliveira (2016), a CO está a região estudada por Lima (1997).

3.2 PETROGRAFIA DO GRANITO CHAVAL

Costa *et al.* (1973) descreve petrograficamente o granitoide tipo Chaval como porfiróide grosseiro, mesocrático, com profiroblastos de feldspato de até 5 cm, distribuídos aleatoriamente em uma matriz escura de biotita, quartzo e feldspato. É ainda observado textura mimerquítica.

Abreu (1990) diz que, em visão regional, o corpo do Granito Chaval apresenta variações no tamanho dos minerais e na orientação destes, podendo ser observado porções com cristais orientados ou não. Este autor classifica o Chaval como quartzo-monzogranito, granodiorito e quartzo-sienito. Há porções com perceptível orientação dos cristais, não muito grandes, os quais tiveram seu tamanho reduzido por processos de deformação, nas porções com menor deformação, há a ocorrência de fenocristais de feldspato.

Para Abreu (1990) podem ser observadas duas fácies distintas no granitoide Chaval, fácies porfirítica e fácies milonítica. A primeira apresenta uma matriz média a grossa, suportando megacristais de microclínio (de até 15 cm). Na matriz se destacam anfibólio, biotita e quartzo, com formas idiomórficas a subdiomórficas. Também ocorrem segregações de cristais máficos. A fácies milonítica ocorre nas porções onde há deformação. Já em regiões que se percebe o processo de redução dos grãos, a matriz é fina a média, sendo perceptível a ocorrência de milonitização em alguns trechos. Ainda segundo Abreu (1990) nas proximidades das faixas de cisalhamento os contatos entre a fácies milonítica e porfirítica são bruscos.

De acordo com Lima (1997), de uma forma geral, a porção não deformada do Granito Chaval é uma rocha fanerítica, grossa, cinza claro, leucocrática, de textura porfirítica marcante, com um conjunto mineral formado por quartzo, microclina, plagioclásio e biotita. São caracterizados dois litotipos o biotita-microclina granito e o monzogranito porfirítico. Podem ser observado no microclina-quartzo sienito, variações composicionais localizadas, pois há porções mais félsicas onde se notam fenocristais de álcali-feldspato acumulados, ocupando cerca de 90% da rocha. No entanto, também são observadas porções menos félsicas.

Lima (1997) diz também que na região do município de Bom Princípio (PI) foram observados três fácies no Granito Chaval, as quais são microclina granito, monzogranito e

quartzo sienito. A primeira tem coloração róseo-acinzentada, de matriz composta por álcali-feldspato, quartzo e plagioclásio, com fenocristais de microclina, podendo ter mais que 10 cm. A fácies monzogranito tem coloração cinza-esbranquiçada, de matriz hipidiomórfica composta por quartzo, plagioclásio, biotita e microclina, com fenocristais de microclina e plagioclásio. Por fim, a fácies quartzo sienito é mais esbranquiçada, enriquecida em álcali-feldspato e empobrecida em quartzo, chegando a apresentar 97% de microclina.

Para Delgado *et al.* (2003) a formação do Granito Chaval se deu por uma supersuíte intrusiva sin a tardiorogênica. Esta suíte é composta principalmente por granodiorito, com litofácies quartzo-monzonito e quartzo-sienito. Apresenta também foliação milonítica em suas bordas.

Segundo Santos *et al.* (2008) o Granito Chaval é uma intrusão sinorogênica e com fortes indícios de cisalhamento. Este pluton intruiu o embasamento Granja e o Grupo Martinópolis, com afinidade crustal e composição abrangendo granito, granodiorito, quartzo monzonito e quartzo sienito porfirítico.

Nogueira (2013) apresenta o Granito Chaval como uma rocha leucocrática, cinza levemente rosada, inequigranular grossa, hipidiomórfica. A matriz é porfirítica com fenocristais de álcali-feldspato. Composta por feldspato (microclínio), plagioclásio, quartzo e biotita. Esta autora identificou o Chaval como biotita monzogranito e biotita sienogranito porfirítico. Na figura 3.7 há mais observações microscópicas feitas por esta mesma autora.

O biotita sienogranito porfirítico é isotrópico com cristais de até 6 cm, de textura porfirítica e matriz fanerítica grossa. A assembleia mineral predominante é formada por álcali feldspato, plagioclásio, quartzo e biotita. A partir da análise microscópica foi observado também matriz granular hipidiomórfica. Como minerais acessórios ocorrem titanita, apatita, zircão e opacos (Nogueira 2013).

O biotita monzogranito apresenta foliação milonítica marcada pelo estiramento dos minerais. É composto por plagioclásio, álcali feldspato, quartzo e biotita. Com base na análise microscópica observou-se textura granoblástica. Os minerais acessórios são titanita, epidoto, apatita, zircão e opacos (Nogueira 2013).

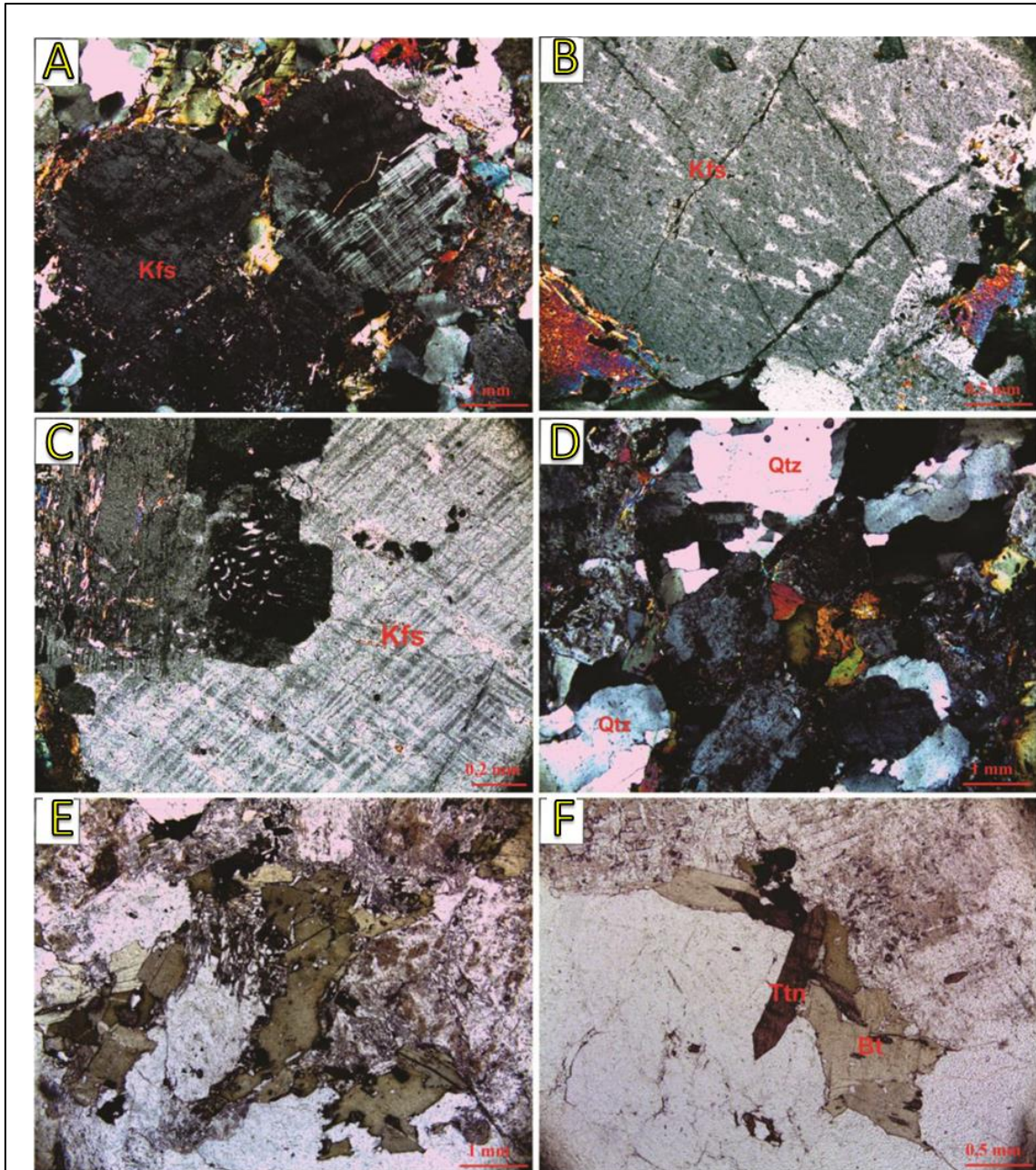


Figura 3.7 – Imagens microscópicas do Granito Chaval. Em A destacamos a matriz granular hipidiomórfica com cristais de microclínio com intercrescimento micropertítico. Em B e C há intercrescimento mimerquítico. Em D ocorrem cristais de quartzo sem recristalização em matriz granular hipidiomórfica. Em E têm-se cristais de biotita subédricos. Por fim, em F percebe-se cristais de titanita formando agregados com a biotita. Fonte: Adaptado de Nogueira (2013).

Em continuidade as afirmações de Nogueira (2013) é possível estabelecer uma sequência de cristalização para o Chaval. A princípio houve a formação dos minerais acessórios, como por exemplo, o zircão, seguidos pela cristalização do plagioclásio e microclínio, os quais tiveram sua gênese em um magma de baixa razão cristal/líquido, proporcionando o crescimento dos fenocristais. Em outro momento de cristalização mais lenta e a razão cristal/líquido é mais alta, formando a matriz fanerítica.

Concordantemente com Gorayeb & Lima (2014), o Granito Chaval se apresenta em duas porções distintas, sendo uma com feições tipicamente plutônicas (região central a oeste) e outras com registros de deformação cisalhante (central ao leste) (Fig. 3.8). Pode-se afirmar que na porção com feições plutônicas, o Chaval se apresenta megaporfirítico, matriz fanerítica grossa, cinza e leucocrático; com predominância de fenocristais de K-feldspato euédricos, os quais definem uma foliação de fluxo magmático. As rochas deste batólito foram classificadas como hornblenda-biotita monzogranito porfirítico, biotita-microclina granito porfirítico, quartzo-microclina sienito cumulado e biotita sienogranito.



Figura 3.8 – Imagem das duas feições típicas do Granito Chaval. Em A o Chaval se apresenta com estrutura primária de origem ígnea plutônica, nota-se os megacristais tabulares de álcali feldspato. Já em B este granito se mostra com feições de zoneamento oscilatório, em destaque ocorre álcali feldspato de comportamento frágil-dúctil, levemente deformado. Fonte: Adaptado de Gorayeb & Lima (2014).

Gorayeb & Lima (2014) dizem que por consequência do fluxo magmático há ocorrência de alinhamento preferencial de megacristais euédricos de K-feldspato em matriz grossa, ocorrendo também acumulação de cristais de K-feldspato, causados pela migração dos movimentos convectivos do magma residual. Há variações composicionais e granulométricas no acamamento e bandamento magmático. Ainda, ocorrem pegmatitos.

Para Gorayeb & Lima (2014) nas porções em que o Chaval se apresenta deformado, quanto mais a leste, o granito vai se mostrando em tons de cinza mais escuros, e apesar deste permanecer porfiróide, há uma diminuição no tamanho dos cristais, tornando-se notório uma trama milonítica, com porfiroclastos de K-feldspato e biotita amendoados e fitas de quartzo.

Conforme Oliveira (2016) o Granito Chaval, na pedreira São Domingos, é uma rocha porfirítica e holocristalina, de coloração branca acinzentada com matriz levemente orientada. Fenocristais centimétricos são cercados por matriz fanerítica. A mineralogia dominante é composta por feldspato, biotita e quartzo. A rocha apresenta ainda veios pegmatíticos de

granulação muito grossa, com muscovita, turmalina e berilo. Contém também veios aplíticos de cor amarela-rosada, granulação fina e composição sienítica.

Oliveira (2016), com base em análise mesoscópica e microscópica, apresenta duas fácies para o Granito Chaval, biotita metamonzogranito e muscovita metamonzogranito (Fig. 3.9).

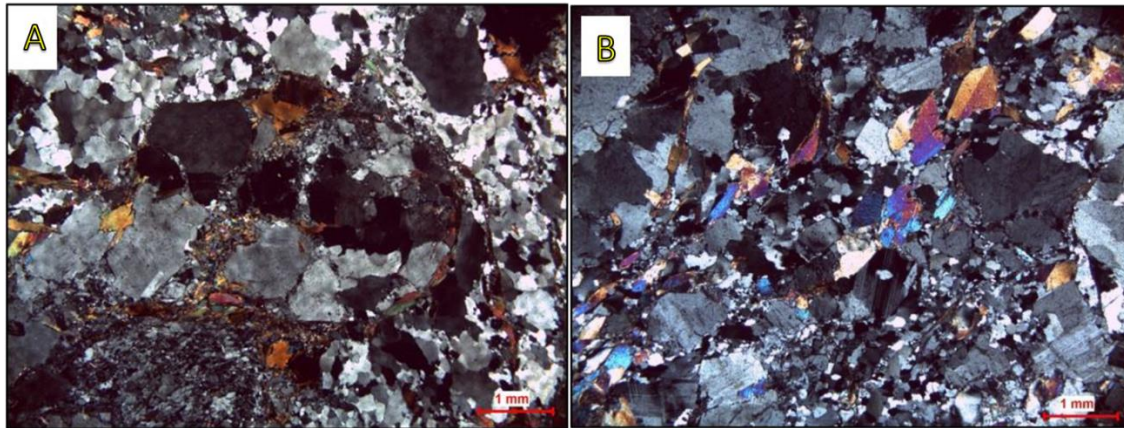


Figura 3.9 – Imagens microscópicas do Granito Chaval mostrando as fácies biotita metamonzogranito e muscovita metamonzogranito, respectivamente. Em A ocorre quartzo recrystalizado, policristalino, de extinção ondulante, agregados microcristalinos. Em B percebe-se a foliação milonítica definida pelos cristais de muscovita orientados. Fonte: Adaptado de Oliveira (2016).

Com base na observação macroscópica, o biotita metamonzogranito é porfirítico com matriz fanerítica, holocristalina, melanocrática (cinza claro). É composta por plagioclásio, quartzo, álcali feldspato, biotita e outros minerais máficos. O feldspato ocorre em fenocristais e na matriz. Na forma de fenocristais eles são subédricos a euédricos, na matriz eles são anédricos a subédricos. Já microscopicamente, se observam plagioclásio, microclínio, quartzo e biotita. Como minerais acessórios ocorrem apatita, muscovita, allanita, zircão e opacos. Nota-se foliação bem desenvolvida em uma matriz milonítica. A foliação é definida principalmente pelo quartzo e biotita. Há ocorrência de foliação milonítica. Há também ocorrência de intercrescimento mimerquítico, granofírico e pertítico.

O muscovita metamonzogranito, com base na observação mesoscópica, é porfirítico de matriz fanerítica fina, leucocrática (cinza claro). É composto por plagioclásio, quartzo, muscovita e máficos. Já microscopicamente, foram observados além dos minerais já citados, biotita, zircão, apatita e opacos.

Para Aragão (2018) o Granito Chaval é petrograficamente homogêneo, com megacristais de álcali-feldspato, matriz formada por uma assembleia mineral de álcali-

feldspato, plagioclásio, quartzo e biotita. Segundo este autor, o Chaval é classificado como monzogranito e granodiorito.

De uma forma geral, a classificação do Granito Chaval fica entre monzogranito, granodiorito e sienito, havendo variações somente em relação aos percentuais minerais que dão nome a rocha, como pode ser observado na tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Tabela de classificação do Granito Chaval segundo os autores citados neste tópico, com suas respectivas mineralogias principais. Fonte: Do autor.

Autor	Mineralogia principal	Classificação
Costa <i>et al.</i> (1973)	Feldspato, biotita e quartzo	
Abreu (1990)	Microclínio, anfibólio, biotita e quartzo	Quartzo monzogranito, granodiorito e quartzo sienito
Lima (1997)	K-feldspato, quartzo, plagioclásio e microclina, biotita	Microclina granito, monzogranito e quartzo sienito
Delgado <i>et al.</i> (2003)		Quartzo monzonito e quartzo sienito
Santos <i>et al.</i> (2008)		Granito, granodiorito, quartzo monzonito e quartzo sienito porfirítico
Nogueira (2013)	Microclínio, plagioclásio, quartzo e biotita	Biotita monzogranito e biotita sienogranito porfirítico
Gorayeb & Lima (2014)	K-feldspato, botita, hornblend e, quartzo	Hornblenda-biotita monzogranito porfirítico, biotita-microclina granito porfirítico, quartzo-microclina sienito e biotita sienogranito
Oliveira (2016)	Feldspato, biotita e quartzo	Biotita metamonzogranito e muscovita metamonzogranito
Aragão (2018)	Álcali-feldspato, plagioclásio, quartzo e biotita	Monzogranito e granodiorito

3.3 GEOQUÍMICA DO GRANITO CHAVAL:

Em relação a geoquímica do Granito Chaval, Gorayeb & Lima (2014) citam que podem ser observados rastros de migração de fases magmáticas residuais tardias em direção

as regiões de menor pressão. Estes autores também levantam a hipótese da reação entre um magma basáltico e outro granítico, o que seria evidenciado pela ocorrência de enclaves microgranitoides que são contornados por uma concentração de biotita e anfibólio (Fig.3.10).



Figura 3.10 – Imagem do Granito Chaval com enclave magmático bordeados por biotita e anfibólio, podendo tal fenômeno ser resultado da mistura de magmas basálticos e graníticos. Fonte: Gorayeb & Lima (2014).

Oliveira (2016) apresenta análise geoquímica do Granito Chaval, em amostradas tomadas na localidade da pedreira São Domingos. Com base nos resultados de saturação de alumina a rocha é classificada como peraluminosa. Para classificação em relação aos álcalis, o granito é um álcali-cálcico. Já em referência a série magmática o Chaval se divide entre o campo magnésiano e ferroso. Para o ambiente tectônico de formação desta rocha, os resultados apresentados por Oliveira (2016) indicam para um ambiente tectônico sin-colisional e arco vulcânico.

Uma análise geoquímica do Chaval também é apresentada por Aragão (2018), onde são encontrados valores entre 64 a 75% de SiO_2 , 14 a 16% de Al_2O_3 , 7 a 8.5% de álcalis e 3.5 a 5.5% de K_2O . Adicionalmente, a maioria das amostras analisadas por este autor são peraluminosas gradando para metaluminosas. Em relação ao diagrama AFM, o Chaval está dentro da série cálcio-alcálica (Fig. 3.11).

A classificação petrográfica do Granito Chaval é reafirmada através da análise geoquímica realizada por Aragão (2018). Este autor diz que esta rocha é majoritariamente granodiorítica, mas também tonalítica e granítica. Adicionalmente, os dados geoquímicos

apontam para um granito tipo I e S. Em acordo com os dados de Oliveira (2016), Aragão (2018) afirma que o ambiente de formação do Chaval indica para um arco magmático compatível com granitos de arco continental normal.

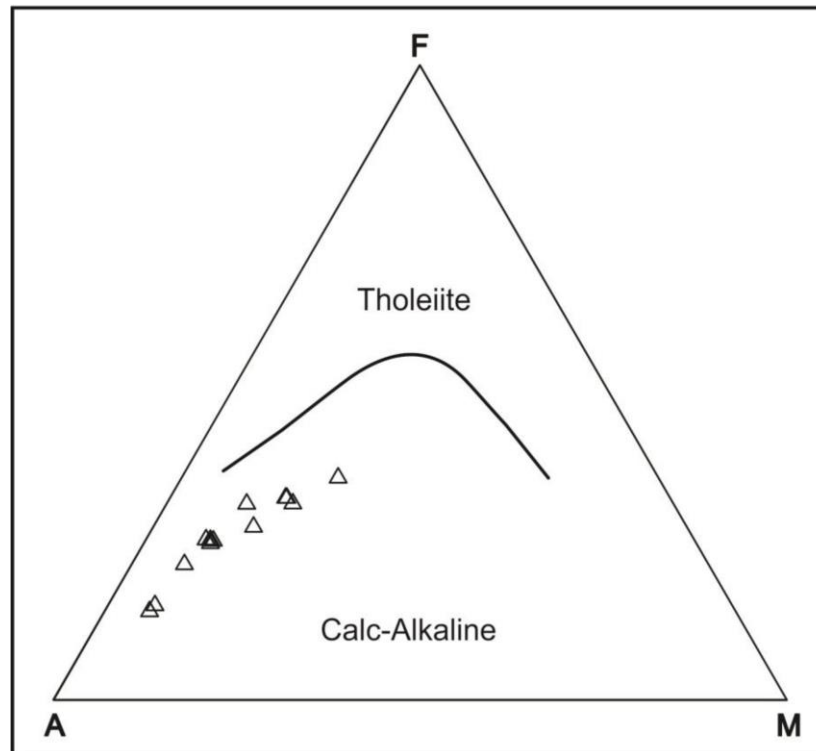


Figura 3.11 – Representação gráfica da análise geoquímica do Granito Chaval, onde observa-se a característica cálcio-alcalina desta rocha. Fonte: Aragão (2018).

3.4 GEOCROLOGIA DO GRANITO CHAVAL:

A primeira citação para uma idade do Granito Chaval é feita no Projeto Jaibaras (Costa *et al.*, 1973), onde a idade é estimada como Pré-cambriana. No entanto, não se utiliza de método geocronológico específico para tal afirmação. Em 1989, Nogueira Neto *et al. apud* Lima (1997) usou o método Rb-Sr para datação deste granito, encontrando idade de 507 \pm 29 Ma.

Na década de noventa, em 1995, Gorayeb *et al.* através do método Pb²⁰⁷-Pb²⁰⁶ em zircão, encontrou idade de 1990 \pm 18 Ma. Lima (1997) datou o Granito Chaval na região de Bom Princípio (PI) e na Pedreira Jandira (CE). No primeiro caso, foi utilizado o método Pb-Pb, o qual resultou em duas idades, 544 \pm 17 Ma e 630 \pm 19 Ma. Este mesmo método foi aplicado nas amostras da Pedreira Jandira, resultando em idade de 1913 \pm 16 Ma. Nesta mesma localização, houve datação pelo método Kober, indicando idade de 1971 \pm 67 Ma. Já em 1999, Fetter *et al.* através da datação U-Pb, encontraram idade de 580 \pm 8 Ma.

Em 2008, Santos *et al.* utilizou o método U-Pb em monazita para datar o Granito Chaval, encontrando idade de 563+-17 Ma. No entanto, este autor afirma que idade deste granito é controversa principalmente pela ocorrência de zircões herdados. Já em 2013, Nogueira aplicou, na região nordeste do Chaval, o método Pb-Pb por evaporação em zircão, que resultou em idades de 633+-3.3 Ma.

Mais recentemente, em 2016, Oliveira apresentou três grupos de idades para a análise de 27 zircões pelo método U-Pb, as quais são ~2,2-2,0 Ga; 1,9-1,7 Ga; 1,2 a 0,8 Ga. Adicionalmente, Aragão (2018) também usou o método U-Pb para datar o Chaval, encontrando a idade de 632 +- 4 Ma.

Como observado na tabela 3.2, há dois grupos principais de idade, sendo um Neoproterozoico (com idades entre 544 e 633 Ma) e outro Paleoproterozoico (com idades entre 1913 e 1990 Ma), ainda, há ocorrência isolada de uma idade de 507 Ma. De acordo com Lima (1997) o grupo de idades Neoproterozóicas indica a cristalização do corpo granítico, já as idades Paleoproterozóicas seriam provenientes de zircões herdados. Na análise de Oliveira (2016) há idade fora dos dois grupos citados. No entanto, esta autora assume que as idades encontradas também são de zircões herdados. Ainda, a idade de 507 Ma seria referente a algum evento que reabriu o sistema.

3.5 GEOLOGIA ESTRUTURAL DO GRANITO CHAVAL:

De acordo com Abreu (1990) o Granito Chaval segue a tendência de foliação do Domínio Noroeste da Província Borborema, onde há um caimento para SE, com variação entre 50°-75°. Apresenta também lineações de estiramento com caimento entre 5°-10° para S30°-50°W.

Santos *et al.* (2008) diz que o Granito Chaval apresenta uma foliação incipiente. Na porção norte do corpo ocorre foliação tectônica subparalela a foliação magmática de alta temperatura, com deformação plástica do quartzo e biotita. Já na porção sul do granito, este é mais afetado por um tectonismo transcorrente, o que levou a rotação dextral e paralela ao *trend* da zona de cisalhamento *strike-slip* de Santa Rosa.

Tabela 3.2 – Idades encontradas para o Granito Chaval, com os autores que publicaram os dados e seus respectivos métodos utilizados para tais resultados. Fonte: Do autor.

Autor	Idade	Éon/Era	Método
Costa <i>et al.</i> (1973)		Pré-Cambriano	Estimado
Nogueira <i>et al.</i> (1989)	507+-29 Ma	Paleozóico	Rb-Sr
Gorayeb <i>et al.</i> (1995)	1990+-18 Ma	Paleoproterozóico	Pb ²⁰⁷ -Pb ²⁰⁶
Lima (1997)	544+-17 Ma 630+-19 Ma 1913+-16 Ma 1971+-67 Ma	Neoproterozóico/ Paleoproterozóico	Pb-Pb/Kober
Fetter <i>et al.</i> (1999)	580+-8 Ma	Neoproterozóico	U-Pb
Santos <i>et al.</i> (2008)	563+-17 Ma	Neoproterozóico	U-Pb
Nogueira (2013)	633+-3.3 Ma	Neoproterozóico	Pb-Pb
Oliveira (2016)	2200-2000 Ma 1900-1700 Ma 1200-800 Ma	Paleoproterozóico/ Mesoproterozóico	U-Pb
Aragão (2018)	632+-4Ma	Neoproterozóico	U-Pb

Ainda em concordância com Santos *et al.* (2008) ocorre no granito Chaval, ao se aproximar da zona de cisalhamento Santa Rosa, foliação subvertical, com lineação definida pelo feldspato (Fig. 3.12) e muscovita. Uma pequena zona de cisalhamento NE-SW cruza este corpo, formando texturas proto a ultramiloníticas. Os dobramentos ocasionados pelo processo colisional Brasileiro/Pan-Africano afetaram o Chaval, gerando estruturas que quando comparadas as demais rochas do Grupo Martinópole, levam a conclusão de que a colocação do granito ocorreu no final de um evento tangencial e de condições de deformação fraca.

Em (2014) Gorayeb & Lima propuseram dois domínios estruturais para o Granito Chaval, Domínio A e Domínio B (Fig. 3.13). O primeiro está localizado a Noroeste do corpo e é marcado pela trama ígnea. Já o Domínio B, a Sudeste é caracterizado por apresentar deformação e foi separado em dois subdomínios B1 e B2. O domínio transicional (B1) é marcado por deformação fraca à média, tornado possível a identificação da trama magmática.

O domínio milonítico (B2) apresenta forte deformação, mudando a classificação das rochas para granito milonitizado.

Oliveira (2016) fez uma análise microestrutural do Granito Chaval, afirmando que as principais estruturas observadas são de caráter dúctil. Este processo é marcado pelo contato irregular entre os cristais, defeito no retículo cristalino dos minerais, resultando em cristais com extinção ondulante e alongados. Também foi notado cristais com contatos serrilhados e lobados. Foram identificadas texturas granular hipidiomórfica, poiquilítica e foliação milonítica. Por fim, esta autora conclui que a porção do Granito Chaval aflorante na pedreira São Domingos, em decorrência da implantação da Zona de Cisalhamento Santa Rosa, foi submetida a metamorfismo de baixo grau metamórfico.



Figura 3.12 – Granito Chaval com foliação protomilonítica definida por porfiroclastos de K-feldspato no sentido dextral com cisalhamento *strike-slip*. Fonte: Santos *et al.* (2008).

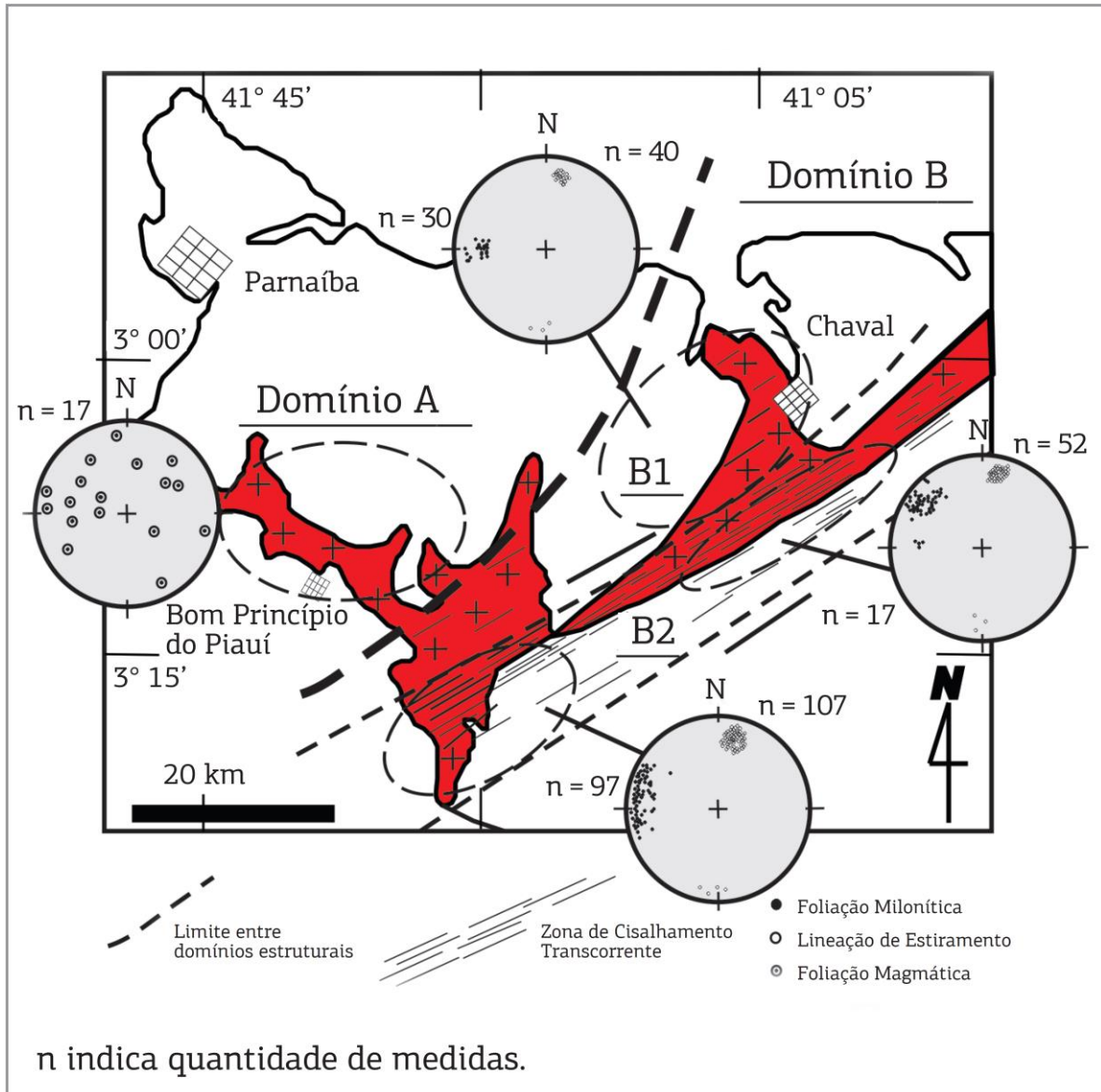


Figura 3.13 – Mapa de domínios estruturais do Granito Chaval proposto por Gorayeb & Lima (2014), com os domínios A e B, e subdomínios B1 e B2. Fonte: Gorayeb & Lima (2014).

3.6 CONSIDERAÇÕES SOBRE O ESTADO DA ARTE DA GEOLOGIA DO GRANITO CHAVAL

Desde as suas primeiras aparições na literatura, o Granito Chaval reúne até esse momento uma diversidade de dados, principalmente em relação a sua classificação petrográfica e geocronologia. Esses dados diversos, por vezes distintos, muito podem ajudar no sentido de construir conclusões para o entendimento da geologia desse corpo. No entanto, um problema para compilação mais consistente destes dados é a ausência da localização precisa de onde as informações foram coletadas pelos autores.

Em relação a sua geomorfologia o granito Chaval aflora em drenagens e morros de baixa expressão topográfica, com altitudes de até 350 m, com formas de relevo do tipo *inselbergs* (Fig.3.14). Seus limites, aflorantes, são formados (em sua maioria) com depósitos recentes.

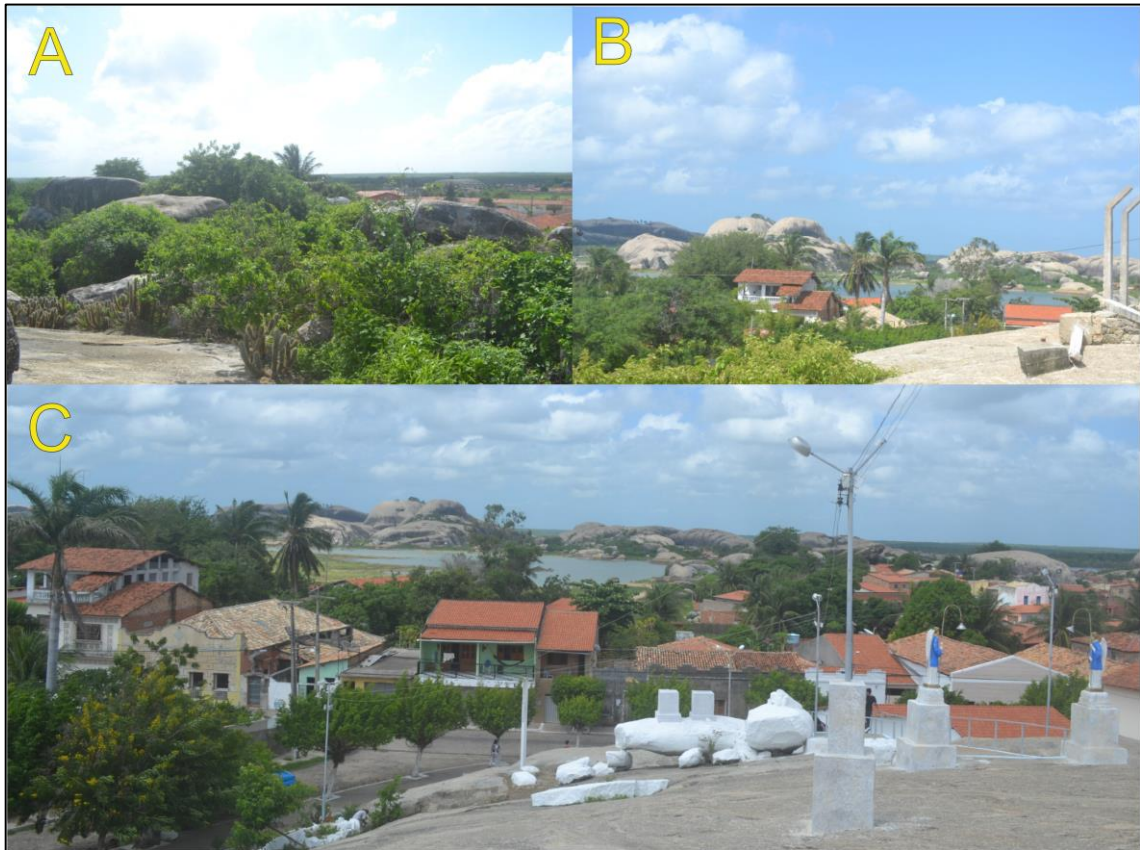


Figura 3.14 – Fotos panorâmicas de afloramentos do Granito Chaval no município de Chaval/PI. Percebe-se o relevo em forma de *inselbergs*. Fonte: Do autor.

Os dados petrográficos do Chaval indicam para uma variação textural ao longo do granito. A porção oeste do corpo apresenta feições mais plutônicas, enquanto o lado leste se mostra uma foliação tectônica (Fig 3.17). Este fenômeno ocorre devido a implantação da Zona de Cisalhamento Santa Rosa que também está localizada a leste do Chaval.

Em relação a classificação petrográfica, é clara a variação composicional, não sendo perceptível um padrão ou relação da composição petrográfica com a geografia do corpo ou suas encaixantes. Nos arredores da cidade Bom Princípio do Piauí (noroeste do corpo) o Chaval é classificado como granito, monzogranito e sienito. Na região nordeste desta rocha, além das três classificações já citadas, ocorrem também metamonzogranito. Na figura 3.15 pode-se notar a variação composicional deste granito em afloramento observado na cidade de Chaval/PI.



Figura 3.15 – Fotos do Granito Chaval dentro dos limites da cidade de Chaval/PI. Em A e B têm-se a ocorrência do sienogranito com fenocristais de plagioclásio. Em C nota-se a coloração acinzentada da rocha, classificada como monzogranito. Em D há ocorrência de veio félsico no sienogranito. Fonte: Do autor.

O Granito Chaval apresenta idades que vão desde 2200 Ma a 507 Ma. Percebe-se o agrupamento destas idades em dois grupos principais (Fig 3.16). O grupo Neoproterozoico é referente a cristalização do corpo granítico, que está aproximadamente entre 633 Ma a 544 Ma. O outro grupo é Paleoproterozóico, sendo estes zircões herdados das rochas encaixantes, com idades entre 2200 Ma a 1700 Ma. Ainda, são registradas duas idades que não se encaixam nos grupos citados, sendo uma Mesoproterozoica e outra Paleozóica. A primeira também é referente a zircões herdados, já a segunda é resultado de abertura no sistema.

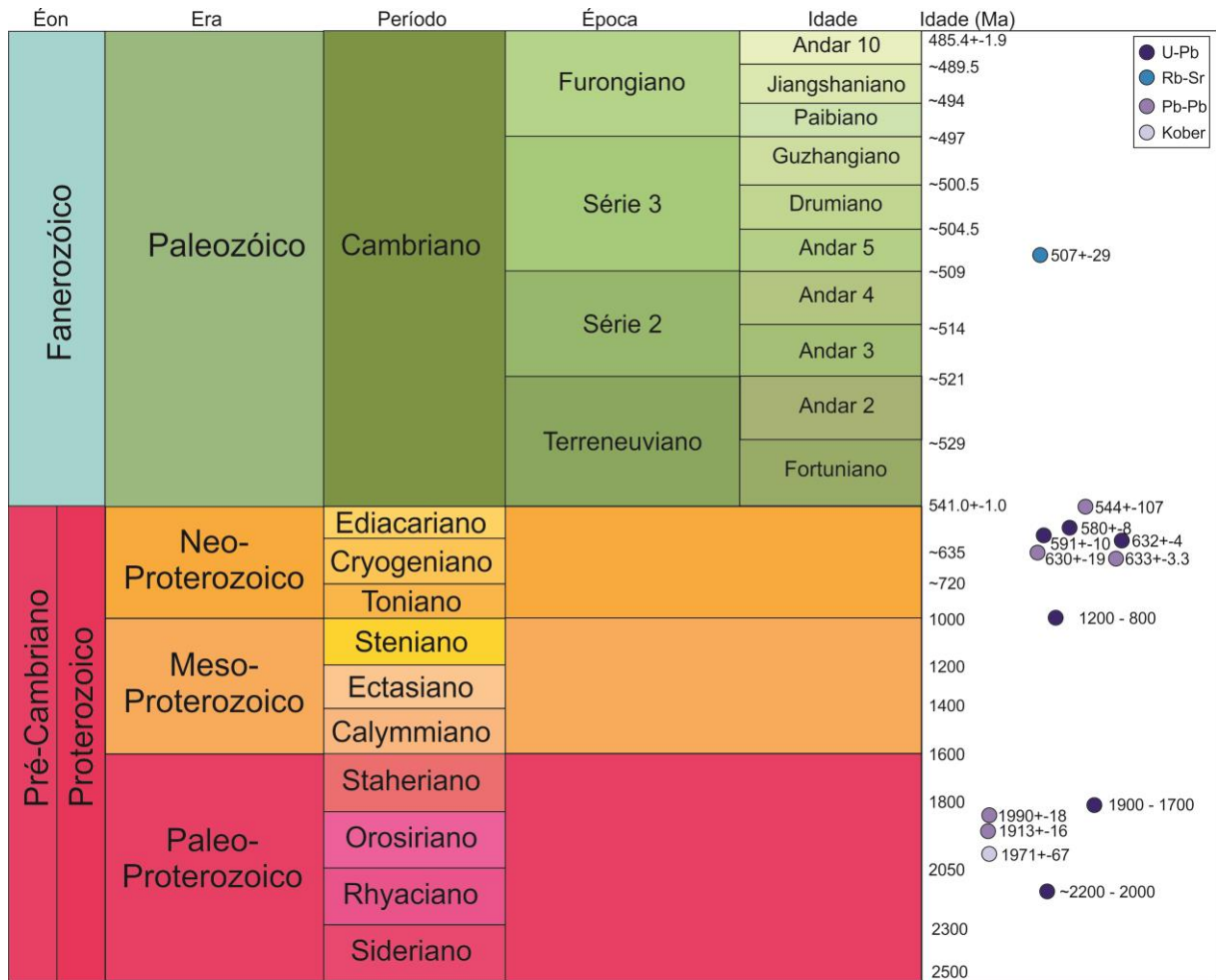


Figura 3.16 - Carta Cronoestratigráfica mostrando os métodos de datação geocronológica aplicados no Granito Chaval e as idades encontradas. Fonte: Do autor.

Em relação a sua geologia estrutural, a proposta apresentada por Gorayeb & Lima (2014) é que abrange o corpo de forma mais ampla e inclui as ideias apresentadas por outros autores. Esta proposta estabelece dois domínios estruturais para o Granito Chaval. O Domínio A de trama ígnea e o Domínio B com feições de milonitização.

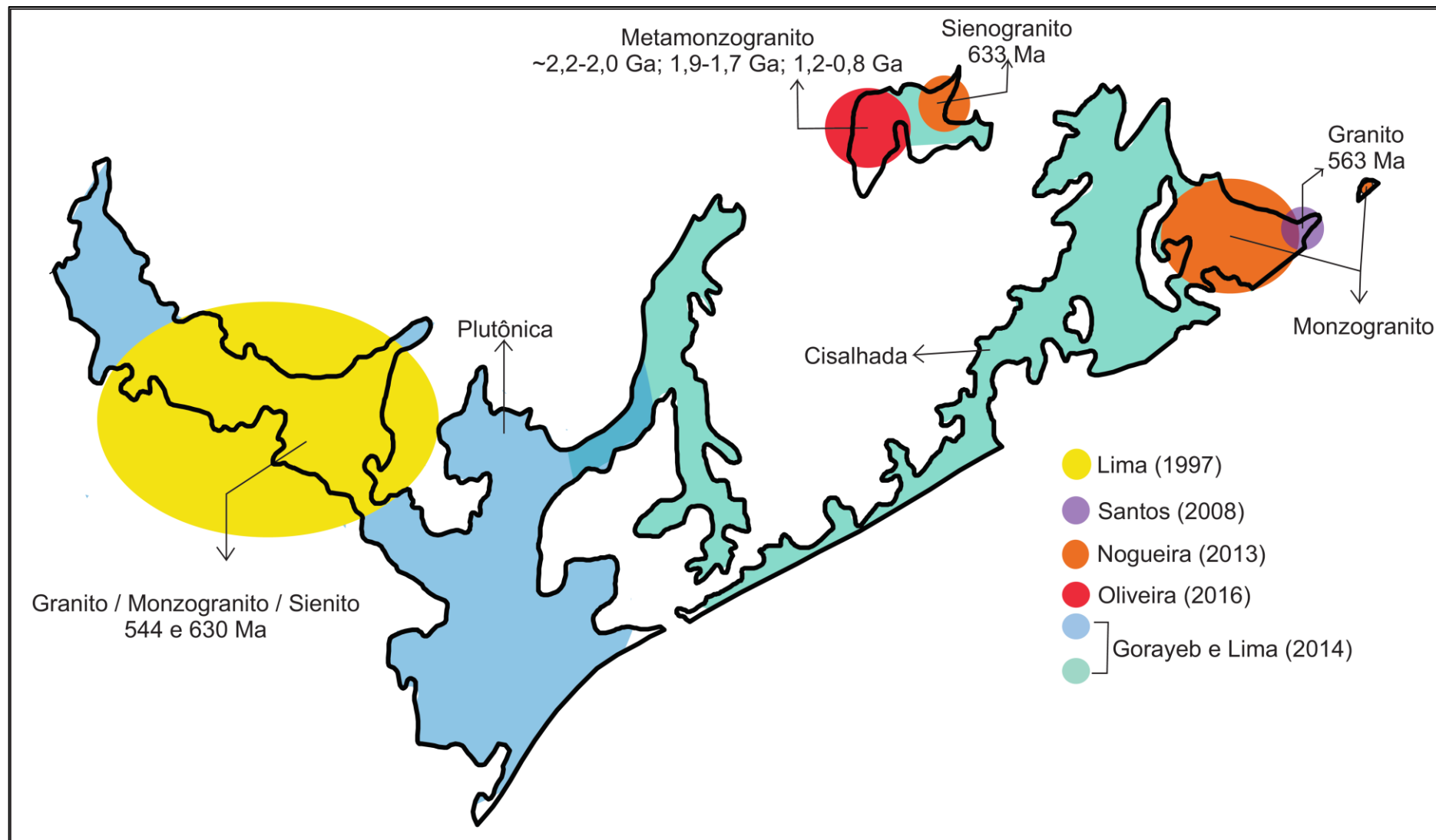


Figura 3.17 – Mapa do Granito Chaval mostrando suas classificações e idades através de dados coletados por diferentes autores através dos anos. Fonte: Do autor.

ANÁLISE DO GRANITO CHAVAL POR GAMAESPECTROMETRIA

4.1 GAMAESPECTROMETRIA

De acordo com Dentith & Mudge (2014) a gamaespectrometria é um método de sensoriamento remoto geofísico muito utilizado no mapeamento geológico por ter diferentes assinaturas radioativas que são emitidas pelos diversos minerais. Este método capta a emissão de raios gama (γ) das rochas superficiais.

A (International Atomic Energy Agency - IAEA 2003) diz que a radiação com maior poder de penetração, vinda tanto de meios naturais quanto antrópicos, são os raios gama. Radionuclídeos individuais emitem raios gama de energia específica que são características de um elemento e isótopo que são captados pelos diferentes espectrômetros. As pesquisas com raios gama permitem a interpretação de características regionais em grandes áreas. São usadas na geologia, geoquímica ou mapeamento ambiental. Nem todos os radioisótopos produzem raios gama com energia de intensidade suficiente para ser usado em mapeamento destes raios. O potássio (^{40}K), urânio (^{238}U e ^{235}U) e tório (^{233}Th) produzem raios de alta intensidade suficiente para serem usados em mapeamento. Os espectrômetros leem os raios gama emitidos por estes isótopos.

4.2 OCORRÊNCIA DOS RADIOELEMENTOS K, U E TH

Os radioelementos de maior contribuição no processo de radioatividade natural das rochas são o potássio, urânio e tório. Estes três elementos tem comportamento litófilo, logo, são mais facilmente observados em rochas ígneas ácidas, como os granitos (Soares 2001).

O potássio é um dos elementos mais ricos na crosta terrestre. Este elemento ocorre principalmente associado a feldspatos potássicos, como ortoclásio e microclínio, com teores em torno de 13%, mas também pode ser observado em algumas micas, como biotita e muscovita com teores médio de 8%, e argilominerais. Logo, em relação a litologia, o potássio está presente com valores mais elevados em rochas ígneas félsicas e suas equivalentes vulcânicas, assim como em rochas metamórficas micáceas e em algumas rochas sedimentares como folhelhos e argilitos (Ribeiro *et al.* 2013). Adicionalmente, Soares (2001) complementa que o intemperismo pode influenciar nos teores de potássio nas rochas. Ao ser liberado por processos intempéricos, o K pode formar illita ou argilominerais.

O urânio e o tório são elementos menos abundantes na crosta, em relação ao potássio. O urânio tem seus maiores valores na crosta em torno de 2,7 ppm e o tório tem concentração em cerca de 1,2 ppm. Estes dois elementos ocorrem principalmente associados a minerais acessórios em rochas ígneas e metamórficas quartzo-feldspáticas (Ribeiro *et al.* 2013).

De acordo com Soares (2001) o urânio é um dos elementos com menor concentração na crosta. Os minerais com urânio primário mais comuns são monazita, xenotímio e zircão, mas também ocorre em minerais a óxidos e silicatos, como a uraninita e uranotorita. Quando exposto ao intemperismo, o urânio é liberado de alguns minerais e retido em óxidos de ferro autigênicos e argilominerais.

Em relação ao tório, Soares (2001) diz que este também é um elemento de baixo teor na crosta. Sua ocorrência está relacionada as minerais allanita, xenotímio, monazita e zircão, sendo os dois últimos os principais minerais de tório primário e estáveis durante o intemperismo. No entanto, o tório também pode ser liberado durante o intemperismo, quando este fenômeno ocorre, este elemento é retido em minerais hidratados ou oxidados a base de Fe, Ti ou argilominerais.

Ribeiro *et al* (2013) cita os estudos de Dickson & Scott (1997) para afirmar que o teor médio dos radioelementos nas rochas ígneas é diretamente relacionado ao teor de sílica (Fig. 4.1). Logo, as rochas félsicas apresentam teores mais elevados de radioelementos do que as rochas máficas (tabela 4.1). É possível afirmar também que as rochas formadas nos últimos estágios de colocação ígnea apresentam valores mais altos de potássio e menores quantidades de tório e urânio.

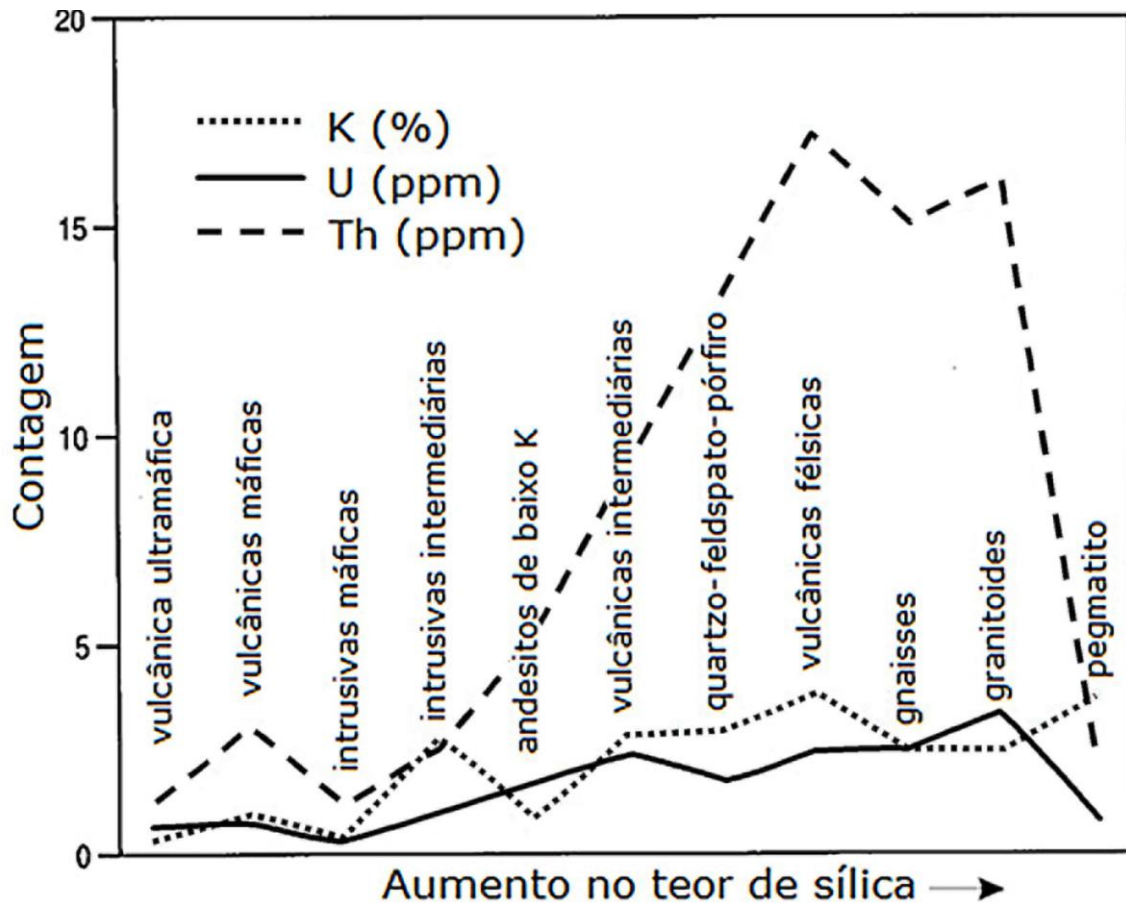


Figura 4.1 – Variação nos teores médios de U e Th nas rochas ígneas em relação ao teor de sílica. Fonte: Ribeiro *et al.* (2013).

Ribeiro *et al.* (2013) diz que a análise de dados gamaespectrométricos adiciona importantes informações em relação a composição das rochas de uma região, sendo que esta informação se limita as rochas superficiais. Ainda conforme este autor, a interpretação de dados radiométricos leva a uma variedade de interpretações, e assim a geração de diferentes mapas, como o mapa razão e o mapa ternário. O primeiro é gerado a partir da contagem individual dos radioelementos, para então se ter as razões U/Th, U/K e Th/K. Este tipo de mapa, além de mostrar diferença entre as concentrações de radioelementos em rochas graníticas, também pode identificar áreas de forte alteração hidrotermal do tipo potássica e/ou sílica. Já o mapa ternário é formado por uma associação de cores que atribuídas aos radioelementos. No caso deste estudo o padrão de cores adotado é o RGB, associando as cores verde, azul e vermelho a concentração em porcentagem do tório, urânio e potássio respectivamente. Assim, este tipo de mapa ressalta contrastes destes três elementos em uma área.

Tabela 4.1 – Variação da concentração média dos radioelementos em rochas e solos na Austrália. Fonte: Ribeiro *et al.* (2013).

Tipo de Rocha	Rocha			Solo		
	K (%)	U (ppm)	Th (ppm)	K (%)	U (ppm)	Th (ppm)
INTRUSIVAS						
granitóides	0,3-4,5	0,4-7,8	2,3-45	0,4-3,9	0,5-7,8	2,0/37
rochas gnaissicas	2,4-3,8	2,1-3,6	18-55	0,7-1,9	1,6-3,8	6,0-19,0
pegmatito	2,6-5,5	0,3-1	0,3-9,6	-	-	-
aplitos	0,6-4	1,0-8,0	3,0-20	-	-	-
quartzo-feldspatos porfiríticos	1,0-5,0	1,3-2,9	6,0-14,0	-	-	-
intrusvas intermediárias	0,7-5,6	0,1-1,2	0,8-6,1	0,7-3,4	1,5-2,6	2,9-8,4
intrusvas máficas	0,1-0,8	0,0-1,1	0,0-3,1	-	-	-
EXTRUSIVAS						
vulcânicas félsicas	2,0-4,4	1,4-13	13-28	1,8-3,2	1,3-2,4	10-18,0
vulcânicas intermediarias	1,8-4,1	0,9-5,6	1,5-15	1,0-2,7	1,2-3,6	4,0-17
andesitos com baixo-K	0,7-0,9	1,0-2,5	3,0-8,0	0,8-1,5	1,2-1,5	4,0-6,0
vulcânicas máficas	0,3-1,3	0,3-1,3	2,0-5,0	0,2-1,4	0,6-2,5	3,3-13
vulcânicas ultramáficas	0,2-0,9	0,3-0,9	0,0-4,0	-	-	-
SEDIMENTARES						
folhelhos arqueanos	0,4-1,6	0,3-1,3	1,0-5,0	-	-	-
outros tipos de folhelhos	0,1-4,0	1,6-3,8	10-55,0	0,7-3,0	1,2-5,0	6,0-19,0
arenitos	0,0-5,5	0,7-5,1	4,0-22,0	0,1-2,4	1,2-4,4	7,0-18,0
carbonatos	0,0-0,5	0,4-2,9	0,0-2,9	-	-	-

4.3 GAMAESPECTROMETRIA DO GRANITO CHAVAL

O levantamento de dados de gamaespectrometria na região do Granito Chaval foi realizada pela CPRM na escala de 1:250.000. No entanto, por se tratar de projeto relacionado ao mapeamento do Estado do Ceará, este levantamento abrange somente a Folha Chaval, não sendo possível a análise de gamaespectrometria da porção do Granito Chaval na Folha Buriti dos Lopes, no Estado do Piauí.

A figura 4.2 mostra a forma do Granito Chaval com base no mapeamento realizado pelo Projeto Jaibaras sobreposta ao mapa de contagem total de radiação gama. Nota-se um grande contraste gamaespectrométrico nesta região. O Granito Chaval é caracterizado por valores entre 4.18 e 16.87. Este tipo de imagem é decomposta nos valores de Th, U e K para posteriormente formar o mapa ternário.

A figura 4.3 apresenta a forma do Granito Chaval com base no mapeamento realizado pelo Projeto Jaibaras sobreposta ao mapa do teor do radioelemento tório. Pode-se observar, de uma forma geral, que os teores de tório nos limites do Granito Chaval ficam em torno de 10 ppm, com exceção de uma pequena porção a NE do corpo, onde os valores permeiam entre 20 ppm. O alto valor de tório pode indicar a alta ocorrência de minerais

acessórios como zircão, epídoto, allanita e apatita. Sua ocorrência pode também estar relacionada a presença do mineral biotita e a composições pegmatíticas.

De acordo com Klepper & Wyant (1957) entre os diversos tipos de rochas, as ígneas ácidas são as que apresentam maior porcentagem de urânio, com 0,0004%. Ainda conforme estes autores, o teor de urânio em rochas ígneas segue o mesmo caminho da sílica, aumentado a sua proporção na rocha cristalizada de um magma da mais velha para mais nova. A ocorrência de urânio se dá principalmente em minerais acessórios como zircão, monazita e allanita, podendo ocorrer também em biotita.

A figura 4.4 apresenta a forma do Granito Chaval com base no mapeamento realizado pelo Projeto Jaibaras sobreposta ao mapa do teor do radioelemento urânio. Observa-se neste mapa que de uma forma geral os valores de urânio no Chaval ficam em torno de 1.73 ppm, com exceção da região ENE, onde a proporção de urânio chega até cerca de 3.22 ppm. Estes valores podem indicar que a porção ENE deste granito é mais ácida do que o restante do corpo, visto que o urânio tende a permanecer mais tempo na fase líquida.

A figura 4.5 apresenta a forma do Granito Chaval com base no mapeamento realizado pelo Projeto Jaibaras sobreposta ao mapa do teor do radioelemento potássio. A partir da análise do mapa, observam-se três padrões de ocorrência de potássio do Chaval. O primeiro, com média porcentagem de 1.13%, se concentram principalmente no centro-norte do corpo e está associado a drenagens. O segundo, com valor médio de 3%, são observados tanto no centro-sul quanto em NE do corpo. O terceiro, com até 5.5%, se concentra no centro-leste do granito.

A figura 4.6 apresenta o mapa ternário da Folha Chaval. A partir da análise desta imagem fica perceptível a forma do Granito Chaval, principalmente em relação a ocorrência de potássio. Adicionalmente, os limites do Chaval mapeados através do Projeto Jaibaras tem forte identificação com a imagem ternária, com exceção da porção do granito no centro-norte do corpo, onde há baixa ocorrência dos três radioelementos analisados.

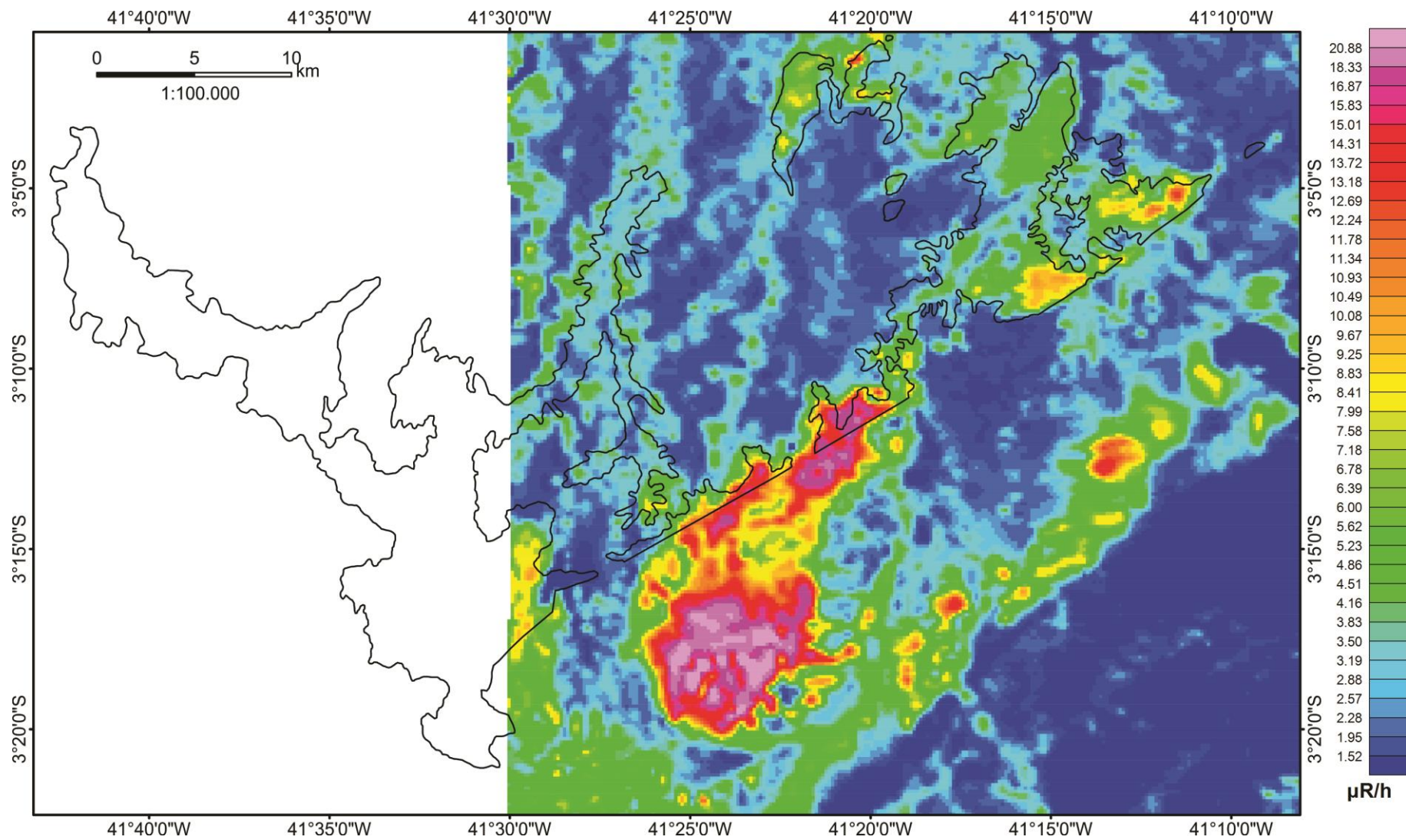


Figura 4.2 - Mapa de contagem total de radiação gama da Folha Chaval, adaptado do Projeto aerogeofísico Norte do Ceará. A forma do Granito Chaval tem como base o mapeamento das Folhas Buriti dos Lopes e Chaval do Projeto Jaibaras. Fonte: Do autor.

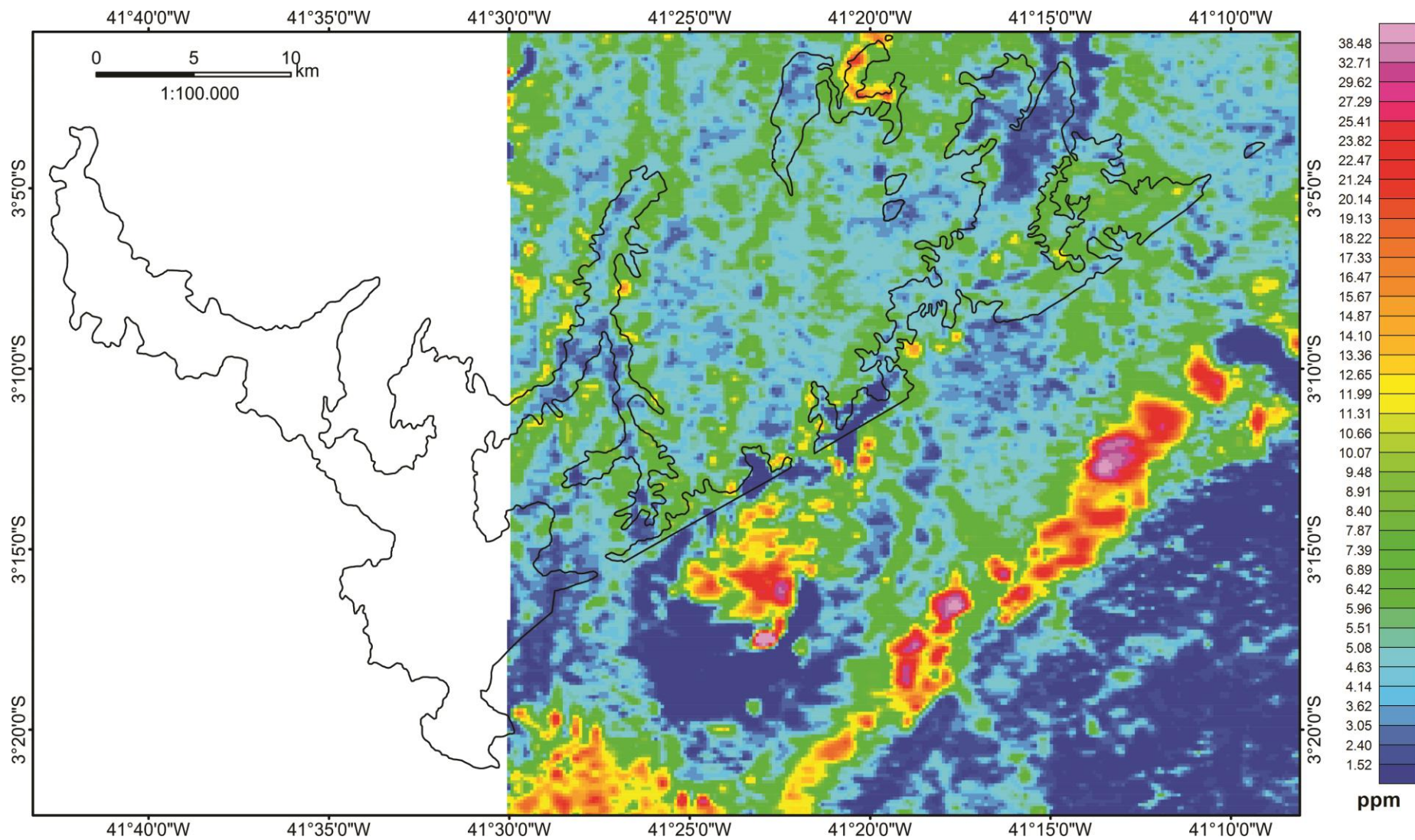


Figura 4.3 - Mapa do teor do radioelemento tório da Folha Chaval, adaptado do Projeto aerogeofísico Norte do Ceará. A forma do Granito Chaval tem como base o mapeamento das Folhas Buriti dos Lopes e Chaval do Projeto Jaibaras. Fonte: Do autor.

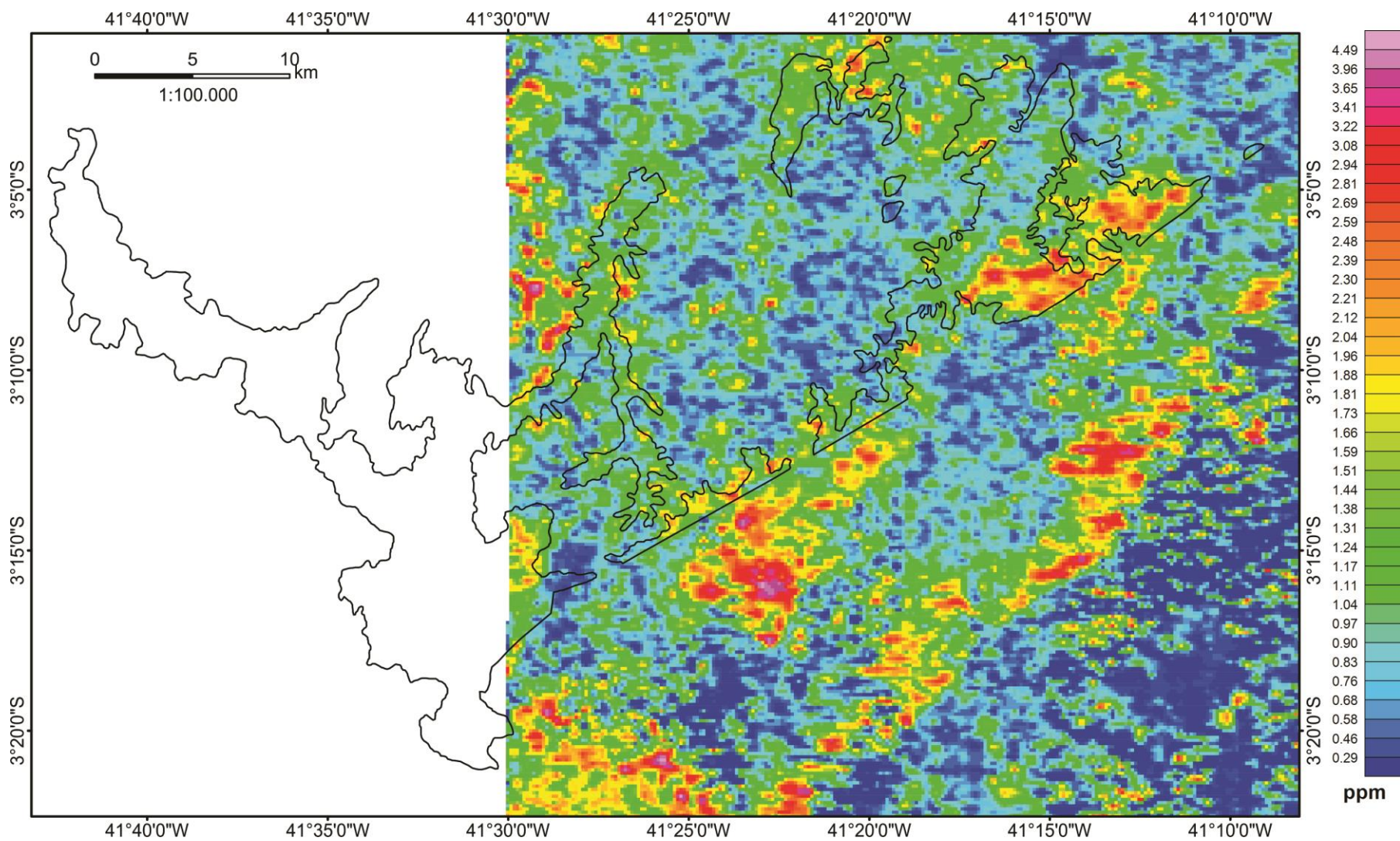


Figura 4.4 - Mapa do teor do radioelemento urânio da Folha Chaval, adaptado do Projeto aerogeofísico Norte do Ceará. A forma do Granito Chaval tem como base o mapeamento das Folhas Buriti dos Lopes e Chaval do Projeto Jaibaras. Fonte: Do autor.

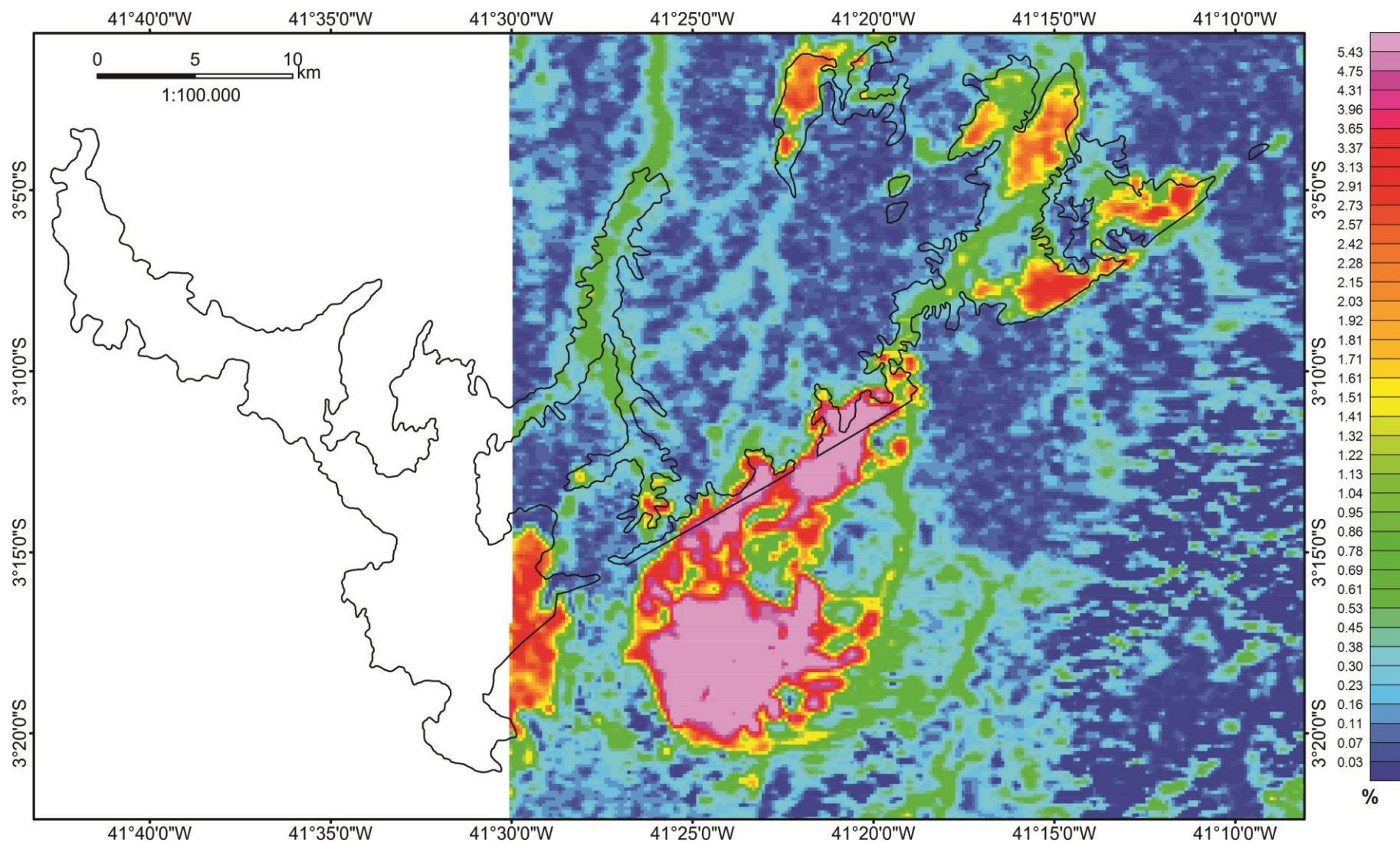


Figura 4.5 - Mapa do teor do radioelemento potássio da Folha Chaval, adaptado do Projeto aerogeofísico Norte do Ceará. A forma do Granito Chaval tem como base o mapeamento das Folhas Buriti dos Lopes e Chaval do Projeto Jaibaras. Fonte: Do autor.

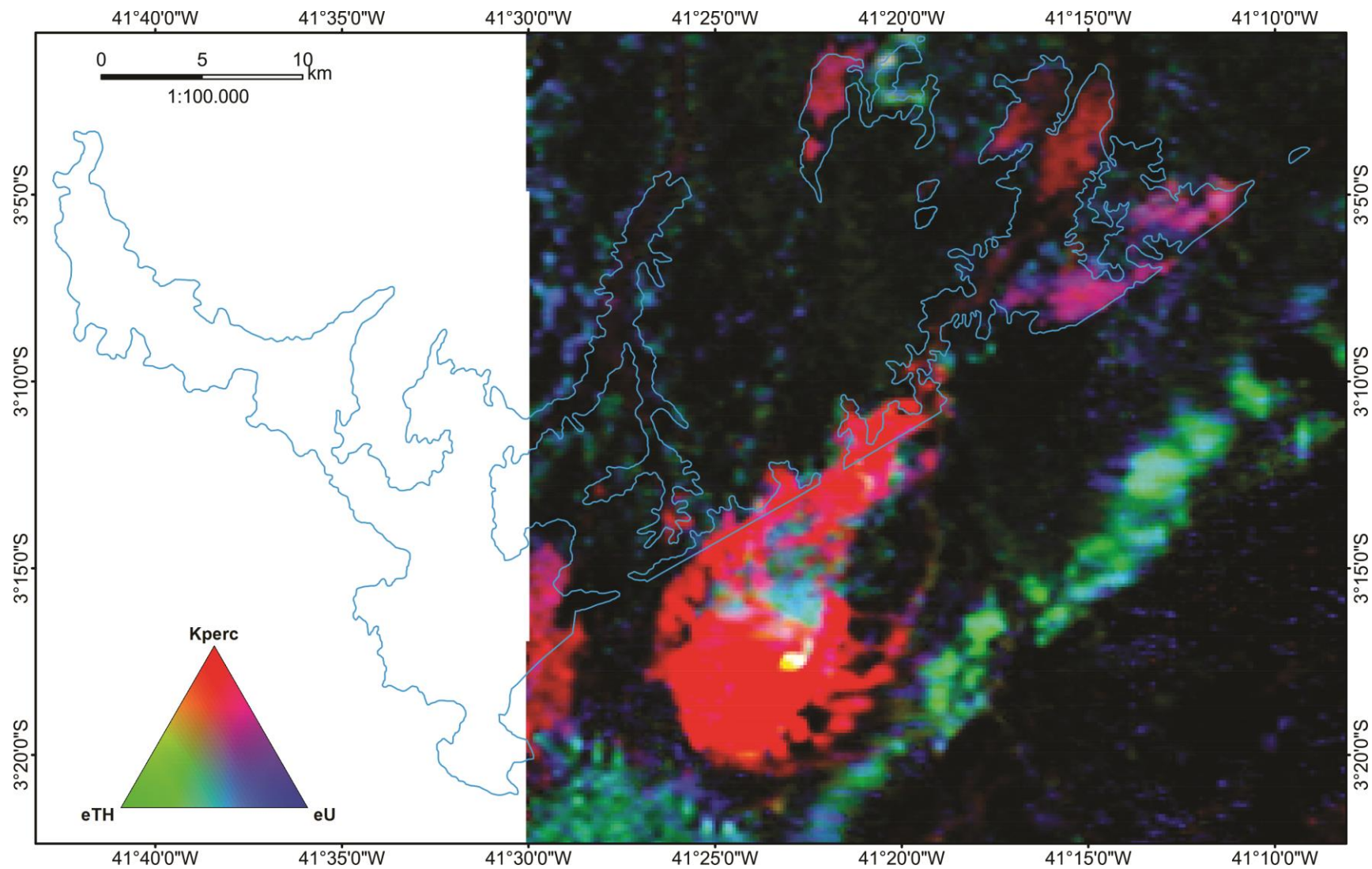


Figura 4.6 - Mapa ternário da Folha Chaval, adaptado do Projeto aerogeofísico Norte do Ceará. A forma do Granito Chaval tem como base o mapeamento das Folhas Buriti dos Lopes e Chaval do Projeto Jaibaras. Fonte: Do autor.

Além da análise individual dos radioelementos, a gamaespectrometria permite a interpretação das imagens de razões Th/K, U/Th e U/K. Este tipo de estudo apresenta informações que somam as demais análises de gamaespectrometria.

O tório é um elemento pouco móvel, de difícil remoção por processos pós-cristalização, como hidrotermalismo ou processos supergênicos, por isso é fortemente correlacionável a sua rocha fonte, apresentado mais condizente com os teores equivalentes a gênese da rocha (Soares 2001). Ainda conforme este mesmo autor, na contramão do tório, o potássio é um elemento com alta capacidade de remobilização, podendo facilmente sofrer alterações durante processos hidrotermais ou metamórficos, logo, é menos correlacionável com as proporções da rocha fonte.

Para Carvalho (1999) a razão entre a concentração de tório e potássio é tendenciosa a representar zonas de ocorrência de depleção ou concentração de potássio sem enriquecimento de tório. Assim, os baixos valores para a razão Th/K podem indicar zonas de alteração hidrotermal.

O mapa gamaespectrométrico Th/K da Folha Chaval (Fig. 4.7) mostra, de uma forma geral, baixo valores para esta razão. Este resultado pode ser associado a zona de cisalhamento Santa Rosa. A ocorrência desta zona pode ter desequilibrado o sistema mineral do Granito Chaval levando a alterações hidrotermais, com remobilização do radioelemento potássio, mas sem alterações no tório.

De acordo com Soares (2001) tanto o urânio quanto o potássio são fortemente influenciados por hidrotermalismo, magmatismo e intemperismo. O mapa gamaespectrométrico U/K (Fig. 4.8) mostra a baixa ocorrência de urânio em relação ao potássio, também auxilia na demarcação dos limites do Granito Chaval.

A razão U/Th é, geralmente, utilizada para determinar a lixiviação do urânio na rocha, onde o desequilíbrio nesta razão pode ser um indicador da intensidade do intemperismo (Soares 2001). O mapa gamaespectrométrico U/Th do Granito Chaval na porção da Folha Chaval (Fig. 4.9) mostra, em geral, altos valores desta razão, expressando um equilíbrio entre os teores de urânio e tório, podendo-se concluir que houve baixa influência do intemperismo nesta rocha, com pouca lixiviação.

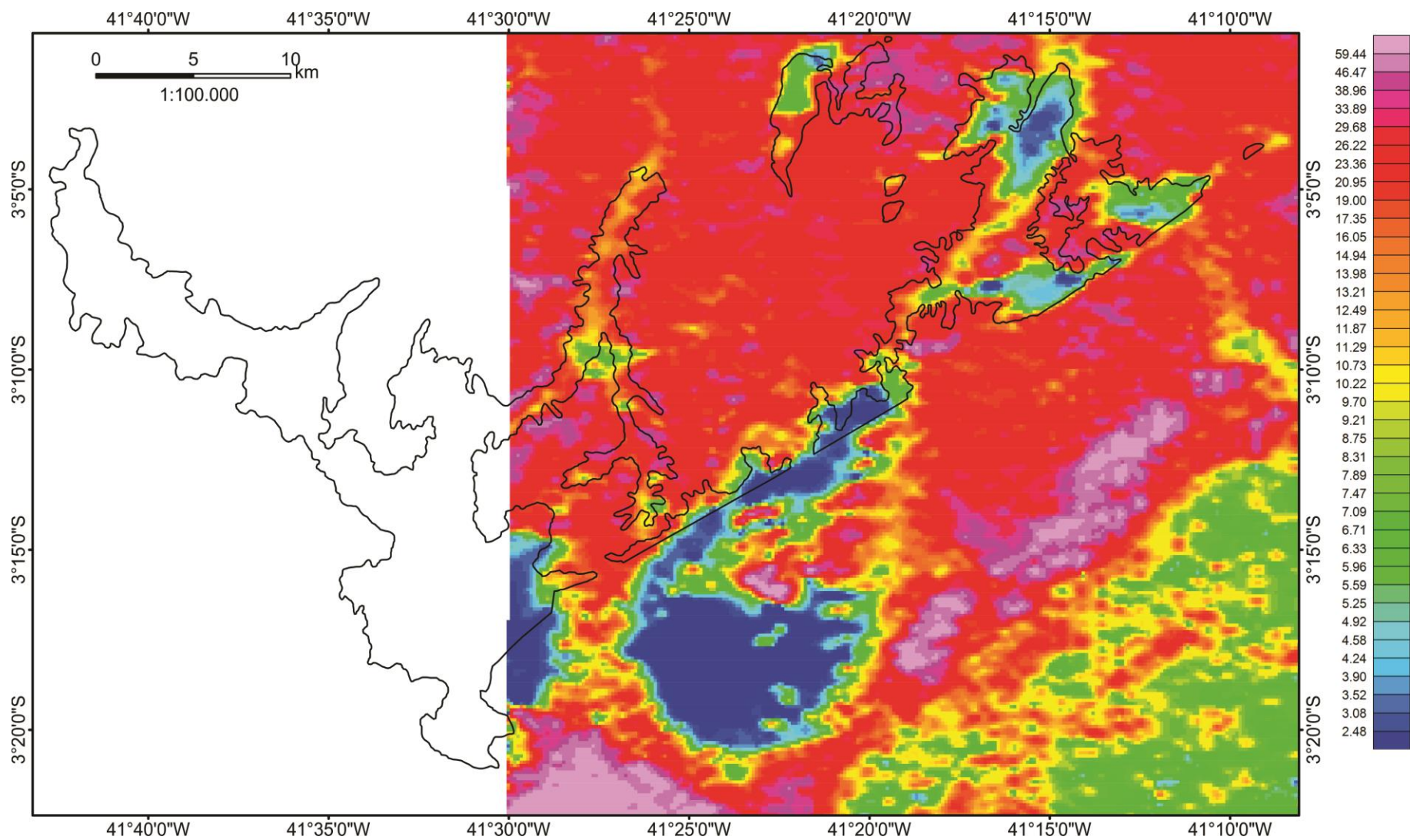


Figura 4.7 - Mapa gamaespectrométrico da razão Th/K da Folha Chaval, adaptado do Projeto aerogeofísico Norte do Ceará. A forma do Granito Chaval tem como base o mapeamento das Folhas Buriti dos Lopes e Chaval do Projeto Jaibas. Fonte: Do autor.

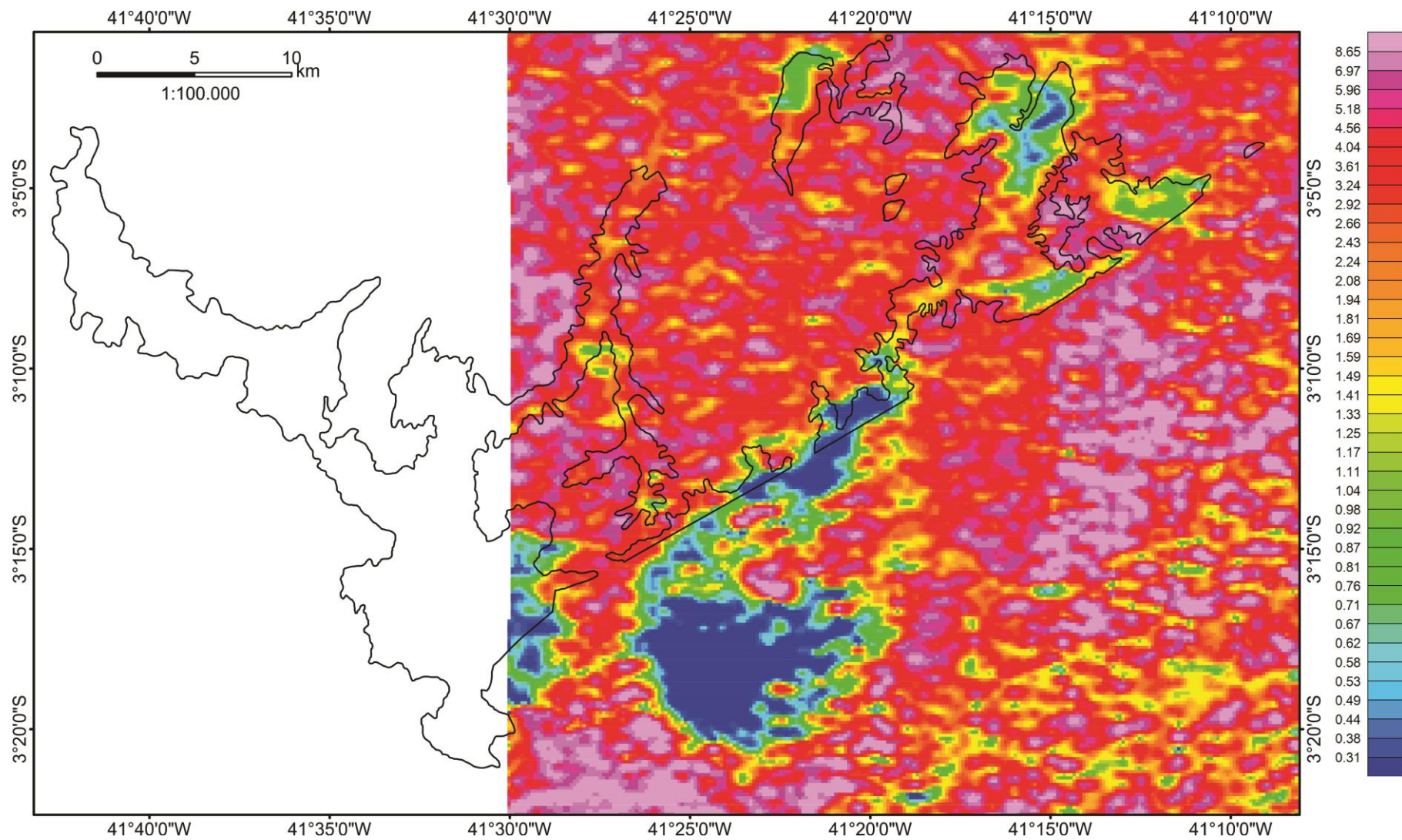


Figura 4.8 - Mapa gamaespectrométrico da razão U/K da Folha Chaval, adaptado do Projeto aerogeofísico Norte do Ceará. A forma do Granito Chaval tem como base o mapeamento das Folhas Buriti dos Lopes e Chaval do Projeto Jaibaras. Fonte: Do autor.

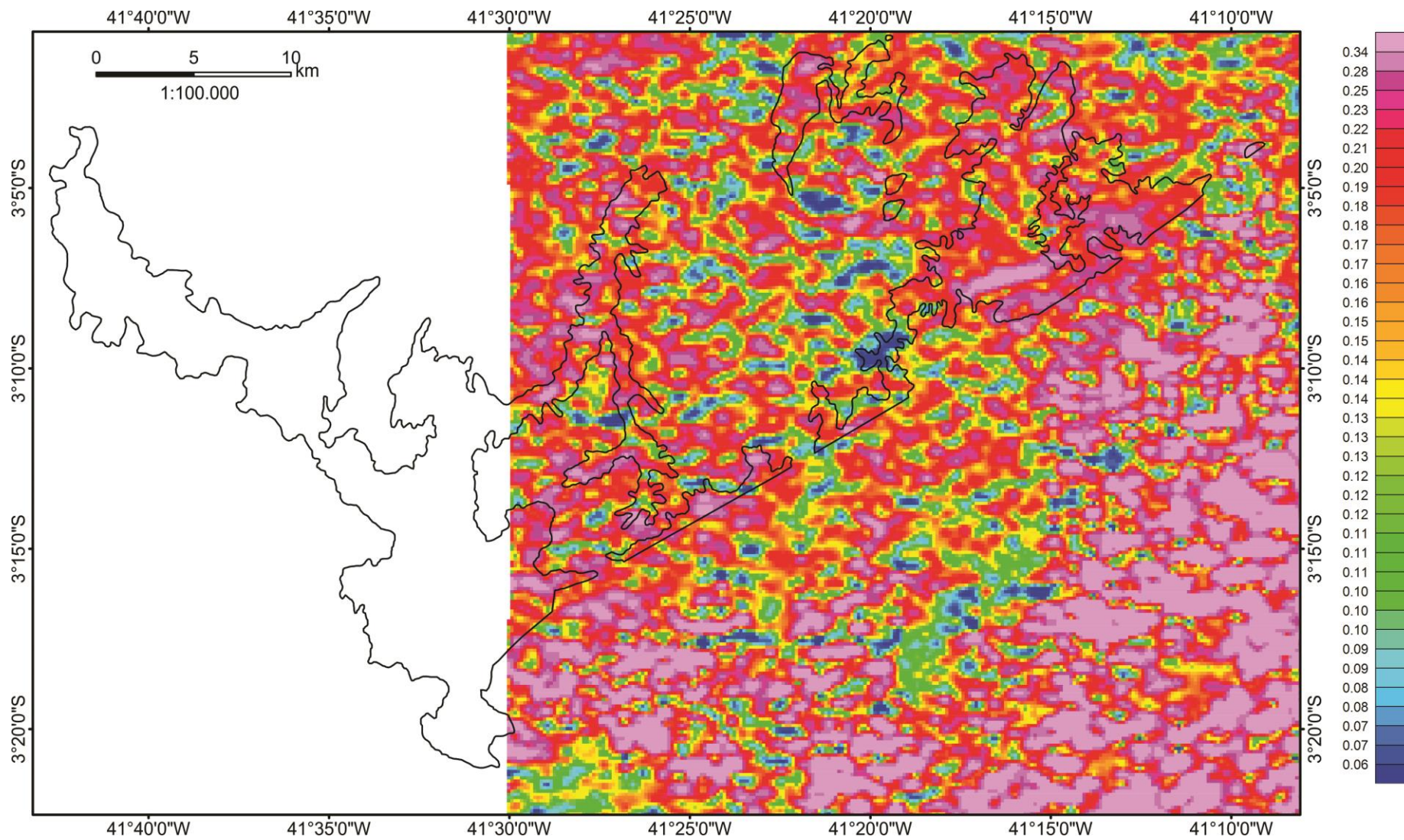


Figura 4.9 - Mapa gamaespectrométrico da razão U/Th da Folha Chaval, adaptado do Projeto aerogeofísico Norte do Ceará. A forma do Granito Chaval tem como base o mapeamento das Folhas Buriti dos Lopes e Chaval do Projeto Jaibaras. Fonte: Do autor.

4.4 INTERSEÇÃO DO ESTADO DA ARTE DO GRANITO CHAVAL E SUA ANÁLISE GAMAESPECTROMÉTRICA

A análise de gamaespectrometria do Granito Chaval acrescenta informações, principalmente, sobre a sua composição e forma. Assim, a relação destas informações com os dados dos estudos prévios sobre este granito é uma poderosa ferramenta para sua análise geológica.

Em relação a sua forma, os mapas ternário (Fig. 4.6) e de concentração do radioelemento potássio (Fig. 4.5) são os que mais acrescentam. Nos dois casos a resposta encontrada é fortemente concordante a forma do Granito Chaval proposta pelo Projeto Jaibaras. Sendo tal resultado positivo, pode-se inferir que a porção do Chaval na Folha Buriti dos Lopes representada no Projeto Jaibaras é correspondente a real forma do corpo rochoso.

O mapa ternário (Fig. 4.6) apresenta o Chaval como uma rocha quase uniformemente rica em potássio, uma pequena porção em ENE com teores relevantes de tório, reforçando as afirmativas de Nogueira (2013) sobre a ocorrência de monzogranito nesta região, pois os altos teores de tório podem indicar a cristalização de magma evoluído.

O mapa gamaespectrométrico Th/K da Folha Chaval (Fig. 4.7) mostra informações condizentes com as propostas por Gorayeb & Lima (2014). Sendo os baixos valores desta razão um forte indicador de alteração hidrotermal, podendo tal evento ser resultante da zona de cisalhamento proposta pelos autores citados.

GRANITO CHAVAL: UMA PROPOSTA INTEGRATIVA – CONCLUSÕES

Os mapas geológico-geofísicos mostram claramente que o limite leste do Granito Chaval é demarcado pela Zona de Cisalhamento Santa Rosa e pelas rochas do embasamento do Domínio Médio Coreau, Complexo Granja (Fig. 3.5). Com relação ao limite oeste apenas uma indicação gravimétrica parece indicar a sua continuidade até o limite com a bacia do Parnaíba e rochas do embasamento (tonalitos e rochas supracrustais), como apresentado por Jorge (2013). Para norte e para sul não existem elementos indicativos para que sejam definidos os seus contatos.

Se comparado à situações semelhantes de natureza petrográfica do corpo e sua configuração espacial ele poderia ser assemelhado ao corpo Quixeramobim. O qual também é limitado por uma zona de cisalhamento (Senador Pompeu). De uma forma geral, assim como o Granito Chaval, o Quixeramobim tem textura porfiróide, com cristais médios a grosseiros, fenocristais de feldspato, foliação magmática e tectônica, sendo granítico, granodiorítico, monzogranítico e diorítico (Marques 2014).

As variedades petrográficas apresentadas pelo corpo, às quais se associam diferenças em termos de idade, podem ter significados distintos. Poderá ser o corpo na sua totalidade, um grande batólito, formado por intrusões polidiapíricas que teriam assim composições diferentes. Ou poderia ser também o batólito não um corpo único, formado em um único evento, mas um complexo com rochas de diferentes origens e idades, embora em sua expressão máxima, magmáticas.

Analisando as idades e suas distribuições espaciais, é possível intuir que o corpo Chaval é o resultado de um hibridismo, no qual se juntariam magma primário que ao assimilar rochas encaixantes de idades diversas guardariam dos mesmos zircões herdados que permitiram o encontro de idades distintas de um magma essencialmente brasileiro, como dão conta muitas idades.

Se assim for, deveriam existir nessa área do Domínio Médio Coreau rochas pretéritas do Paleoproterozoico, como encontrado na região de Granja e na Pedreira da Jandira, mas também e isso seria um novidade, rochas do Mesoproterozóico, correlacionáveis àquelas geradas no Ciclo Cariris Velhos e descritas por Campos Neto *et al.* 1994 e Brito Neves *et al.* 1995, principalmente no contexto da Zona Transversal (idades entre 1,2 – 0,8 Ga).

A idade Mesoproterozóica encontrada por Oliveira (2016) é de amostras localizadas a NE do Chaval, como pode ser observado na figura 5.1 esta porção do granito apresenta uma brusca mudança nos teores dos radioelementos K e Th, assim como nas razões U/K e Th/K. Estas alterações abruptas podem indicar fontes distintas para o magma que deu origem a esta rocha, assim como processos geológicos que levaram a alguma alteração mineral.

Sendo o tório um elemento de baixa mobilidade, há uma grande probabilidade de este ser representante da rocha fonte do magma. Logo, esta diferença nos valores de Th pode indicar fontes magmáticas distintas para esta porção do Chaval. Adicionalmente, o baixo valor da razão Th/K na porção oeste do corpo em destaque na figura 5.1 pode indicar retrabalhamento mineral nesta região. Sendo necessária uma pesquisa localizada nesta região para a confirmação de tal informação.

As feições estruturais mesoscópicas marcantes encontradas no Granito Chaval são principalmente foliações descritas como magmáticas, principalmente pela ausência de modificação de forma de cristais de feldspato; foliações metamorfo-deformacionais em contexto de deformação plástica gerando foliações caracteristicamente miloníticas; clivagem de fratura desenvolvida em deformação cataclástica, relacionadas à zonas de falhas. Lineações minerais de estiramento mineral são também feições por vezes marcantes, descritas por vários autores, normalmente com baixos valores de mergulho, indicativas de movimentação marcadamente transcorrente.

A presença dessas estruturas no corpo, principalmente estruturas da fase dúctil associada à textura porfirítica que o corpo apresenta em vários locais suscita levantar a suposição de uma história de colocação do corpo em um contexto cinemático no qual se distinguem duas fases distintas, a saber: a) a primeira em condições mecânicas em que a relação cristal – líquido no magma gerador do corpo agregou características de sólidos cujas condições cinemáticas reinantes permitiram o desenvolvimento de foliações miloníticas deformando e amendoando cristais inicialmente formados; b) um segundo evento de cristalização no qual não mais existiriam a situação de movimento, o que permitiriam a formação de uma segunda geração de cristais perfeitamente bem formados e estabelecendo relações secantes com a foliação milonítica.

Nessas condições a descrição de texturas porfirítica no sentido estrito do termo não se sustentariam. Sendo que de acordo com Lapidus (1990) a textura porfirítica é interpretada

em termos de um processo de resfriamento de dois estágios distintos: um período inicial de resfriamento lento, onde os grandes cristais são formados, seguido por uma fase de cristalização mais dinâmica, resultando na formação de cristais mais finos.

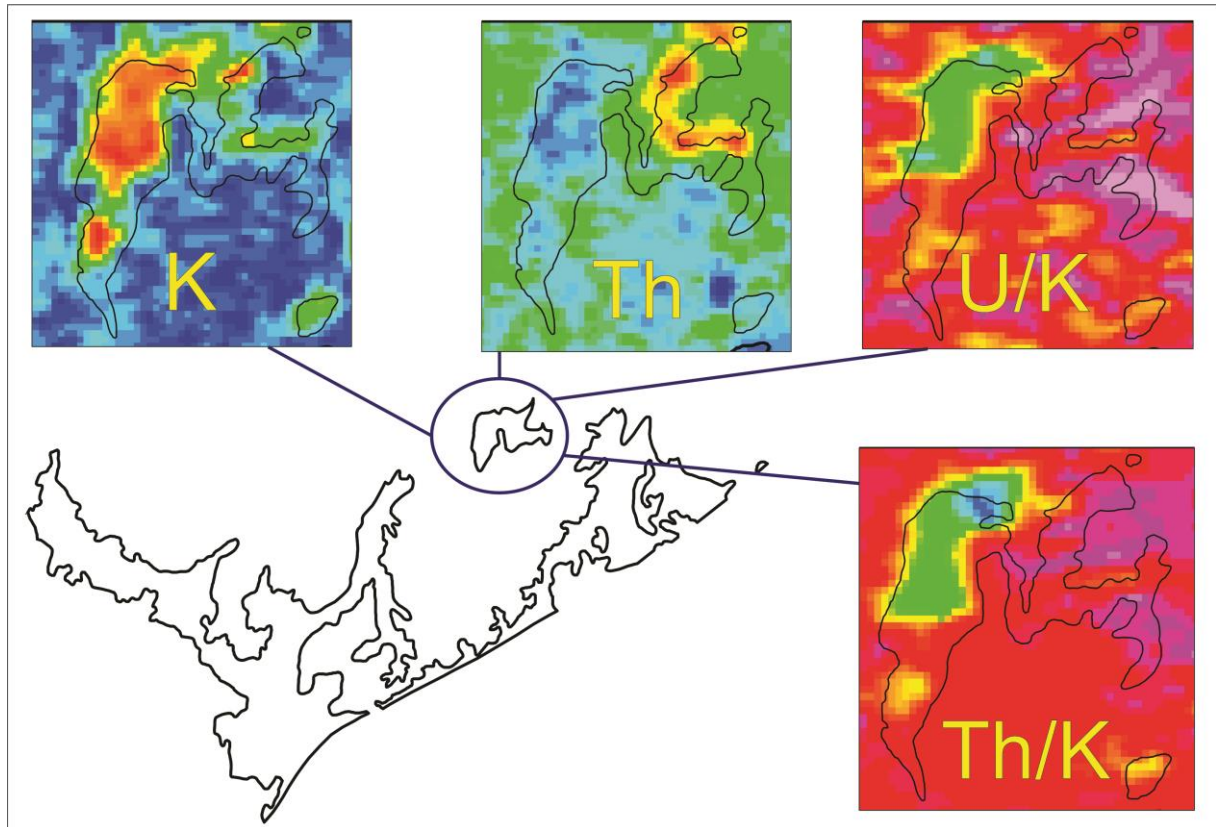


Figura 5.1 - Foco nos teores dos radioelementos K e Th, e nas razões U/K e Th/K em parte da região NE do Granito Chaval. Nota-se uma abrupta variação nos teores desses radioelementos, assim como suas razões, podendo tal fenômeno ser um indicador de fonte magmática distinta. Fonte: Do autor

A organização estrutural na qual se insere o Granito Chaval é, cartograficamente, a de faixas alongadas de rochas, de resto presente em todo o Domínio Médio Coreaú, no caso orientadas NE-SW e com mergulhos persistentemente para SE, desenhando assim um sistema imbricado, o qual favoreceu a justaposição lateral, de conjuntos tectônicos de idades, composição e histórias distintas, configurando o que Abreu (1990) denominou Cinturão de Cisalhamento Noroeste do Ceará.

Essa mesma configuração é encontrada no seio do Granito Chaval, uma vez que internamente o corpo é recortado por várias faixas miloníticas métricas à decamétricas que em escala meso a macroscópica configuram um complexo sistema anastomosado, definindo meso a macroamendoas, nas quais as texturas ígneas ocorrem com maior destaque. Isso indica que o corpo, provavelmente se colocou em um tempo tardi a pós cinemático como dão conta suas texturas e estruturas internas.

Esse sistema teria vergência no sentido do Cráton São Luis- Oeste Africano, no lado americano, situado á Noroeste dessa área. Tal imbricação – vergência muito provavelmente teria tido sua fase principal durante o Ciclo Brasileiro, talvez mimetizando uma estruturação mais antiga do Paleoproterozoico.

Finalizando, pode-se dizer que muito ainda falta para um conhecimento mais abrangente do Granito Chaval o que deixa em aberto a possibilidade de um detalhamento cartográfico, definindo a espacialidade de texturas, estruturas tectôgenas, diferenças composicionais e sítios mais destacados de influência de protólitos quando da formação do magma gerador do corpo, o que pode trazer contribuições mais robustas ao conhecimento sobre esse corpo e a sua importância no contexto da evolução geotectônica do Domínio Médio Coreauí.

REFERÊNCIAS

- Abreu F. A. M. 1990. *Evolução geotectônica da região Meio Norte do Brasil sua correlação com a África Ocidental*. TS Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará. Belém, 420p.
- Almeida F. F. M., Hasui Y., Brito Neves B. B., Fuck R. A. 1981. Brazilian structural Provinces: an introduction. *Earth-ScienceReviews*, **17** : 1-29.
- Aragão A. L. S. 2018. *Petrografia, geoquímica e geocronologia do granito Chaval, Noroeste da Província Borborema*. DS Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, UFPA, Belém, 110p.
- Bizzi L.A., Schobbenhaus C., Vidotti R.M., Gonçalves J.H. 2003. *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas & SIG*. CPRM, Brasília,DF. 692 p.
- Brito Neves B., Passarelli C.R., Basei M.A.S., Santos E.J dos. 2003. Idades U – Pb em zircão de alguns granitos clássicos da província Borborema. *Revista do Instituto de Geociências*. USP, São Paulo. **3**: 25 – 38.
- Brito Neves B., Van Schumus W.R., Santos E.J. dos, Campos Neto M.C., Kozuch M. 1995. O evento Cariris Velhos na Província Borborema: integração de dados, implicações e perspectivas. *Revista Brasileira de Geociências*. **25** : 279-296.
- Campos Neto M.C., Bittar S.M.B., Brito Neves B.B. 1994. Domínio tectônico Rio Pajeú- Província Borborema; orogêneses superpostas no ciclo brasileiro\pan-africano. In: SBG.38º Congresso Brasileiro de Geologia, Balneário de Camburiú, *Boletim de Resumos Expandidos*: v. 1, p.221-222.
- Carvalho M.T.N. 1999. *Integração de dados geológicos, geofísicos e geoquímicos aplicada à prospecção de ouro nos Greenstones Belts de Pilar de Goiás e Guarinos, GO*. DS Mestrado. Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, UNB, Brasília,DF, 157p.
- Corrêa E.J., Vasconcelos M., Souza M.S.L. 2013. *Iniciação à metodologia: textos científicos*. Nescon UFMG, Belo Horizonte. 142p.
- Deldago I.M., Souza J. D., Silva L. C., Silveira Filho N. C., Santos R. A., Pedreira A. J., Guimarães J. T., Angelim L. A. A., Vasconcelos A. M., Gomes I. P., Vacerda Filho J. V. L., Valente C. R., Perrotta M. M., Heineck C. A. 2003. *Geotectônica do Escudo Atlântico*. In: Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil. Bizzi L. A., Schobbenhaus C., Vidotti R. M., Gonçalves J. H. (Eds.). CPRM, Brasília,DF. 643p.
- Dentith M. & Mudge S.T. 2014. *Geophysics for the mineral exploration geoscientist*. Cambridge University Press, New York. 516 p.
- Fetter A.H., Santos T.J.S., Hackspacher P.C., Van Schumus W.R., Nogueira Neto J.A. 2004. Structural and geochronological studies of the Médio Coreáú Domain, NE Brazil: Constrains on Brasiliano/Pan-African tectonic evolution in the NW part of the Borborema Province. *Journal of the Virtual Explorer*. **17**: 1-16.

- Fetter A.H., Van Schmus, W.R., Santos, T.J.S., Arthaud, M. e Nogueira Neto, J.A. 2000. U-Pb and Sm-Nd geochronological constraints on the crustal evolution and basement architecture of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: implications for the existence of the Paleoproterozoic supercontinent "Atlantica". *Revista Brasileira de Geociências*, **30**: 102-106.
- Fetter A.H., Van Schmus W.R., Santos T.J.S., Arthaud M., Nogueira Neto J.A. 1997. Geologic history and framework of Ceará State: Northwest Borborema Province, NE Brazil. *South American Symposium on Isotope Geology, Brazil, Extended Abstracts*, pp. 112-114.
- Fetter A.H., Santos T.J.S., Nogueira Neto J.A., Van Schmus W.R. 1999. Geochronology U/Pb in zircon and Sm/Nd in total rock of the State of Ceará - results initials. In: 16th *Symposium of Geology of the Northeast*, Recife. Sociedade Brasileira de Geociências, **14**: 418-422.
- Gorayeb P. S. S. & Lima A. M. M. 2014. Aspectos texturais do magmatismo e tramas da tectônica impostas ao Granito Chaval na Zona de Cisalhamento Santa Rosa, extremo Noroeste da Província Borborema. *Brazilian Journal of Geology*, **44**: 653-668.
- Gorayeb P.S.S., Abreu F.A.M., Hasui Y. A. 1995. Tectônica distensiva e a geração de granitos EoPaleozoicos no oeste do Ceará. In: *XV Simpósio de Geologia do Nordeste*, Natal. p. 254 – 255.
- Hasui Y. 2012. Sistema orogênico Borborema. In: Hasui Y., Carneiro C.D.R., Almeida F.F.M., Bartorelli A. (Org.). *Geologia do Brasil*. São Paulo, Beca, p. 254-288.
- International Atomic Energy Agency (IEAE). 2003. *Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data*. IEAE, Vienna. 179p.
- Jorge M.V.E. 2013. *Contribuição ao conhecimento geológico da área de contato cráton São Luís X Província Borborema X bacia do Parnaíba, na região limítrofe Piauí-Ceará-Maranhão*. Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto de Geociências, Faculdade de Geologia, UFPA,. Belém, 82p.
- Klepper M.R. & Wyant D.G. 1957. Notes on the geology of uranium. *Geological survey bulletin*. N° 1046.
- Köche J.C. 2011. *Fundamentos de metodologia científica: teoria da ciência e iniciação à pesquisa*. Petrópolis/RJ, Vozes. 185 p.
- Lapidus D.F. 1990. *Collins dictionary of geology*. Glasgow, Collins. 563 pp.
- Lima A.M.M. 1997. *Caracterização petrográfica e geocronológica do granito Chaval e das rochas encaixantes, na região de Buriti dos Lopes (PI)*. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto de Geociências, Faculdade de Geologia, UFPA, Belém. 40p.
- Marques J.G. 2014. *Caracterização geológica e tecnológica de granitos do Ceará*. TS Doutorado, Departamento de Geociências. Fortaleza, UFC. 141p.

- Mendizábal L.L.C. 2013. *Químioestratigrafia e bioestratigrafia da Formação Frecheirinha, Grupo Ubajara –Nordeste do Brasil*. Centro de Tecnologia e Geociências, Programa de Pós-graduação em Geociências. TS Doutorado. Recife, Universidade Federal de Pernambuco. 101p.
- Neves S. P. 2003. Proterozoic history of the Borborema province (NE Brazil): Correlations with neighboring cratons and Pan-African belts and implications for the evolution of western Gondwana. *Tectonics*, 22(4).
- Nogueira B.K.C. 2013. *Geocronologia e petrografia da porção nordeste do granito Chaval-Noroeste da Província Borborema*. Trabalho de conclusão de curso Instituto de Geociências, Faculdade de Geologia, UFPA. Belém. 78p.
- Oliveira R.G. 2008. *Arcabouço geofísico, isostasia e causas do magmatismo Cenozoico da Província Borborema e de sua margem continental (Nordeste do Brasil)*. TS Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- Oliveira E. P., Windley B. F., Araújo M. N. 2010. The Neoproterozoic Sergipano orogenic belt, NE Brazil: a complete plate tectonic cycle in western Gondwana. *Precambrian Research*, 181(1) : 64-84.
- Oliveira B.P.P. 2016. *Aspectos geológicos e geotectônicos do granitoide Chaval – São Somingos, PI com base em estudo petrográfico, geoquímico e geocronologia (U-Pb)*. Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto de Geociências, Faculdade de Geologia, UFPA, Belém. 107p.
- Peulvast J.P.& Bétard, F. 2015. *Landforms and landscape evolution of the equatorial margin of Northeast Brazil*. Springer Earth System Sciences, London.
- Ribeiro V.B., Mantovani M.S.M., Louro V.H.A. 2013. Aerogamaespectrometria e suas aplicações no mapeamento geológico. *Terra e Didática*, 10: 29-51.
- Santos T. J. S.dos, Hackspacher P., Fetter A. H., Schumus W. R. V., Nogueira Neto J. A. 2008. Neoproterozoic tectonic and magmatic episodes in the NW sector of Borborema Province, NE Brazil, during assembly of Western Gondwana. *Journal of South American Sciences*, 25: 271-284.
- Silva G.F da. 2014. *Interpretação geológica e geofísica da área de influência da usina hidrelétrica de Irapé, MG*. DS Mestrado. Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, UNB, Brasília. 214p.
- Soares M.S. 2001. *Processamento e interpretação de dados aerogeofísicos magnetométricos e aerogamaespectrométricos no estudo do controle das mineralizações auríferas na região do complexo Bossoroca, São Sepé, RS*. DS Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e Materiais, UFRGS, Porto Alegre. 187p.
- Treinta F.T., Farias Filho J.R., Sant'Anna A.P., Rabelo L.M. 2014. Metodologia de pesquisa bibliográfica com a utilização de método multicritério de apoio à decisão. *Production*, 24 (3): 508-520.

Van Schmus W. R., Kozuch M., Brito Neves, B. B. de. 2011. Precambrian history of the Zona Transversal of the Borborema Province, NE Brazil: insights from Sm–Nd and U–Pb geochronology. *Journal of South American Earth Sciences*, **31**(2): 227-252.

Vasconcelos A.M., Torres P.F.M., Forgiarini L.L., Medeiros M. de F. 2004. Folha AS.24-Fortaleza. *In*: Schobbenhaus C., Gonçalves J.H., Santos J.O.S., Abram, M.B., Leão Neto R., Matos G.M.M., Vidotti R.M., Ramos M.A.B., Jesus J.D.A. (Eds.). *Carta geológica do Brasil ao milionésimo, sistema de informações geográficas*. Programa Geologia do Brasil. Brasília, DF, CPRM, 1 CD-ROM.